Российская Академия Наук

ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЯ В СЛОЖНЫХ СИСТЕМАХ

COMPLEX SYSTEMS: CONTROL AND MODELING PROBLEMS

Труды
XXI Международной конференции
3-6 сентября 2019
Самара, Россия

ТОМ II

Proceedings
of the XXI International Conference
September 3-6, 2019
Samara, Russia

VOLUME II

IEEE
Advancing Technology for Humanity
Russia Section est. 1990

САМАРСКИЙ ПОЛИТЕХ
Опорный университет

ИПУСС РАН

IEEE (Российская секция)

Самарский государственный
технический университет

Институт проблем управления
сложными системами
Российской академии наук

IEEE (Russian section)

Samara State
Technical University

Institute for the Control
of Complex Systems
of Russian Academy of Sciences

Труды XXI Международной конференции,
Том II
Proceedings of the XXI International Conference
Volume II

ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЯ В СЛОЖНЫХ СИСТЕМАХ

COMPLEX SYSTEMS: CONTROL AND MODELING PROBLEMS

3-6 сентября 2019, Самара, Россия
September 3-6, 2019, Samara, Russia

Редакторы:

С.А. Никитов, Д.Е. Быков,
С.Ю. Боровик, Ю.Э. Плешивцева

Editors:

S.A. Nikitov, D.E. Bykov,
S.Yu. Borovik, Yu.E. Pleshivtseva

издательство
ОФОРТ
Самара 2019

УДК 519.7
ББК 32.817
П78

Конференция получила финансовую поддержку
Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 19-08-20070)

The Conference received financial support
from Russian Foundation for Basic Research (project № 19-08-20070)

П78 **Проблемы управления и моделирования в сложных системах:** *Труды XXI Международной конференции* (3-6 сентября 2019 г. Самара, Россия): в 2-х т. / Под ред.: **С.А. Никитова**, **Д.Е. Быкова**, **С.Ю. Боровика**, **Ю.Э. Плешивцевой**. - Самара: ООО «Офорт», 2019.

ISBN 978-5-473-01246-0
Т.2. - 568 с.
ISBN 978-5-473-01248-4

С 3 по 6 сентября 2019 года в г. Самаре состоялась XXI международная научная конференция «Проблемы управления и моделирования в сложных системах» (ПУМСС-2019). Конференция была организована Институтом проблем управления сложными системами РАН (ИПУСС РАН) совместно с крупнейшим вузом Поволжского региона - Самарским государственным техническим университетом (СамГТУ) при содействии российской секции IEEE. В мероприятии приняли участие исследователи из ведущих университетов и научно-производственных организаций Азербайджана, Армении, Беларуси, Германии, Италии, Испании, Китая, Латвии, Польши, Финляндии, Чехии, США, ЮАР. Российская Федерация была представлена учеными из Российской академии наук, научно-исследовательских институтов, вузов, научно-производственных объединений и промышленных предприятий страны. На конференции обсуждался широкий спектр вопросов, связанных с передовыми достижениями науки и техники в области современной теории оптимального управления, электротехнологий и электронной техники, робототехники, новых информационных, коммуникационных и измерительных технологий, выработки и принятии решений при управлении в социально-экономических системах. Традиционно в фокусе внимания конференции были проблемы, связанные с разработкой моделей, методов и средств искусственного интеллекта (ИИ) для автоматизации процессов приобретения и компьютерного представления знаний, выработки и принятия решений, в том числе при управлении предприятиями, что формирует парадигму INDISTRY 4.0. Во втором томе сборника трудов ПУМСС-2019 представлены доклады участников конференции, распределенные по направлениям: Индустрия 5.0 и Супер Интеллектуальное Общество; робототехника и электроника; измерение, контроль и диагностика в экстремальных условиях; интеллектуальные системы и технологии; управление в социально-экономических системах.

The XXI International Scientific Conference ”Complex Systems: Control and Modeling Problems” (CSCMP-2019) was held on September 3-6, 2019 in Samara (Russia). The Conference was organized jointly by the Institute for Control of Complex Systems of Russian Academy of Sciences (ICCS RAS) and the largest higher institution of the Volga Region – Samara State Technical University (SSTU) with assistance from the IEEE (Russian Section). The scientists from the leading universities and research and production organizations of Azerbaijan, Armenia, Belarus, Germany, Italy, Spain, China, Latvia, Poland, Finland, Czech Republic, USA and South Africa participated in the Conference. The Russian Federation was represented by the researches from Russian Academy of Sciences, research institutes, universities, research and production centres and enterprises. The Conference discussed a wide range of issues relevant to the advances in science and technology in the field of optimal control theory, electrotechnologies and electronics, robotics, intelligent systems and communication technologies, measuring techniques and diagnostics, decision-making in social-economic systems. One of the traditional areas of the Conference is the developing of Artificial Intelligence (AI) models, methods and tools for digitalization of knowledge and automation of the decision-making processes for business administration including the paradigm of INDUSTRY 4.0. The 2nd volume of CSCMP-2019 Proceedings contains the reports in the following areas: Industry 5.0 and Super Smart Society; robotics and electronics; measuring, control and diagnostics under extreme conditions; intelligent systems and technologies; management in social and economic systems.

УДК 519.7
ББК 32.817

ISBN 978-5-473-01248-4 (II том)
ISBN 978-5-473-01246-0

© Институт проблем управления сложными системами
Российской академии наук, составление, оформление, 2019
© Оформление. ООО «Офорт», 2019
© Все права принадлежат авторам публикуемых работ, 2019

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ КОНФЕРЕНЦИИ

С.А. Никитов - чл.-корр. РАН, директор Института радиоэлектроники им. В.А. Котельникова РАН

ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ

Председатель программного комитета

Д.Е. Быков - д.т.н., Самарский государственный технический университет, Россия

Заместители председателя программного комитета

С.Ю. Боровик - д.т.н., Институт проблем управления сложными системами РАН, Самара, Россия

Ю.Э. Плешивцева - д.т.н., Самарский государственный технический университет, Россия

Международный программный комитет

Э. Бааке - проф., Институт электротехнологий, Университет им. Лейбница, Ганновер, Германия

В. Марик- проф., Институт информатики, роботехники и кибернетики, Прага, Чехия

Й. Мау - проф., Дюссельдорфский университет имени Г. Гейне, Германия

Б. Наке - проф., Институт электротехнологий, Университет им. Лейбница, Ганновер, Германия

Г. Ржевский - проф., Открытый университет, Милтон Кейнс, Великобритания

Национальный программный комитет

С.Е. Банков - д.т.н., Институт радиоэлектроники им. В.А. Котельникова РАН, Москва, Россия

Ф.В. Гречников - ак. РАН, Самарский федеральный исследовательский центр РАН, Россия

Ю.Н. Золотухин - д.т.н., Институт автоматики и электрометрии СО РАН, Новосибирск, Россия

Б.Г. Ильясов - д.т.н., Уфимский государственный технический университет, Россия

А.В. Леонидов - д.т.н., Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Москва, Россия

Т.В. Моисеева - к.э.н., Институт проблем управления сложными системами РАН, Самара, Россия

М.В. Ненашев - д.т.н., Самарский государственный технический университет, Россия

Д.А. Новиков - чл.-корр. РАН, Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, Москва, Россия

А.А. Пименов - д.т.н., Самарский государственный технический университет, Россия

Э.Я. Рапопорт - д.т.н., Самарский государственный технический университет, Россия

Г.Г. Себряков - чл.-корр. РАН, Государственный научно-исследовательский институт авиационных систем, Москва, Россия

П.О. Скобелев - д.т.н., Самарский государственный технический университет, Россия

С.В. Смирнов - д.т.н. Институт проблем управления сложными системами РАН, Самара, Россия

Н.Б. Филимонов - д.т.н., Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Россия

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ

Со-председатели организационного комитета

С.Ю. Боровик - д.т.н., Институт проблем управления сложными системами РАН, Самара, Россия

А.А. Пименов - д.т.н., Самарский государственный технический университет, Россия

Заместитель председателей организационного комитета

Ю.Э. Плешивцева - д.т.н., Самарский государственный технический университет, Россия

Секретариат организационного комитета

Н.В. Боровик -Институт проблем управления сложными системами РАН, Самара, Россия

М.Ю. Деревянов - к.т.н., Самарский государственный технический университет, Россия

Члены организационного комитета

В.Е. Гвоздев - д.т.н., Уфимский государственный технический университет, Россия

Н.Г. Губанов - к.т.н., Самарский государственный технический университет, Россия

А.Б. Иванов - PhD, Сколковский институт науки и технологий, Россия

С.В. Кузнецов - Институт проблем управления сложными системами РАН, Самара, Россия

О.В. Лавров - д.м.н., "КМ-Альянс", Москва, Россия

Т.В. Моисеева - к.э.н., Институт проблем управления сложными системами РАН, Самара, Россия

В.В. Сазонов - к.ф.-м.н., Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Россия

П.О. Скобелев - д.т.н., Самарский государственный технический университет, Россия

С.В. Смирнов - д.т.н. Институт проблем управления сложными системами РАН, Самара, Россия

GENERAL CHAIR

S.A. Nikitov - Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Head of Kotel'nikov Institute of Radio Engineering and Electronics of Russian Academy of Sciences

PROGRAM COMMITEE

Chairman of the Program Committee

D.E. Bykov - Doctor of Technical Sciences, Samara State Technical University, Russia

Vice-Chairmans of the Program Committee

S.Yu. Borovik - Doctor of Technical Sciences, Institute for the Control of Complex Systems of Russian Academy of Sciences, Samara, Russia

Yu.E. Pleshivtseva - Doctor of Technical Sciences, Samara State Technical University, Russia

International Program Committee

E. Baake - Professor, Institute of Electrotechnology, Leibniz University of Hannover, Germany

V. Mařík - Professor, Czech Institute of Informatics, Robotics and Cybernetics

J. Mau - Professor, Heinrich Heine University Dusseldorf, Germany

B. Nacke - Professor, Institute of Electrotechnology, Leibniz University of Hannover, Germany

G. Rzevski - Professor, Open University, Milt*on Keynes, UK*

National Program Committee

S.E. Bankov - Doctor of Technical Sciences, Kotel'nikov Institute of Radio Engineering and Electronics of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

F.V. Grechnikov - Academician of the Russian Academy of Sciences, Samara Federal Scientific Center of Russian Academy of Sciences, Russia

N.B. Filimonov - Doctor of Technical Sciences, Lomonosov Moscow State University, Russia

B.G. Ilyasov - Doctor of Technical Sciences, Ufa State Aviation Technical University, Russia

A.V. Leonidov - Doctor of Physical and Mathematical Sciences, P.N. Lebedev Physical Institute of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

T.V. Moiseeva - Candidate of Economical Sciences, Institute for the Control of Complex Systems of Russian Academy of Sciences, Samara, Russia

M.V. Nenashev - Doctor of Technical Sciences, Samara State Technical University, Russia

D.A. Novikov - Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Institute for The Control Sciences of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

A.A. Pimenov - Doctor of Technical Sciences, Samara State Technical University, Russia

E.Ya. Rapoport - Doctor of Technical Sciences, Samara State Technical University, Russia

G.G. Sebryakov - Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, State Research Institute for Aviation Systems, Moscow, Russia

P.O. Skobelev - Doctor of Technical Sciences, Samara State Technical University, Russia

S.V. Smirnov - Doctor of Technical Sciences, Institute for the Control of Complex Systems of Russian Academy of Sciences, Samara, Russia

Yu.N. Zolotukhin - Doctor of Technical Sciences, Institute of Automation and Electrometry, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia

ORGANIZING COMMITTEE

Co-Chairmans of the Organizing Committee

S.Yu. Borovik - Doctor of Technical Sciences, Institute for the Control of Complex Systems of Russian Academy of Sciences, Samara, Russia

A.A. Pimenov - Doctor of Technical Sciences, Samara State Technical University, Russia

Vice-Chairman of the Organizing Committee

Yu.E. Pleshivtseva - Doctor of Technical Sciences, Samara State Technical University, Russia

Secretariate of the Organizing Committee

N.V. Borovik - Institute for the Control of Complex Systems of Russian Academy of Sciences, Samara, Russia

M.Yu. Derevyanov - Candidate of Technical Sciences, Samara State Technical University, Russia

Organizing Committee Members

V.E. Gvozdev - Doctor of Technical Sciences, Ufa State Aviation Technical University, Russia

N.G. Gubanov - Candidate of Technical Sciences, Samara State Technical University, Russia

A.B. Ivanov - PhD, Skolkovo Institute of Science and Technology, Russia

S.V. Kuznetsov - Institute for the Control of Complex Systems of Russian Academy of Sciences, Samara, Russia

O. Lavrov - Doctor of Medical Sciences, Knowledge Management Group, Moscow, Russia

T.V. Moiseeva - Candidate of Economical Sciences, Institute for the Control of Complex Systems of Russian Academy of Sciences, Samara, Russia

V.V. Sazonov - Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Lomonosov Moscow State University, Russia

P.O. Skobelev - Doctor of Technical Sciences, Samara State Technical University, Russia

S.V. Smirnov - Doctor of Technical Sciences, Institute for the Control of Complex Systems of Russian Academy of Sciences, Samara, Russia

Содержание
Table of contents

Индустрия 5.0 и Супер Интеллектуальное Общество
Industry 5.0 and Super Smart Society

1. *M. Svítek, S. Kozhevnikov, P. Horažďovský, D. Poludov, X. Pogorelskih*
Solving last mile problem as a personal service for citizens ... 3
2. *Н.М. Боргест*
Онтология проектирования Super Smart Society: сущности, понятия, проблемы ... 9
3. *Д.Е. Быков, Е.В. Франк, О.Л. Сурнин, П.В. Ситников, А.В. Иващенко, О.К. Головнин*
Инновационная среда Самарского Политеха: Кампус 2.0 ... 15
4. *В.Е. Гвоздев, О.Я. Бежаева, Р.А. Насырова*
Анализ надежности информационных систем на основе концепции профилей сервисов ... 21
5. *И.Я. Львович, Я.Е. Львович, А.П. Преображенский, Ю.П. Преображенский, О.Н. Чопоров*
Комплексная оценка эффективности и структуризации объектов в системе интернет вещей ... 26
6. *В.В. Мартынов, О.В. Ширяев, А.А. Зайцева, Е.И. Филосова, Р.А. Байков*
Применение искусственного интеллекта в современных образовательных технологиях при переходе к Smart-обществу ... 30
7. *О.Ю. Марьясин*
Онтология системы домашней автоматизации для цифрового двойника зданий ... 36
8. *С.А. Пиявский, Д.В. Киселев*
Моделирование, оптимизация и согласование решений в умном городе ... 42
9. *П. Скобелев, И. Майоров, Е. Симонова, В. Ларюхин, О. Яловенко*
Вертикальные и горизонтальные переговоры мультиагентных сервисов планирования в мультисервисной платформе управления растениеводством ... 46
10. *Р.О. Шахвердиева*
Проблемы развития инновационных секторов экономики в аспекте влияния четвертой промышленной революции ... 52

Робототехника и электроника
Robotics and electronics

1. *А.С. Антипов, С.А. Краснова*
Стабилизация положения тележки-крана в условиях неполной информации ... 59
2. *Д.А. Белоглазов, В.В. Соловьев, В.И. Финаев, И.О. Шаповалов, А.А. Пушнина, В.С. Лазарев*
Исследование безопасного движения подвижного объекта в случайной среде методом имитационного моделирования ... 63
3. *А.Е. Городецкий, В.Г. Курбанов, И.Л. Тарасова*
Ситуационное управление при взаимодействии подвижных роботов ... 69
4. *А.И. Глущенко, В.А. Петров, К.А. Ласточкин*
Синтез системы управления балансирующим роботом на основе второго метода Ляпунова с адаптивным к величине уставки шагом ... 74
5. *О.В. Даринцев, А.Б. Мигранов*
Модуль распределения задач для коллектива роботов на базе генетических алгоритмов: методика синтеза и тестирование ... 80
6. *Д.А. Миляков*
Особенности управления большой плотной группой БЛА как системой с распределенными параметрами ... 86
7. *С.П. Орлов, С.В. Сусарев, А.И. Пугачев*
Интеллектуальная система диагностики агрегатов роботизированного автомобиля КАМАЗ ... 92

8. *С.Л. Подвальный, Е.М. Васильев*
Синергетическое управление мобильным самобалансирующимся роботом ... 96

9. *А.В. Подопросветов, В.Е. Павловский, К.И. Кий, Д.А. Анохин*
Робоавтомобиль Нива: алгоритмы управления ... 102

10. *С.В. Сусарев, К.В. Сидоренко, А.С. Морев, Ю.В. Гашенко*
Принципы построения систем управления роботизированных транспортных средств с автономным и дистанционным режимом управления ... 107

11. *А.В. Филимонов, С.Н. Вайнштейн, А.Э. Фотиади, В.А. Земляков, Г.А. Политова*
Импульсный наносекундный излучатель для оптических радаров высокого разрешения ... 111

Измерение, контроль и диагностика в экстремальных условиях
Measuring, control and diagnostics under extreme conditions

1. *В.Н. Белопухов, С.Ю. Боровик, П.Е. Подлипнов, Ю.Н. Секисов, О.П. Скобелев*
Методы предварительной обработки информации в системе измерения радиальных зазоров с самокомпенсацией температурных воздействий на датчик в проточной части ГТД ... 117

2. *А.И. Белоусов, А.В. Седельников*
Анализ влияния работы бортовой аппаратуры на измерительную погрешность датчиков ... 122

3. *И.В. Бойков, Н.П. Кривулин*
Аппаратные и программные методы восстановления входных сигналов динамических систем с распределенными параметрами. Редукция к идеальному прибору ... 126

4. *А.В. Еремин, В.В. Жуков, Д.В. Степанец*
Определение несущей способности сотовой панели в местах установки закладных втулок при действии нагрузки в плоскости панели ... 132

5. *С.В. Жуков, Д.А. Ворох, А.И. Данилин*
Неразрушающие методы эксплуатационного контроля несущего винта вертолёта ... 136

6. *О.Г. Корганова, В.А. Кузнецов*
Метод измерения вязкости глинистого раствора при бурении глубоких скважин ... 140

7. *А.А. Корнеева, Е.А. Чжан, В.В. Шайдуров*
Терморезисторная сеть измерения температуры с малым количеством проводов для работы в экстремальных условиях ... 145

8. *П.К. Ланге, Е.Е. Ярославкина, В.В. Муратова*
Методы оперативного определения интегральных характеристик периодического сигнала по измерению его мгновенных значений ... 149

9. *А.Е. Михайлов, Р.Г. Дадоян, А.Б. Михайлова, Д.А. Ахмедзянов*
Прогнозирование характеристик осевых компрессоров в области запуска ... 154

10. *У.Ю. Осипенко, В.В. Куркина, Л.А. Русинов*
Разработка нечеткой продукционной модели для системы диагностики состояния катализатора в процессе производства олефинов ... 158

11. *В.П. Свиридов, Ю.Н. Лазарев*
Синтез алгоритмов определения смазанности изображений ... 162

12. *В.М. Солдаткин, В.В. Солдаткин, А.В. Никитин*
Научные основы построения и реализация системы измерения параметров ветра и воздушных сигналов на борту одновинтового вертолета в условиях аэродинамических возмущений вихревой колонны несущего винта ... 166

13. *Н.Г. Губанов, В.П. Одинцов, А.С. Морев, Ю.В. Михеев, Р.Н. Ахтямов*
Архитектура системы диагностики и прогнозирования технического состояния роботизированного транспортного средства ... 171

14. *С.Л. Чернышев, А.Р. Виленский*
Формирование и обработка шумоподобных сигналов в сверхширокополосных системах ... 175

15. *В.Н. Якимов, В.И. Батищев, В.А. Акулов, А.В. Машков*
Высокопроизводительный цифровой алгоритм вычисления оценки гармонического спектра сложных сигналов ... 178

16. *В.Н. Якимов, А.В. Машков, Б.Э. Забержинский, Ю.В. Буканова*
Многопоточный подход к программной реализации быстродействующих алгоритмов спектрального анализа многокомпонентных сигналов ... 183

17. *Е.Е. Ярославкина, Е.А. Тюрин, П.Ю. Зобнин, Е.В. Мельников, А.Ю. Ярославкин, А.В. Бочкарев*
Акустико-эмиссионная система для исследования влияния модификатора AlTi5Bl на процесс кристаллизации алюминия ... 188

Интеллектуальные системы и технологии
Intelligent systems and technologies

1. *O.A. Slavin, E.I. Andreeva, N.B. Paramonov*
Matching digital copies of documents based OCR ... 195

2. *А.А. Агафонов, В.В. Мясников, А.А. Бородинов*
Многоагентная система маршрутизации транспортных средств в стохастической транспортной сети ... 200

3. *А.В. Андрюшин, И.А. Щербатов, Г.Н. Цуриков*
Устранение аномалий и выбросов в выборках данных системы предиктивной аналитики энергетического оборудования ... 206

4. *А.В. Богомолов, М.Д. Алёхин, В.П. Дашевский*
Информационные технологии мониторинга профессионально обусловленных рисков здоровью ... 211

5. *В.В. Борисов, В.С. Луферов*
Прогнозирование многомерных временных рядов на основе нечетких когнитивно-продукционных моделей ... 217

6. *Д.В. Булгакова, С.Б. Васильев, А.М. Коваленко, А.В. Леонидов, Е.Е. Серебрянникова, Д.О. Трегубов*
Реализация программного комплекса выявления паттернов в мультиграфе на примере сети межбанковского кредитования в агентной модели банковской системы ... 221

7. *Д.В. Булгакова, А.В. Леонидов, Е.Е. Серебрянникова*
Об агентной интерпретации задач линейного программирования ... 225

8. *О.И. Гаранин, В.В. Борисов*
Метод сопровождения движущихся объектов в условиях неопределенности их детектирования ... 229

9. *А.И. Глущенко, В.А. Петров*
Адаптивная система управления электроприводом на базе Sinamics DCM с использованием нейросетевого настройщика ... 234

10. *Ю.И. Еременко, Д.А. Полещенко, Ю.А. Цыганков*
Нейросетевая идентификация объектов технологической линии обогащения железной руды для построения ее прогнозирующей системы ... 239

11. *А.В. Иващенко, А.А. Хорина, П.В. Ситников, О.Л. Сурнин*
Когнитивная визуализация мультиструктурных и мультимодальных данных ... 244

12. *А.Е. Колоденкова, С.Г. Новокщенов, Ю.Л. Кецко*
Алгоритмы предварительной обработки нечетких данных медицинских обследований пациентов ... 249

13. *А.Н. Лада, Р.Р. Гафаров*
Гибридная система управления работой мобильных бригад осуществляющих качественный регламентный и сервисный ремонт в реальном времени ... 255

14. *Д.В. Лещева, В.А. Семенова, С.В. Смирнов*
О поддержке когнитивных актов в задачах онтологического анализа данных ... 260

15. *Н.И. Лиманова, С.Г. Атаев*
Интеллектуальная система для параметризации объектов снимков послойной компьютерной томографии ... 264

16. *Д.С. Лысенко, И.А. Данилушкин*
Разработка модели котла-утилизатора на базе аппарата нечёткой логики ... 268

17. *С.А. Ляпин, Ю.Н. Ризаева, Д.А. Кадасев, Н.В. Воронин*
Применение имитационного моделирования для совершенствования функционирования модуля интеллектуальной транспортно-логистической системы ... 272

18. *Е.А. Макарова, Е.А. Закиева, Э.Р. Габдуллина*
Принятие решений при управлении социально-экономическими системами с учетом формирования их рейтинговой оценки на основе интеллектуальных технологий ... 278

19. *Г.М. Мартинов, И.А. Ковалев, Н.Ю. Червоннова*
Разработка расширенного интерфейса оператора системы ЧПУ с применением Web-технологий и дополненной реальности ... 284

20. *В.В. Меньших, Н.Е. Спиридонова*
Структурно-параметрическое моделирование гетерогенных систем в интересах обеспечения их безопасности ... 289

21. *А.Е. Мисник, С.К. Крутолевич, С.А. Прокопенко, П.А. Боровых, М.В. Васильев*
Анализ изменения точности прогнозов нейронной сети, в зависимости от используемых входных параметров ... 293

22. *А.Е. Мисник, С.К. Крутолевич, С.А. Прокопенко, Е.П. Лукьянов*
Методика построения промышленных аналитических систем сбора и обработки данных ... 297

23. *Д.В. Пащенко, Д.А. Трокоз, М.П. Синев, А.И. Мартышкин*
Использование алгебры гиперразмерных векторов для эвристического представления данных при обучении широких нейронных сетей ... 301

24. *Е.Б Старцева, А.Ю. Гримайло, Л.Р. Черняховская, Н.О. Никулина*
Поддержка принятия решений при выборе специальности на основе онтологической базы знаний ... 306

25. *А.Г. Стефанцов, А.В. Бобряков, В.В. Борисов, В.С. Луферов*
Система нечеткого когнитивного анализа и моделирования системной динамики ... 312

26. *С.И. Суятинов*
Биологические принципы интеллектуального управления движением: модели и варианты реализации ... 317

27. *А.С. Сысоев, Р.В. Щеглеватых*
Комбинированный метод определения аномалий в наборах данных об оказании медицинской помощи ... 322

28. *А.А Черепашков, А.Г. Шараухова*
Онтологический подход к обучению персонала сложных автоматизированных систем промышленного назначения ... 327

29. *Т.Б. Чистякова, И.В. Новожилова*
Интеллектуальная система для ресурсосберегающего управления ремонтами огнеупорной футеровки кислородного конвертера ... 331

30. *Е.В. Шарапова, Р.В. Шарапов*
Обнаружение нечетких дубликатов текстов в больших массивах информации ... 335

31. *Н.И. Юсупова, О.Н. Сметанина, Е.Ю. Сазонова, А.И. Агадуллина*
Интеллектуальная информационная поддержка принятия решений при управлении техническим обслуживанием и ремонтами оборудования ... 340

Управление в социально-экономических системах
Management in social and economic systems

1. *А.Г. Алиев*
Эволюция экономической теории основы формирования секторов информационной экономики ... 349

2. *А.З. Асанов, И.Ю. Мышкина*
Процедура формирования команды исполнителей проекта на основе когнитивных карт и генетических алгоритмов ... 354

3. *О.В. Атаманюк*
Модельный анализ влияния экспорта энергоносителей на взимание таможенных платежей в Российской Федерации ... 359

4. *В.В. Батаев*
Методика системного анализа промышленного предприятия с целью управления его внешнеэкономической деятельностью ... 362

5. *С.Л. Блюмин, Г.С. Боровкова, А.С. Сысоев*
Анализ конечных изменений как метод исследования иерархических организационных систем ... 367

6. *В.А. Васяйчева, Б.Н. Герасимов*
Декомпозиционное представление инновационной деятельности промышленного предприятия ... 373

7. *И.В. Вешнева, А.А. Большаков, А. Федорова*
Архитектура интеллектуальной системы мониторинга и поддержки принятия решений на предприятиях пищевой промышленности ... 378

8. *И.П. Войку, И.С. Санду*
Разработка системы освоения инноваций в агропромышленном комплексе Псковской области 383

9. *А.А. Гаврилова, А.Г. Салов*
Системный анализ и моделирование инфраструктуры производственной деятельности генерирующих компаний 387

10. *А.А. Гаврилова, А.Г. Салов, Л.А. Сагитова*
Системный анализ эффективности управления региональной энергетической системой в условиях преобразований 392

11. *И.Б. Герасимова, Н.В. Хасанова*
Управление процессом самоорганизации личности в конфликтной ситуации 398

12. *В.Е. Гвоздев, О.Я. Бежаева, О.И. Христодуло, А.Е. Хамидуллина*
Информационная поддержка управления твёрдыми бытовыми коммунальными отходами промышленно-развитых территорий на основе когнитивного моделирования 403

13. *Б.Г. Ильясов, И.Б. Герасимова, А.Г. Карамзина*
Коллективное управление деятельностью научной школы как многосвязным динамическим объектом 409

14. *Н.Е. Карпова, И.Е. Панфилова*
Обеспечение безопасности информационных процессов в социотехнических системах на основе анализа поведенческих особенностей человека как субъекта такой системы 414

15. *И.З. Коготкова, М.Н. Гусева, Е.А. Выходцева*
Коммуникационное взаимодействие в проектном управлении цифровой экономикой 418

16. *Е.А. Колобова, А.П. Ремонтов, И.В. Чигирева, Н.А. Шигина*
Моделирование компонентов автоматизированной информационной системы для управления учебно-методическим комплексом дисциплины 423

17. *И.Г. Кревский, Т.В. Глотова*
Поддержка персонализации обучения и взаимодействия с работодателями на основе ЭИОС университета 429

18. *М.Ю. Куссый*
Факторы, влияющие на механизмы формирования межсубъектных отношений в экономике 435

19. *М.Ю. Лившиц, М.В. Цапенко, Е.В. Франк, Е.П. Тупоносова*
Моделирование инновационного влияния опорного университета на региональную экономику 441

20. *Е.Г. Мартыненко, О.В. Тупицына, Д.В. Смордин, Н.А. Останков*
Сравнительный анализ методов ликвидации накопленного экологического ущерба с учетом правовых и организационных особенностей процесса 446

21. *А.В. Мирский*
Основные проблемы управления проектами и моделирования строительства нефтяных и газовых скважин 450

22. *Е.А. Митрофанова, В.Г. Коновалова, А.Е. Митрофанова*
Технология определения и планирования потребности в персонале определенного профессионального уровня и компетенций 455

23. *В.В. Михайлов, Л.А. Колпащиков, А.Д. Мухачев*
Проблема управления природопользованием на Таймыре и развитие традиционного хозяйства коренного населения в современных социально-экономических условиях 461

24. *А.В. Моисеев, А.Ю.Киндаев*
Управление страховыми тарифами в сельскохозяйственном страховании в зависимости от охвата страхового поля 467

25. *Т.В. Моисеева*
Интерсубъективное управление: модель проблемной ситуации 471

26. *Т.В. Моисеева, Ю.В. Мятишкин*
Применение интерсубъективного подхода при управлении общим имуществом 475

27. *А.Ю. Нестеров, А.И. Демина*
Понятие изобретения в семиотике техники 479

28. *Н.О. Никулина, А.И. Малахова, И.Ф. Иванова*
Применение интеллектуальных технологий в решении проблем инновационных проектов 483

29. *Е.В. Орлова*
Синергетический синтез механизмов и моделей согласованного управления производственно-экономической системой 489

30. *О.В. Павлов*
Аналитическое решение динамической задачи стимулирования с учетом эффекта кривой обучения 497

31. *О.В. Пьянков, А.А. Терентьев, И.В. Гилев*
Математическое моделирование многокритериальных конфликтов аналитической деятельности ситуационных центров органов внутренних дел 503

32. В.М. Свистунов, Г.П. Кузина, В.В. Лобачёв
Уровень доверия персонала компании как фактор повышения эффективности управления социально-экономическими системами 508

33. *А.В. Седельников, Е.С. Хнырева*
Метод поиска оптимальных стратегий управления объёмами производства в период кризиса 512

34. *К.В. Трубицын, О.Ю. Калмыкова, Ю.Н. Горбунова*
Управление профессиональными стрессами должностных лиц таможенных органов 516

35. *Е.П. Тупоносова*
Деятельность опорного вуза как фактор развития регионального энергопроизводства 522

36. *С.В. Хаджиева*
Имитационное моделирование бизнес-процесса деятельности интеграционного отдела в IT-компании 526

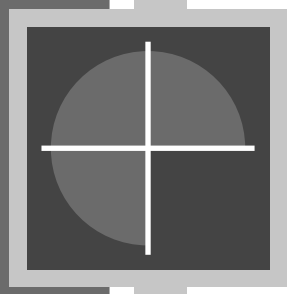
37. *В.В. Хрящев, А.В. Ненашев*
Экономика внедрения одноранговой системы хранения и обработки защищаемой информации на предприятии 534

38. *В.В. Хрящев, К.В. Трубицын*
Повышение результативности деятельности таможенных органов на основе управления трудовым потенциалом должностных лиц 539

39. *В.В. Хрящев*
Модель совершенствования и управления трудовым потенциалом должностных лиц таможенных органов 544

40. *С.Л. Чернышев, А.Ю. Грибов*
Многопродуктовая нелинейная модель рынка макроэкономической системы 548

41. *А.О. Чупакова, С.В. Гудин, Р.Ш. Хабибулин*
Методика создания нейросетевой модели для решения задач классификации по оптимизации пожарных рисков 551



Industry 5.0 and Super Smart Society
Индустрия 5.0 и Супер Интеллектуальное Общество

Solving last mile problem as a personal service for citizens

Svítek M.
Faculty of Transportation Sciences (FD)
Czech Technical University in Prague
Prague, Czech Republic
svitek@lss.fd.cvut.cz

Kozhevnikov S.
Czech Institute of Informatics, Robotics and Cybernetics
Czech Technical University in Prague
Prague, Czech Republic
koz@kg.ru

Horažďovský P.
Faculty of Transportation Sciences (FD)
Czech Technical University in Prague
Prague, Czech Republic
horazpat@fd.cvut.cz

Poludov D.
Department of software development
SEC «Smart Solutions»
Samara, Russia
polyudov@smartsolutions-123.ru

Pogorelskih X.
Department of analytics and development
SEC «Smart Solutions»
Samara, Russia
pogorelskih@smartsolutions-123.ru

***Abstract* — The last mile problem is crucially important for big cities. To solve it you need to find the ideal balance between different criteria: the mobility of people, comfort, unique characteristics of every person, the profit of transport system and other criteria in more complex models.**

To solve this problem for dynamic (not fixed) routes part, we offer to use the ontological description of citizens and transport system for matching and multi-agent technologies to plan different types of transport. To prove the idea a prototype of an intelligent multiagent transport system matcher was created. Based on a simple model of Person, Transport and Infrastructure description we proved the feasibility of the approach.

In this paper for the first time, we present the Smart Transport System as a personal service provided for citizens. The main idea of the work is to take a step towards the new paradigm where not people adjust their plans for transport but smart transport provides personal service to every citizen according to their needs.

Keywords— smart city, smart services, ontology, multi-agent technology.

I. Introduction. Problem statement

Transport is a very complex part of Smart City concept. It influences the way of life and thinking of all the citizens. The first question, when people move to a new place to live is how much it cost and how they can reach their destinations - school, work, sport, etc. This effect is perfectly visible in the villages near railway lines and other main transport routes. Residents are leaving villages that are not in sufficient distance from main transport routes. The quality of infrastructure and public transport connection to the main destination points influences area development.

The current state of the public transport system is generally based on the fixed routes model without any possible changes. Every transport connection has a special time in the timetable when it can be in service. This approach is very clear and good on the main lines of public transport in the city center. But very often it is not working if the passenger wants to travel by public transport to the town periphery or to the newly constructed city area. Because of the fixed routes and times, it is possible that the following connection doesn't exist or it is gone. A passenger has to wait or to find another possibility to go, like a taxi.

©2019 ИПУСС РАН, СамГТУ, IEEE

A person has to find in the timetable, which specific connection is suitable for him. Because of many possibilities of the main line, the timetable can be hardly readable. The comfort of public transport is reduced and passengers have to change the type of transport, for individual vehicle transport. This situation is caused by the last mile problem – the final part of the road when passengers have to change lines, or to wait too long, to reach their final destination. This paper is focused especially on this last mile problem.

This problem is influenced by many parameters and approaches, for example, the solution can be a combination of fixed and dynamic specially created lines of public transport. Definition of the dynamic lines is simple, the sequence of stops changes dynamically depending on the specific demand for transport by passengers or the current state of transport in the area. The same conditions are set to the time schedule of every single connection. Solving this task, we also need to take into account the parameters of the request from people. We need to consider citizens' characteristics, constraints, abilities, and preferences.

In this paper, we try to solve two different problems. The first problem statement is how to solve the last mile problem taking into consideration the various parameters of people and transport infrastructure. From a mathematical point of view, we are solving the Assignment problem.

In more broad way the model can be complex when we add more constraints, because we need to find the ideal balance between different criteria: the mobility of people (they need to get home from the public transport stop), comfort (we need to take into account the unique characteristics of every person and his abilities), profit (the empty bus cannot transport only one person) and other criteria's.

As a result, in this paper, we try to state the second more complex problem described by a model with various numbers of concepts, attributes and satisfaction functions. The model described for the first time presents the Smart Transport System of the City as a personal service provided for citizens. This model can change the paradigm where people adjust their plans for transport schedules and show how smart transport can provide personal service to every citizen according to their needs.

II. State of the Art. How modern transportsystems work

Linda Steg [1] investigated the possibility of abandoning the personal car in the direction of public transport. She conducted a computer survey of people in search of patterns. As a result, it turned out that many people are not ready to give up a personal car due to the fact that it is not status and does not give freedom of movement. However, many people were concerned about global problems, such as ecology, and were willing to switch to public transport for a higher purpose. Thus, increasing people's awareness of the problems created by personal transport, as well as improving the comfort and accessibility of public transport can force people to abandon their cars. This work was published in 2003. What has been done since then?

Armando Cartenì and Ilaria Henke [2] investigated the impact of the quality of transport stops on people's satisfaction with the trip. The result of the study was the fact that the convenience of the stopping point plays an important role only for short trips. In the case of a long trip, the quality of the trip comes to the fore.

Enda Murphy and Joe Usher [3] analyze the Irish experience of introducing Bicycle exchange in the city. They note that the main users of the system are relatively young men with incomes above average. It is necessary to work to attract women to use bicycles, as well as to make the system more accessible to different levels of income. They also note the positive effect on the health of citizens. The most interesting result of the study is the conclusion that bicycles are extremely popular as a tool with which you can move between different public transport stops. Based on this, it can be assumed that with the expansion of the network of Cycling points, the system will become popular among citizens to solve the problem of the last mile.

A. How the last mile problem is solved?

Leonidas Anthopoulos [4] compares 10 Smart cities by levels of development. It marks the development of smart mobility in the city of Tampere through car parking space removal and local bus transportation. His attention was also paid to the transport systems of Seoul and Melbourne. Let us consider them in more detail.

Topis (Transport Operation & Information Service) manages real-time public transport in Seoul. The system collects and processes the information on urban traffic and uses it to effectively manage bus intervals, reduce congestion and take timely action in the event of an accident. The main objective of the system is to attract more citizens to the use of public transport. As a result, the system has achieved its goal, people's satisfaction with the transport system has increased and the use of public transport has increased.

Also in Seoul, there is a system of night buses "Owl Bus" based on Big Data technologies. Buses run from midnight to 05:00 am. Routes are optimized so that you do not have to wait long for a transplant if necessary.

The network of bus routes SmartBus operates in the city of Melbourne. The network features are:

1) relatively frequent use of buses,
2) real-time display of information at bus stops,
3) priority for buses at some traffic lights,
4) dedicated bus lanes,
5) buses and stops equipped for the elderly, disabled and blind.

For 5 years, the system has managed to increase coverage by 15-60% on various bus routes, which is undoubtedly a good indicator [4].

Shen Yu and others [5] offer car-sharing to solve the last mile problem. They built an agent-based simulation model to assess the performance of an integrated passenger-car-public transport interaction service. Studies have shown that such a system reduces the average number of vehicles on the roads during peak hours that car sharing is more profitable than using buses with low demand, and that such a model is likely to be financially viable.

Aditi Moorthy and others [6] are exploring the possibility of using a taxi on the last leg of the way to solve the last mile. As a result of the analysis, they conclude that the use of a combination of public transport and taxi on the last mile is 37% cheaper than using a personal car all the way. However, in some cases, the high waiting time for public transport and the high cost of a taxi do not allow to apply such a scheme.

Miles Tight and others [7] offer a radical vision of the last mile solution: an almost complete rejection of cars. Only the elderly, the disabled and people in professions requiring speed have the right to use cars. All other people have to get on foot or by bike to a public transport stop and then use it. Children should study exclusively in schools around the house and reach them on foot or by Bicycle. In their opinion, such a system will completely change the appearance of the city and solve many problems.

Chan and Susan Shaheen, Nelson [8] noted the positive aspects of sharing a variety of vehicles: car, bike or scooter. Public transport is limited by routes and schedules and sometimes has to travel extra distances to use it. Sharing also allows you to move flexibly, efficiently and environmentally friendly.

Arthur Scheltes and others [9] are considering the possibility of using unmanned taxis at the last mile stage. They built an agent-based simulation model to analyze this possibility. The result showed that such a system can compete only with the option of walking. However, the increase in the permitted speed of vehicles, the movement of empty vehicles and pre-booking can slightly improve the situation.

Enda Murphy and Joe Usher [3] note that rental bicycles are a popular means of moving between stops where you need to make a change. But for the last mile, they are not used, because there are no rental points near the house.

Miles Tight and others [7] suggest attaching all children to schools at the place of residence. However, in the case of New Zealand, this is likely to lead to an inadequate rise in the price of real estate near good schools and stratification of society.

B. Solutions how to make Transport System personal oriented

Elise Grison and others [10] studied the impact of context and user profiles on route selection. The results showed that the choice of route depends on the user profile. Some citizens seek to make their trip as efficient as possible, to achieve maximum speed at minimum cost. Others are very concerned about getting pleasure from the trip: the comfort of the vehicle and the opportunity to travel part of the way with a friend. Elise Grison and others point out the need to add

features to route planners that take into account the user's context to personalize the application: the purpose of travel, emotional state, the need for comfort. In addition, it is certainly necessary to take into account the entire profile of the user, his personal characteristics.

Dávid Földes Affiliation and Csaba Csiszár [11] affiliation is considering the issue of personalizing the mobility of citizens. They analyzed the existing planners and came to the conclusion that they do not take into account the personal preferences of people. They proposed their own algorithm, which in planning pays special attention to the walking part of the walk, as an important connecting part of the path. The algorithm takes into account the physical condition of the tracks and tries to maximize the pleasure of walking. As a result, the algorithm offered more real and comfortable routes than other planners.

To meet these challenges, the entire public transport system needs to be completely overhauled. In the work of Saraju P. Mohanty and others [12], the concept of a Smart city is given. The ideal concept of a smart transport system includes the following characteristics:

1) Flexibility implies the combined use of different types of transport.
2) Efficiency is to optimize the trip to meet all the requirements of the passenger.
3) Integration requires planning a complete door-to-door route.
4) Clean Technology means that the route must be built with the requirements of the environment in mind.
5) Safety involves improving the safety of travel for all categories of passengers.

The transport system to be developed must meet these criteria. As we can see the transport system moves towards personal oriented approach and better flexibility in routes and means of transport.

III. Model 1- Smart transport system

In our paper, we try to describe Smart transport system as a complex service and part of the Smart City solution and we propose to take a step toward the intelligent transport system, that plan the transport according to personal needs and characteristics of every citizen's request.

In our first basic model - Model 1 we propose to use the ontology description of the transport infrastructure as well as a detailed description of transport system users. We describe in the model different types of transport (car sharing, segway, bicycle, scooters, bus, etc), different types of users (age, disabilities, preferences, etc) and infrastructure parameters. This will help to make the matching between transport as a resource and request for transportation as a demand.

A. Parameters of the model

We model the dynamic part and define input parameters that influence the whole transport system. For this reason, it is defined as 3 areas of interest:

1) Passenger

a) Where are the starting and final stop/destination? (basic parameter of the passenger route)

b) Special demanded conditions (low floor vehicle, children, handicap).

c) Price (the price of the transport connection)

d) Comfort

e) Age

f) License

2) Transport

a) Vehicle type – mean of transport which means of transport is possible to offer to the passenger (bus, car, bike, scooter, segway, by foot)

b) A capacity of a vehicle (what capacity can be offered to dynamic connection)

c) Vehicle actual position (GPS position)

3) Infrastructure

a) Available start and stops locations (a location where passengers can start or end travel for special types of vehicles)

b) Charging stations (for specific means of transport)

c) Roads (for different means of transport)

In the basic model, we do not take into account the time characteristic.

B. Method

From the mathematical point of view in our first model, we are solving an assignment problem (Passenger – Vehicle) - a fundamental combinatorial optimization problem. Because of non-equality between resource and demand, we can say it is a nonlinear assignment problem. Every person in this approach can be considered as a complex demand with different parameters. Every mean of transport can be considered as a resource with different parameters. In the first iteration, the problem can be simplified to the resource demand model that can be solved by a multi-agent (MA) approach.

In the multi-agent approach, the solution of any complex problem of allocation, planning, and optimization of resources is built by successive approximations, from the roughest, simple quick solution to more complex and better solutions, i.e., the convergence of the solution is controlled. For this purpose, a collection of basic typical software agents is created, which tries to achieve the set targets (ideal values of indicators) and having received the maximum possible in the current situation, do not leave attempts to improve them. This approach can be used for planning on many criteria, including price, comfort, speed, etc.

The implementation of the multi-agent approach in the development of intelligent dynamic planning systems is based on the concept of resource demand networks (RD-networks) and the method of conjugate interactions for the management of resources of enterprises in real-time in the virtual market [13].

For the mathematical formulation of the problem of resource allocation in planning, it is assumed that each of the resources can have its own criteria. Formally, the task can be formulated through the satisfaction of order agents and resources.

The proposed satisfaction function covers, for example, limited resource availability based on priority, economic convenience, environmental and social sustainability. In the future in our model, we can manage more and change the

weight of every criterion. In the basic model, we consider all the criteria equal with even weights.

Thus, the formalization of the multi-criteria task of planning orders and resources in the RD network is proposed [14]. The target functions of network agents are introduced in the form of scalar convolution of satisfaction functions, showing the deviation of the current indicators of the criteria from the preferred ones. The satisfaction of the whole system (and the specified value indicators) increases during the operation of the system.

In the proposed paradigm, the solution of complex problem and finding of an acceptable quasi-optimal plan (schedule) for the use of resources is considered as a process of self-organization of a community of competing and cooperating software agents representing the interests of the demands and capabilities of all participants in decision-making processes.

C. *Results of modeling*

To prove the feasibility of the proposed approach the Smart transport prototype was created based on the ontology descriptor and MAT engine (Fig. 1).

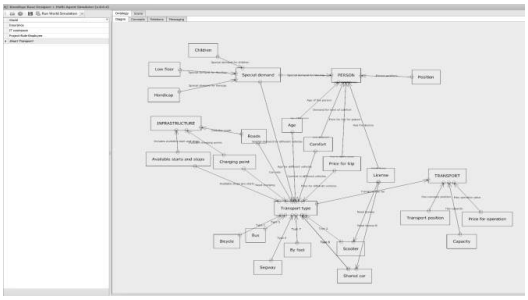


Fig. 2. Basic model description

The prototype consists of a basic ontological description of classes and relationships of all concepts of the world, the event generator, the world of agents, the basic classes of agents, visual components and tracking messages about changes in the degree of satisfaction of agents, as well as some auxiliary components.

The prototype can be modified for a new subject area and can be easily expanded with new classes and relationships.

At the same time, the model shows that not all users can be satisfied by all criteria, but taking into account the critical ones (a person cannot drive a car without a license), the model shows the number of vehicles and the degree of satisfaction.

IV. EXAMPLE FROM PRACTICE

For a demonstration of the new dynamic approach, the area near Prague was chosen. This area includes the town «Mníšek pod Brdy» and small villages «Kytín», «Chozavá» and «Nová Ves». Public transport is characterized by two main lines in this region. One of them is the train line and the second one is the bus line (317). These lines are the most important connection from this area to «Mníšek pod Brdy» and «Prague». Other lines are only the following connections to the main lines. In the next figure 2, there is a scheme of public transport with new proposals for cycling.

For the last mile problem, there are several connection options.

Current time passengers have to change a line if they want to go to the village «Kytín» at a transfer point. This transfer point is in the forest and the line 446 is waiting to 317, so line 446 is a typical following line. The problem is if the passengers want to go to «Chouzavá». There is only one connection for a day by line 446 to «Chouzavá». (Figure 3)

For this reason, there is a new possibility, to use bike-sharing and choose a shorter way using bicycle trail. Another possibility is to make the line 446 dynamic and to crate a new connection (extension) to Chouzavá. These possibilities are chosen by passenger, environment or another type of input parameters.

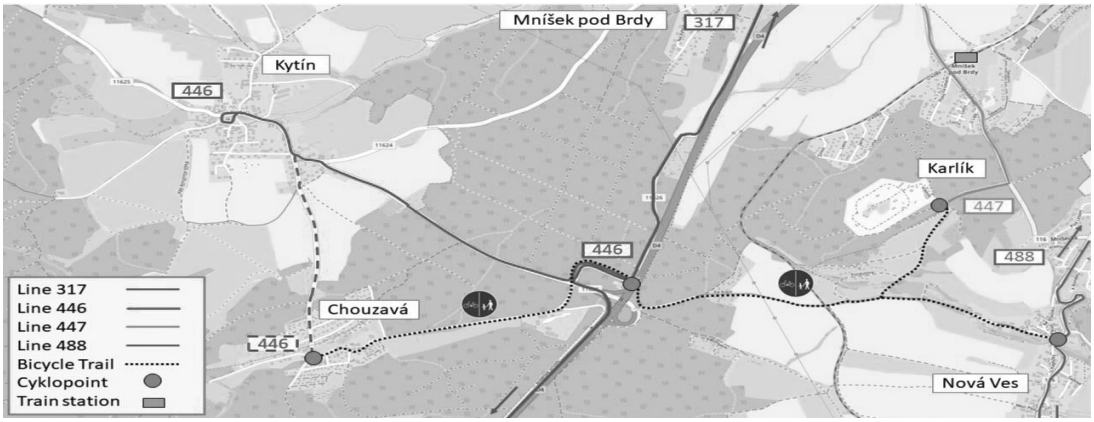


Fig. 1. Test area for dynamic public transport

A similar problem occurs when passengers want to travel to the small village of «Karlík» from «Mníšek pod Brdy». Normally passenger must take a line 447, but there is a similar problem like 446 – there are only few connections per day. A new possibility is to take a line 317 and at Cyklopoint

take a bike. Another possibility is to take a line 488 and at a small village «Nová Ves» change to the bike. Line 447 can be also dynamic, so if there is a high demand for transport to «Karlik», the new connection of 447 is created.

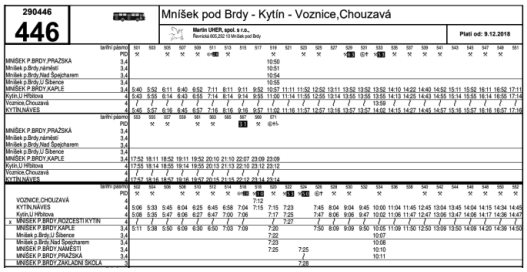


Fig. 3. Timetable 446 bus line

Optimal result can be a combination of these solutions – passenger can use train to «Mníšek pod Brdy» (frequent traffic jams on the highway) – line 447 is dynamically created in the section Train station MpB – «Karlík» or «Nová Ves» and then passengers can use bikes to «Chouzavá» or «Kytín».

One of these solutions is offered to a passenger. The optimal decision is chosen by an algorithm based on the mentioned parameters.

V. Model 2 Smart Transport System as a Personal Service

As the second impact, we want to state the next more complicated Model 2, which is not developed but can represent the real existing transport system, or even take into account more complex cases. In this model, we can collect in real-time all the orders with different parameters and plan them for different resources.

We can describe the model with already mentioned 3 classes (passengers, transport, infrastructure) but add one more – environment. [15] All of the agents will have a wide variety of criteria.

A. Passenger agent

If the passenger wants to use dynamic transport, for him it is necessary to define several parameters:

1) Where are the starting and final stop/destination? Basic parameter of the passenger route.
2) Final destination arrival time.
3) Time of departure. This parameter is tentative; departure time can be changed depending on other parameters.
4) Travel time. How much time the passenger is willing to spend on public transport.
5) Time of delay. How much "delay" time is tolerated if someone makes a new demand when the dynamic connection is already created.
6) Vehicle type. Which means of transport is acceptable to the passenger (bus, car, bike, scooter, segway, etc.)
7) Special demanded conditions. Low floor vehicle, bike transport, handicap, etc. requirements
8) Waiting time. How much time the passenger is willing to wait for dynamic transport
9) Transfer time. How much time is required before the following connection arrives?
10) Price. Price of the transport connection

B. Vehicle agent

This type of parameter is focused on the operator of public transport or the carrier.

1) Vehicle type – mean of transport. Which means of transport is possible to offer to the passenger (Bus, car, bike, scooter, Segway, etc.)
2) The capacity of the vehicle. What capacity can be offered to a dynamic connection?
3) Vehicle actual position
   a) Knowledge where vehicles are located in the current time – which vehicle can be used for the transport
   b) GPS position
4) Vehicle actual position – following connection
   a) Knowledge where vehicles of the following connection are located in the current time
   b) Delay elimination
5) Vehicle occupancy
   a) Is it possible to offer a particular vehicle to a dynamic connection?
   b) Online automatic passenger counting in vehicle
6) Technical parameters of the vehicle
   a) Size, width, height, weight

C. Infrastructure agent

1) Bus stops locations
   a) Location of places, where passengers can start or end travel
2) Transfer point
   a) Location of places, where passengers can change to the following connections, main lines
3) Important locations, transfer point
   a) Definition of location that is preferred to use
   b) Charging stations
4) Type of road
   a) Parameter of all roads in region – max width, height, the weight of vehicles
   b) Danger places
5) Actual infrastructure data
   a) Closed roads in the current region
   b) Traffic accident
   c) Traffic jams
   d) Dispatching restriction

D. Environment demand

1) Weather
   a) Weather conditions can significantly transform offered dynamic connection
2) Pollution
   a) Quantity of CO2 or another emission can be a significant parameter for dynamic route creating
3) Environment type – relief
   a) Territory type affects the use of means of transport

E. Additional model characteristics

Making a step towards an ideal transport system of the future we need to take into account more cases to consider. Among them:

1) The system should give recommendations on the start time of the route for reasons of traffic jams, the schedule of shops, the ability to share a trip with friends or avoid a meeting.
2) The criteria for every trip can differ, because of the user. Before each trip, a person must pass a short survey on the current mood and desires. The problem of various solutions based on people's ontology.
3) The transport system must interact with the route planner of each person. Each route planner needs to interact with a personal avatar who knows the shopping list, a favorite magazine where you can go after work, friends that want to share marsh route, a list of scheduled non-urgent cases in which you can stop along the way.
4) This means we need a personal scheduler for planning and request for the time slots and synchronized p2p planners.
5) It is necessary to increase the number of rental points. To have as much as the garbage containers in each yard. And to be able to pre-book a Bicycle/scooter/rollers, etc.
6) From a technical point of view, the system should pose the ability to manage two planning strategies, JIT and ASAP.
7) The system should motivate office workers to move more and specifically offer ways that involve walking or cycling as an alternative to the most effective route.
8) The system should run a lot of different-sized unmanned electric buses that pick up people near their starting points of the route.
9) For all these areas it is necessary to work with actual data. The system cannot be dynamic without actual data, because the system doesn´t know the requirements to transport. These areas intersect and interact with each other.

In the transport system of the future from our perspective, the citizen will just point "I want to go from A to B. I need different options for money and comfort suits for me". And the system will offer him different options. In the future transport system, even the public transport schedule, will be formed based on real-time demands from people. And solving the global transport task will be a combination of the resources and demands of millions of users.

VI. Conclusion

In this paper, for the first time, we want to present the idea of future Smart Transport System as personal service provided for citizens that will help to change the paradigm where people adjust their plans for transport schedules and show how the smart transport can provide personal service to every citizen according to their needs.

Based on a simple model with Person, Transport and Infrastructure description we proved the feasibility of the approach of finding the balance in solving last mile problem between different criteria: the mobility of people, comfort and unique characteristics of every person.

As the next step, we will add more concepts and parameters to the model, because the designed architecture shows scalability and will prove the concept of the test data from the city of Prague and the city of Samara.

Acknowledgment

This work was supported by the European Regional Development Fund under the project AI&Reasoning (reg. no. CZ.02.1.01/0.0/0.0/15_003/0000466) and by Student grant competition of Czech technical university in Prague SGS19/080/OHK2/1T/16

References

[1] L. Steg, “Can public transport compete with the private car?” IATSS Research, vol. 27, 2003, pp. 27-35.

[2] A. Carteni, and I. Henke, “Public Transport Quality and Travel Experience: The Italian Case Study,” European Scientific Journal, 2017.

[3] E. Murphy, and J. Usher, “The Role of Bicycle-sharing in the City: Analysis of the Irish Experience,” International Journal of Sustainable Transportation, vol. 9, pp. 116-125, Jul 2014.

[4] L. Anthopoulos, “Smart utopia VS smart reality: Learning by experience from 10 smart city cases,” Cities, in Press.

[5] Shen, H. Zhang, and J. Zhao, "Embedding autonomous vehicle sharing in public transit system: An example of last-mile problem," Tech. Rep., 2017.

[6] A. Moorthy, R. De Kleine, G. Keoleian, J. Good, and G. Lewis, “Shared Autonomous Vehicles as a Sustainable Solution to the Last Mile Problem: A Case Study of Ann Arbor-Detroit Area,” SAE Int. J. Passeng. Cars – Electron. Electr. Syst, vol. 10, 2017.

[7] MR Tight, F Rajé, and PM Timms, “Car-free urban areas – a radical solution to the last mile problem or a step too far?” Built Environment, vol. 42, pp. 603-616, December 2016.

[8] S. Shaheen, and N. Chan, “Mobility and the Sharing Economy: Potential to Facilitate the First- and Last-Mile Public Transit Connections,” Built Environment, vol. 42, pp. 573-588, December 2016.

[9] A. Scheltes, and G. Correia, “Exploring the use of automated vehicles as last mile connection of train trips through an agent-based simulation model: An application to Delft, Netherlands,” International Journal of Transportation Science and Technology, vol. 6, 2017, pp. 28-41.

[10] E. Grison, V. Gyselinck, and JM Burkhardt, “Exploring factors related to users’ experience of public transport route choice: influence of context and users profiles,” Cognition, Technology & Work, vol. 18, November 2015.

[11] D. Földes, and C. Csiszar, “Route Plan Evaluation Method for Personalized Passenger Information Service,” Transport, vol. 30, pp. 273-285, October 2015.

[12] S. P. Mohanty, U. Choppali and E. Kougianos, “Everything you wanted to know about smart cities: The Internet of things is the backbone,” IEEE Consumer Electronics Magazine, vol. 5, no. 3, pp. 60-70, July 2016.

[13] Rzevski, G., Skobelev, P.O.: Managing Complexity. WIT Press, Boston (2014)

[14] Skobelev, P., Mayorov, I., Kozhevnikov, S., Tsarev, A., Simonova, E.: Measuring adaptability of “swarm intelligence” for resource scheduling and optimization in real time. In: Loiseau S., Filipe J., Duval B., Herik J. (eds.) 7th International Conference on Agents and Artificial Intelligence, Lisbon, January 2015. vol. 2, pp. 517-522. SCITEPRESS, Portugal (2015)

[15] Horaždovský, P.; Svítek, M.: Dynamic Service of Public Transport in Smart City and Region In: 2017 Smart Cities Symposium Prague (SCSP) - IEEE PROCEEDINGS. New York: IEEE Press, 2017. ISBN 978-1-5386-3825-5.

Онтология проектирования Super Smart Society: сущности, понятия, проблемы

Боргест Н.М.
Институт проблем управления сложными системами РАН,
Самарский национальный исследовательсткий университет им. академикаС.П. Королева
Самара, Россия
borgest@yandex.ru

***Abstract* — The paper considers the ontology of designing Super Smart Society based on the analysis of the Japanese model of the Society 5.0. The main entities and concepts are defined; the current and potential problems of building the society of the future are described.**

Ключевые слова — онтология, проектирование, общество, понятия, проблемы, сущности

I. Японское «чудо» или Абеномика

Проектирование как процесс моделирования будущего начинается с построения онтологии предметной области, в которой планируется запустить процесс преобразования. Сама онтология проектирования как научная дисциплина имеет долгую историю [1], в том числе в области преобразований социальных систем разного масштаба и уровня от университетов [2], городов [3, 4] до стран [5] и цивилизации в целом [6].

В конце 2012 года премьер-министр Японии Синдзо Абэ обнародовал программу развития японской экономики, которая стала известна как Abenomics (Абеномика). Эта программа пытается решить самую большую проблему японской экономикой - старение общества и сокращение населения - путем устойчивого роста и создания новой социальной модели, названной Общество 5.0. Общество 5.0 - это видение Японии для следующего шага в эволюции человека после этапов охотничьего, аграрного, промышленного и информационного общества [5].

II. Зри в корень или главное - люди

В своей программе первым пунктом японцы определили для себя главную *сущность*, которая является и целью, и средством ее достижения. Это творческие, трудолюбивые, продуктивные люди, индивиды и само общество в целом. Население может стать меньше, но оно также может стать умнее, а повышение производительности поможет компенсировать изменения в рабочей силе. Старение общества стимулирует спрос на продукты и услуги по уходу и оздоровлению, что, в свою очередь, стимулирует инновации в робототехнике, искусственном интеллекте (ИИ) и Интернете вещей (ИВ). Уменьшение рабочей силы также будет стимулировать бизнес, спрос на более высокие навыки для наилучшего использования технологических достижений, согласно видению Общества 5.0.

Стоит отметить, что японцы не оригинальны в своих приоритетах. Всем хорошо известны подобные лозунги из недавней истории социалистического прошлого, когда вместе с декларацией были и реальные успехи в оценке человека труда.

Эффективность функционирования общества определяется здоровьем его членов. Именно этот не задекларированный тезис стоит первым в описании главной онтологической сущности Общества 5.0 – ЗДРАВООХРАНЕНИЕ! С этим же посылом в свое время было связано возвращение на Родину А.И. Солженицына, который неустанно говорил о «сбережении народа» [7, 8].

Реализация индивидуальных медицинских услуг в японской программе и программах других развитых стран опирается на компьютерную обработку персональных медицинских карт с использованием больших данных, улучшение удаленного медицинского обслуживания в сочетании с традиционным медицинским осмотром, использование ИИ и роботов в учреждениях длительного ухода для улучшения качества жизни граждан и уменьшения бремени лиц, осуществляющих уход.

МОБИЛЬНОСТЬ граждан и услуг включает использование беспилотных аппаратов, причем начиная с горных районов, а затем городские районы. Транспортные услуги без водителя планируется сделать коммерческими уже к 2020 году, а к 2022 году - автономные грузовые автомобили для массовых перевозок с целью решения проблемы нехватки водителей. Для этого городское планирование будет включать новые варианты мобильности, когда предусматривается автономное вождение, поддержка покупок и мобильность как услуга (MaaS) [9].

III. Среда и сервис для людей

Внедрение инноваций в финансовой сфере (FinTech) включают проведение экспериментов с использованием технологии блокчейн, ускоренный переход на комфортные для граждан безналичные платежи.

Чистая среда обитания обеспечивается ДЕКАРБОНИЗАЦИЕЙ, в рамках которой в Японии:

Работа выполнена в рамках государственного задания Институту проблем управления сложными системами РАН по теме № 0056-2014-0009 «Интерсубъективное управление инновационным развитием социотехнических объектов с применением онтологических моделей ситуаций».

©2019 ИПУСС РАН, СамГТУ, IEEE

- к 2030 году до 70% новых автомобилей будут использовать электрические, топливные элементы или другие не бензиновые двигатели;
- к 2025 году будут построены до 320 коммерческих водородных станций;
- ИИ и ИВ будет использоваться для управления энергопотреблением для более эффективного распределения ресурсов.

ЦИФРОВОЕ ПРАВИТЕЛЬСТВО сделает все услуги и процедуры цифровыми, применив современные методы идентификации личности. В этом направлении многие страны и Россия, в том числе, активно работают и имеют определенные успехи.

Меняется ИНФРАСТРУКТУРА, в которой активно используются робототехники и датчики для ремонта и повышения производительности инфраструктуры, внедряются управляемые данными операции для повышения точности процессов строительства, обновления и обслуживания. Эти технологии, включая умные камеры, активно внедряются уже во многих странах. Лидерами здесь являются Китай, США и страны Европейского союза.

УМНЫЙ ГОРОД с новыми мобильными службами и частными возможностями передачи данных, с эффективным и чистым транспортом – это тренд в развитии современных мегаполисов.

УМНОЕ СЕЛЬСКОЕ ХОЗЯЙСТВО означает использование датчиков, анализ больших данных и ИИ, чтобы помочь фермерам создавать менее трудоемкое производство и интегрировать свою работу в современную цепочку поставок от фермы до магазина при минимальных затратах. Отработанный «умный» подход будет распространен в дальнейшем и на другие отрасли, такие как лесное и рыбное хозяйство.

Важная часть трудового процесса – режим и условия оплаты труда. РЕФОРМА РАБОЧЕГО СТИЛЯ включает принцип «равной оплаты за равный труд», содействие удаленной и побочным работам, а также тем, кто хочет работать на разных должностях. Авторы Абеномики осознают, что справедливость вознаграждения за труд – важный элемент устойчивого развития общества.

Коммунистический лозунг «Всё для человека – всё во имя человека» в японской программе в действии. Так РАЗВИТИЕ ЛЮДСКИХ РЕСУРСОВ в этой программе включает:

- переход к бесплатному образованию всех детей дошкольного возраста и студентов высших учебных заведений;
- возможность дальнейшего образования и смены профессии;
- реформирование учебной программы для более полного удовлетворения потребностей в современных профессиях, особенно с точки зрения технических навыков, таких как информационные технологии (ИТ);
- внедрение программирования в обязательное обучение в начальной школе, чтобы поддержать знания в области ИТ в будущем.

В программе прописаны меры социальной поддержки по половому признаку (женщинам), возрасту (пожилым) и гражданству (эмигрантам).

IV. Умные правила для бизнеса

Меняющиеся социальные потребности влияют на рынок, которому нужна законодательная поддержка. Для этого важно иметь гибкий инструмент правового регулирования, отработанный механизм его реализации.

A. Нормативная «песочница»

Новая бизнес-идея или технология нуждаются в поддержке. Во внедряемом подходе «песочницы» (иные известные формы: бизнес-инкубаторы, технопарки и др.) стремятся помочь новым идеям развиваться, ограничивая административные барьеры и нормы в каждом конкретном случае, которые не подпадают под действие существующих норм.

Предприятия могут проводить демонстрационные тесты и пилотные проекты, которые не предусмотрены существующими правилами внутри их «песочницы». Если экспериментальные демонстрации новых технологий или бизнес-моделей будут успешными, правительство рассмотрит вопрос о распространении такого же де-регулирования на остальную часть страны.

По такому же принципу отдельные регионы имеют возможность проводить передовые структурные реформы в надежде превратить успешные примеры в «пробные камни» для общенациональной реализации.

B. Норматив для здоровья

Для прогресса в этом направлении необходимо:

- принять гибкую нормативно-правовую базу, чтобы сделать Японию центром регенеративной медицины;
- внедрить более быструю систему одобрения лекарств, медицинских изделий и регенеративной медицины;
- расширить и популяризировать использование онлайн-лечения.

C. Норматив для бизнеса

Для бизнеса важно иметь понятные правила игры на рынке, их стабильность на определенном временном интервале. При этом правила должны стимулировать развитие предпринимательства. Именно для этого в японской программе предлагается:

- реформировать систему сельскохозяйственного кооператива;
- способствовать структурной реформе в распределении и переработке;
- усилить стимулирование экспорта через японские продукты питания за рубежом;
- внедрить аналогичные подходы для модернизации лесной и рыбной промышленности.

В энергетике провести комплексную реформу в целях повышения конкурентоспособности существующих источников энергии при одновременном изучении новых источников энергии для создания экологически чистой и растущей отрасли.

Эффективное использование радиочастот является ключом к ускорению инноваций в областях следующего поколения, таких как ИВ, цифровые медиа и мобильные развлечения. Задачи программы в этом направлении -

продвигать и поддерживать бизнес-модели, которые выходят за рамки традиционных телевизионных или телекоммуникационных операций.

V. Успех в сотрудничестве наций

Основная проблема, стоящая перед всеми нациями, - это устойчивый рост. Решение - в совместных инновациях, открытии рынков и предложение лучших продуктов и услуг за рубежом. Абеномика всегда стремилась создать процветание в Японии и делиться этим со всем миром как часть благотворного делового цикла, основанного на свободных, справедливых правилах рынка. Открывая свои рынки для инвесторов из-за рубежа, Япония экспортирует инфраструктуру и предоставляет финансовую помощь, чтобы повлиять на взаимовыгодные глобальные отношения.

Экспорт качественной инфраструктуры в японской модели включает финансирование инфраструктурных проектов по всему миру и укрепление конкурентоспособности их посредством государственно-частного сотрудничества [10].

Туризм – важный элемент коммуникаций и способ продвижения национальной культуры. В японской программе это:

- продвижение национальных парков, использование культурных ценностей и создание привлекательных туристических маршрутов;
- улучшение туристического опыта с помощью дополнительных бесплатных точек Wi-Fi и банкоматов, оборудованных для международных транзакций;
- развитие услуг проживания в соответствии с сертифицированными процедурами.

Создание интегрированного курорта, объединяющего отели, рестораны, развлечения, помещения для деловых конференций и др., расширит предложение Японии в сфере гостеприимства и туризма.

VI. Опора экономики - конкурентоспособный бизнес

Малое и среднее предпринимательство (МСП) – основа экономики не только в успешной Японии. МСП обеспечивают 70% всей занятости и более 50% всей добавленной стоимости в промышленности Японии. МСП – это не только огромный потенциал для стимулирования экономики за счет повышения производительности МСП с помощью новых технологий, но и важнейший механизм устойчивого существования и развития общества. Меры японского правительства нацелены на:

- внедрение передовой ИТ, робототехники и облачных инструментов;
- снижение налога на имущество для МСП, которые вкладывают в ИТ, робототехнику и облачные инструменты;
- поддержку собственности и бизнеса для МСП, владельцы которых выходят на пенсию по возрасту;
- поощрение международной деятельности МСП.

Важная часть корпоративного управления - доверие инвесторов. Для этого:

- разработан Кодекс корпоративного управления, способствующий прозрачному и своевременному принятию решений листинговыми компаниями;
- разработан Кодекс управления, способствующий взаимодействию и целенаправленному диалогу между инвесторами и компаниями;
- предоставление информации акционерам осуществляется посредством электронной передачи.

Реформа корпоративного налога ориентирована на рост. Для этого снижается ставка налога и налоговая нагрузка на корпоративную прибыль для компаний, активно занимающихся повышением заработной платы и капиталовложений, а также компаний, которые активно участвуют в передовых инвестициях в ИТ.

Приветствуются прямые зарубежные инвестиции, способные придать импульс экономике [11]. Для этого: оптимизируются административные процессы, сокращаются административные расходы, консолидируются разрозненные точки регистрации для различных документов в одном удобном месте, проводятся семинары по зарубежным инвестициям.

VII. Барьеры на пути в новое общество

Дорога к супер умному обществу вымощена важной ролью технологий в таких областях, как ИВ, ИИ, кибер-физические системы, Большие данные и др. [12, 13].

Ожидается, что во всем мире более 20 процентов населения будут старше 60 лет к 2050 году. Это означает, что все страны должны следить за тем, что делает Япония, и как это Общество 5.0 работает в реальности. Среди проблем, с которыми Япония сталкивается больше, чем многие другие страны, - стихийные бедствия и загрязнение. Супер умное общество должно предложить путь решения этих и других проблем.

Пять стен, которые необходимо преодолеть при переходе к Обществу 5.0.

1) стена министерств и ведомств (разработка национальных стратегий и интеграции государственной системы продвижения, включая разработку «удобной системы ИВ»).
2) стена правовой системы (реформы в области регулирования административной «оцифровки»).
3) стена технологий (формирование, использование и защита «фонда знаний»).
4) стена человеческих ресурсов (образовательная реформа, ИТ-грамотность, расширение человеческих ресурсов со специализацией в продвинутых цифровых навыках).
5) стена общественного признания (необходимость социального консенсуса, тщательное рассмотрение социальных последствий и этических проблем, в том числе в отношении «человек-машина», и таких философских вопросов, как определение того, что означает индивидуальное счастье и человеческое богатство).

VIII. Искусственный интеллект в новом обществе

Новая сущность в новом общественном устройстве, в Обществе 5.0 – это ИИ. Его влияние и роль проявляется уже сейчас. Позитивное воспринимается как естественное развитие технологий, а негативное дает нам сигнал в трагедиях с серийными самолетами, с пилотными проектами беспилотных транспортных и иных автоматических систем. Чернобыль и Фокусима нами пока воспринимаются не как проявления новой сущности, но в новом обществе она заявит о себе вполне явственно. Поэтому мыслящая и ответственная часть общества озабочена возможными негативными проявлениями ИИ и стремится обезопасить в будущем себя и общество в целом.

A. Рекомендации создателям ИИ

Декларируемая цель исследований ИИ лежит в области создания не бесцельного разума, а систем, направленных на принесение пользы человечеству [14]. Для этого необходимы всеми признаваемые принципы работы с ИИ, конструктивный диалог между исследователями ИИ и политическим руководством. Разрабатываемые системы ИИ должны быть безопасны и защищены на протяжении всего срока эксплуатации, а в ситуациях, где это целесообразно, штатная работа ИИ должна быть легко верифицируема. Разработчики систем ИИ должны быть заинтересованы в моральной стороне последствий использования, злоупотребления и действий ИИ, и именно на их плечах лежит ответственность за формирование подобных последствий. Системы ИИ с высокой степенью автономности должны быть разработаны таким образом, чтобы их цели и поведение были согласованы с человеческими ценностями на всем протяжении работы. Экономические блага, созданные при помощи ИИ, должны получить широкое распространение ради принесения пользы всему человечеству. При этом люди должны определять процедуру и степень необходимости передачи системе ИИ функции принятия решений для выполнения целей, поставленных человеком.

Сверхразум должен быть разработан исключительно в целях, соответствующих большинству этических идеалов и для пользы всего человечества, а не одного государства или организации [14].

B. Понятие ИИ, роль и влияние ИИ

ИИ – это совокупность научных методов, теорий и техник, целью которых является воспроизведение с помощью машины когнитивных способностей человека. Текущие разработки стремятся к тому, чтобы машины выполняли сложные задачи, ранее выполняемые людьми. Тем не менее, термин «ИИ» подвергается критике со стороны экспертов, которые проводят различие между «сильным» ИИ и «слабым» ИИ. «Сильный» ИИ потребует значительных успехов в фундаментальных исследованиях, чтобы иметь возможность моделировать мир в целом [15].

В конце 2018 года комитет по информационным технологиям Конгресса США подготовил документ «Восстание машин: искусственный интеллект и его растущее влияние на политику США» [16], в котором говорится, что «ИИ имеет потенциал, чтобы разрушить слои общества как ожидаемым, так и непредвиденным образом». ИИ определяется как вычислительная технология, которая работает и реагирует по-человечески. В отличие от [15] в [16] выделяют две категории ИИ: «узкий» ИИ и «общий» ИИ. Узкий ИИ решает конкретные задачи, такие как языковой перевод, автоматическое управление, распознавание изображений и др. Общий ИИ может выполнять задачи в различных предметных областях, обучаясь в ходе решения задач на основе рассуждений. Сегодня активно начал использоваться узкий ИИ, а общий ИИ пока недостаточно развит.

В глоссарии «Европейской этической хартии об использовании ИИ в судебных системах и их окружении» [17] по аналогии с американским документом различают «сильный» ИИ, способный контекстуализировать проблемы полностью автономно, и «слабый» ИИ, обладающий высокой эффективностью лишь в своей узкой области обучения. Признавая важность ИИ в современных обществах и ожидаемые выгоды, Европейская этическая хартия официально приняла пять фундаментальных принципиальных положений об использовании ИИ в судебных системах и их окружении:

- уважение фундаментальных прав;
- не дискриминация;
- качество и безопасность;
- прозрачность, беспристрастность и честность;
- контроль пользователем.

В ежегодном отчёте Стэндфордского университета [18] отмечается, что лидерство Европы и США в издании статей по ИИ уже не столь очевидно из-за бурного роста публикаций в Китае. Замечено также, что частные компании играют центральную роль в разработке и инвестирование ИИ в США.

В России также создаётся своя национальная стратегия в области ИИ, о которой объявил Президент РФ в феврале 2019 года. Правительству РФ поручено разработать её до 15 июня 2019 года, а к 1 июля 2019 года осуществить реализацию дополнительных мер, направленных на стимулирование роста инвестиций в высокотехнологичные проекты в области ИИ, ИВ, робототехники и обработки больших массивов данных, осуществляемые субъектами МСП.

IX. Онтология нового общества

Выход цивилизации в своем развитии на экспоненту вынуждает искать консенсус в самом обществе, в его устройстве, в среде обитания человечества, которая сокращается в своей первозданности на глазах текущего поколения.

Задавая подобные вопросы, связанные с ИИ [14]:

- Как обеспечить надежность будущего ИИ, чтобы системы выполняли свою программу, не подвергаясь угрозе сбоев и хакерских атак?
- Как повысить уровень благосостояния с помощью автоматизации процессов, не сократив при этом уровень человеческого труда и сохранив его назначение?
- Как, сделав правовую систему более эффективной и справедливой, модифицировать ее в

соответствии с развитием ИИ и учесть все правовые риски, связанные с его использованием?

- Какие ценностные ориентиры должны лежать в основе ИИ, и каким правовым и моральным статусом он должен обладать?

Мы должны понимать, что своими руками выращиваем новую сущность, способную в будущем составить конкуренцию нам самим. Сущность, у которой может появиться своя онтология, свое понимание, свои цели, установки и ценности.

Пока же, взяв за основу технологическую программу Абеномики [5] и работы по трансформации в цифровое общество [19, 20], можно попытаться определить вектор развития и важные сущности онтологии Общества 5.0. на ближайшее будущее.

Важнейшей сущностью в онтологии нового общества, конечно, является сам человек. Его знания и накопленный опыт, формализованный и зафиксированный в различных формах с помощью ИТ, создает предпосылки для создания и активного участия в деятельности и судьбе человечества ИИ. На рис. 1 выделены основные периоды жизненного цикла человека:

- период воспитания и обучения, требующий значительных затрат от родителей и дотаций от государства;
- наиболее продолжительный период трудовой деятельности, в котором создаются общественные блага, и реализуется сам человек;
- период «дожития», пенсионный период, в котором человек теряет способность эффективно трудиться, и общество в лице государства и он сам стремятся обеспечить комфортные условия подхода к финишу своего существования.

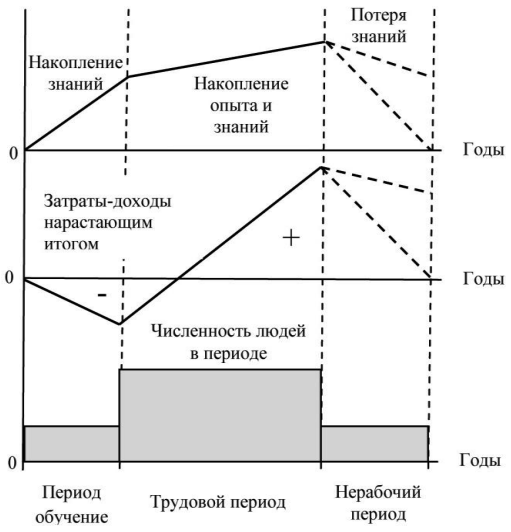


Рис. 1. Качественные соотношения знаний и опыта, затрат и доходов в основные периоды жизненного цикла человека и численностью людей в эти периоды

На рис. 2 в упрощенной форме показаны главные сущности и их отношения в новом «умном» обществе. Принятые обозначения:

$Ч_1$… $Ч_n$ – человек (условно выделены два экземпляра этого класса, один из которых $Ч_1$ трудится на предприятии $П_1$ и получает там свое вознаграждение, а $Ч_n$ – трудится на предприятии $П_n$, который производит услугу или товар В, необходимый для $Ч_1$);

О – общество ($О = \sum Ч$), которое организует государственные институты Г;

Г – государство, призванное обеспечить функционирование О, права и свободы Ч;

ИИ – абстрактная сущность, интегрировано демонстрирующая участие ИИ в реализации государственных программам управления, автоматического и автоматизированного функционирования производственных П, финансового Б, транспортно-логистического и информационного обслуживания Т;

В – вещь, товар, услуга, входящие в ИВ (здесь для упрощения в услугу входят, в том числе, госуслуги, образование и здравоохранение);

П – предприятия, умные фабрики, учреждения;

Б – умные банки (финансово-цифровое обеспечение);

Т – беспилотные транспортные системы и информационные каналы (здесь также для упрощения схемы системы и канал объединили в одну сущность).

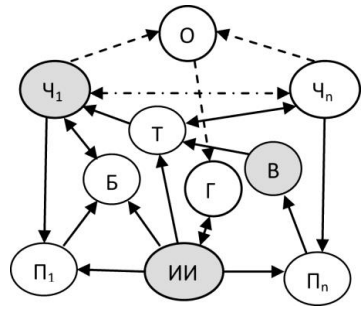


Рис. 2. Главные сущности и отношения в умном обществе

X. Сценарии развития нового общества

Ключевая роль ИИ в новом умном обществе будет проявляться и уже проявляется в локальных предметных областях, расширяясь и интегрируясь в дальнейшем. Вектор на сбережение человеческого потенциала может оказаться утопической идеей, судя по тому как порою «легко играет» технологиями правящая элита [21].

Американский учёный в области теории вычислительных систем Билл Джой - в своей статье «Why the Future Doesn't Need Us» в электронном журнале в утвердительной, а не в вопросительной форме описал мрачные сценарии будущего, объяснив, почему мы можем оказаться не нужными будущему [22]. Основные выводы, сделанные в этой статье, вызвали шквал дискуссий. По его оценкам благодаря усовершенствованным методам, элита получит больший

контроль над массами; а в силу того, что человеческий труд больше не будет необходим, массы окажутся лишним, бесполезным бременем. Если элита безжалостна, она может просто решить истребить большую часть человечества. Если же гуманна, то может использовать пропаганду или другие психологические или биологические методы, чтобы уменьшить рождаемость, пока большинство не вымрет, оставив мир элите. Если элита состоит из мягкосердечных либералов, то она может решить поиграть роль хороших пастухов по отношению к остальной части человечества [22].

Видимо эти негативные сценарии озадачили современных ученых активнее взяться за разработку этических норм для систем, создающихся на основе ИИ.

В только что опубликованной первой редакции совместного труда ученых EEE [23] представлено «Видение приоритетов благосостояния человека с помощью автономных и интеллектуальных систем» в рамках этически выстроенного проектирования. В нем отмечается, что автономные и интеллектуальные технические системы специально разработаны для уменьшения необходимости вмешательства человека в нашу повседневную жизнь. При этом эти новые системы вызывают обеспокоенность по поводу их воздействия на отдельных лиц и общества. Поэтому целью текущего обсуждения является пропаганда положительного воздействия оптимизации процессов и использования ресурсов. Обсуждения включают предупреждения о потенциальном вреде ИИ для частной жизни, неблагоприятных экономических последствиях, рисках для безопасности критически важной инфраструктуры и возможных негативных последствиях ИИ для благосостояния общества [23].

XI. Заключение

Супер умное общество – это общество на знаниях, на историческом, социальном, технологическом и культурном опыте цивилизации. В этом обществе целью и ценностью остается человек и среда его обитания, интеллектуальное, духовное и физическое развитие человека, сохранение жизненной и комфортной среды.

Благодарности

Работа выполнена под влиянием работ проф. В.А. Виттиха и благодаря участию автора в исследовании по теме № 0056-2014-0009 «Интерсубъективное управление инновационным развитием социотехнических объектов с применением онтологических моделей ситуаций» в рамках государственного задания Институту проблем управления сложными системами РАН.

Список литературы

[1] Боргест Н.М. Онтологии проектирования от Витрувия до Виттиха / Онтология проектирования. – 2018. – Т.8, №4(30). – С.487-522. – DOI: 10.18287/2223-9537-2018-8-4-487-522.

[2] Боргест Н.М. Будущее университета. Онтологический подход Saarbrucken: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2014. - 112 с.

[3] Меркулов В.В., Шемякина Т.Ю. Стратегии создания и развития "умных городов" // Вестник ГУУ. 2018. №4. - https://cyberleninka.ru/article/n/strategii-sozdaniya-i-razvitiya-umnyh-gorodov.

[4] Шарифьянов Т.Ф. Смарт-сити - новый виток территориального цифрового неравенства // Региональная экономика: теория и практика. 2018. №2 (449). - https://cyberleninka.ru/article/n/smart-siti-novyy-vitok-territorialnogo-tsifrovogo-neravenstva.

[5] ABENOMICS. For future growth, for future generations, and for a future Japan / The Government of Japan. Published in March 2019. - https://www.japan.go.jp/abenomics/_userdata/abenomics/pdf/1903_abenomics.pdf.

[6] Vittikh V.A. Prolegomena to evergetics / Ontology of designing. 2015; 5(3): 135-148. DOI: 10.18287/2223-9537-2015-5-2-135-148.

[7] Третьяков В. Сбережение народа - высшая изо всех наших государственных задач / Интервью с Солженицыным на англ. языке в The Moscow news. 25-09-2006. ИД "Московские новости" - https://www.ippnou.ru/print/002594/.

[8] Говорухин С. Сбережение народа. Вспоминая Александра Солженицына / СТОЛЕТИЕ интернет-газета. 11.09.2008 - http://www.stoletie.ru/kultura/sberezhenie_naroda_2008-09-11.htm.

[9] Куприяновский В.П., Акимов А.В., Покусаев О.Н., Аленьков В.В., Намиот Д.Е., Синягов С.А. Интеллектуальная мобильность и мобильность как услуга в умных городах // International Journal of Open Information Technologies. 2017. №12. - https://cyberleninka.ru/article/n/intellektualnaya-mobilnost-i-mobilnost-kak-usluga-v-umnyh-gorodah.

[10] Design Tomorrow. Infrastructure with Japan. - https://www.japan.go.jp/technology/infrastructure/.

[11] Investing in Japan. JETRO (the Japan External Trade Organization). - https://www.jetro.go.jp/en/invest.

[12] From Industry 4.0 to Society 5.0: the big societal transformation plan of Japan. CeBIT 2017. - https://www.i-scoop.eu/industry-4-0-society-5-0/.

[13] Keidanren (Japan Business Federation). Toward realization of the new economy and society. April 19, 2016. - http://www.keidanren.or.jp/en/policy/2016/029_outline.pdf

[14] Принципы работы с ИИ, разработанные на асиломарской конференции. Beneficial AI 2017. - https://futureoflife.org/ai-principles-russian/.

[15] Universal Guidelines for Artificial Intelligence Explanatory Memorandum and References. October 2018. - http://thepublicvoice.org/ai-universal-guidelines/memo/.

[16] Hurd, Will, Kelly, Robin L. Rise of the Machines: Artificial Intelligence and Its Growing Impact on U.S. Policy. 2018-09. - https://www.hsdl.org/?abstract&did=816362.

[17] European Ethical Charter on the Use of Artificial Intelligence in Judicial Systems and their environment adopted by the CEPEJ during its 31st Plenary meeting (Strasbourg, 3-4 December 2018) - https://rm.coe.int/ethical-charter-en-for-publication-4-december-2018/16808f699c.

[18] Yoav Shoham, Raymond Perrault, Erik Brynjolfsson, Jack Clark, James Manyika, Juan Carlos Niebles, Terah Lyons, John Etchemendy, Barbara Grosz and Zoe Bauer, "The AI Index 2018 Annual Report", AI Index Steering Committee, Human-Centered AI Initiative, Stanford University, Stanford, CA, December 2018.

[19] Skobelev P.O., Borovik S.Yu. On the way from Industry 4.0 to Industry 5.0: from digital manufacturing to digital society / International Scientific Journal "Industry 4.0". 2017. Year II, Issue 6, P. 307-311.

[20] Yongxin Liao, Hervé Panetto, Jean Simão, Paulo Stadzisz. Ontology-based model-driven patterns for notification-oriented data-intensive enterprise information systems. 7th International Conference on Information Society and Technology, ICIST 2017, Mar 2017, Kopaonik, Serbia. 1, pp.148-153, 2017, ICIST 2017 Proceedings. <http://yuinfo.org/icist2017>. <hal-01526376>.

[21] Боргест Н.М. Историческая ответственность инженера: учеб. пособие. - Самара: Изд-во Самарского университета, 2018. – 120 с.

[22] Bill Joy Ideas. Why The Future Doesn't Need Us. 04.01.00. - https://www.wired.com/2000/04/joy-2/.

[23] ETHICALLY ALIGNED DESIGN. First Edition. A Vision for Prioritizing Human Well-being with Autonomous and Intelligent Systems. The IEEE Global Initiative on Ethics of Autonomous and Intelligent Systems 2019 IEEE 082-03-19. – 290 p.

Инновационная среда Самарского Политеха: Кампус 2.0

Быков Д.Е.
Самарский государственный технический университет
Самара, Россия
rector@samgtu.ru

Франк Е.В.
Самарский государственный технический университет
Самара, Россия
evgeny-frank@mail.ru

Сурнин О.Л.
Открытый код
Самара, Россия
surnin@o-code.ru

Ситников П.В.
Открытый код
Самара, Россия
sitnikov@o-code.ru

Иващенко А.В.
Самарский государственный технический университет
Самара, Россия
anton.ivashenko@gmail.com

Головнин О.К.
Открытый код
Самара, Россия
golovnin@o-code.ru

***Abstract*—There is presented an innovative solution of University infrastructure digitalization based on implementation of an original stack of information technologies. The proposed solution includes automated identification of students, teachers and other university employees, adaptive acquiring in multiple sales points, digital library and mobile application for smartphones. Students' identification is associated with banking cards that improves an opportunity of their interaction in virtual educational space. Special services are provided for parents to monitor and control the students' financial operations and academic progress. Special intelligent module is introduced for coordination and decision-making support. Research conclusions and recommendations are illustrated by the results of solution implementation in Samara State Technical University.**

Ключевые слова — цифровизация инфраструктуры, виртуальное образовательное пространство, кампус, университет.

I. Введение

Высшее образование – одна из сложных областей применения современных технологий. Пытаясь получить востребованные знания и навыки, студентам необходим беспрепятственный доступ к современным технологиям, которые будут им полезны в будущем. В связи с этим существенно важно обеспечить инновационную среду в современном университете как обязательную часть образовательного процесса.

В этом отношении информационные технологии (ИТ) начинают играть главную роль. С одной стороны, в соответствии с тенденциями цифровизации, характерными для большинства областей жизнедеятельности человека, ИТ формируют основу будущей реализации личностного потенциала студента. С другой стороны, ИТ-инфраструктура имеет решающее значение для развития и поддержки инновационной среды как одного из основных инструментов сбора и обмена идеями.

В соответствии с этими тенденциями была предложена концепция Кампус 2.0, которая была внедрена и апробирована в качестве основной части среды инноваций Самарского государственного технического университета. В данной статье предлагается абстрактная модель и программная архитектура ИТ-инфраструктуры, ориентированная на персонализированный образовательный прогресс учащихся с учетом их социального развития под влиянием взаимодействия с учителями, родственниками и друг с другом. Предлагаемые идеи полезны в повседневной учебе и жизни студентов и иллюстрируются результатами внедрения программного обеспечения, развернутого на современных мобильных устройствах.

II. Литературный обзор

Процесс цифровизации [1, 2] в настоящее время затрагивает все сферы современного общества в России, которые меняются под влиянием трансформирующих технологий и инновационных подходов. Цифровая трансформация включает и высшие учебные заведения. В ряде работ, посвященных этой теме, основное внимание уделяется структуре и функциональности университетских информационных систем [3], а также проблемам их реализации [4].

Технические и организационные вопросы развертывания и эксплуатации информационных систем в современных университетах изучены в достаточной степени [5]. Вопросы информативности систем [6], автоматизации рутинных операций [7], формирования организационной структуры [8] и пространственно-временного анализа [9] рассматриваются учеными и разработчиками ИТ. В этих документах проблема оцифровки связана с широким распространением информационных технологий, баз данных и электронного документооборота. Несмотря на то, что преимущества информационных технологий не вызывают сомнения, следует упомянуть некоторые проблемы с их достаточностью для завершения цифрового преобразования.

Другой подход к пониманию цифровизации основан на том факте, что, прежде всего, необходимо иметь как можно более полную информацию для развития университета [10]. Увеличение доступности технологий интеграции разнородных данных [11], накопление массивов данных [12], развитие технологий извлечения информации и знаний [13], а также широкое внедрение технологий больших данных [14] привели к активной разработке концепций на основе баз знаний. Однако такой подход не позволяет получить достаточный

©2019 ИПУСС РАН, СамГТУ, IEEE

эффект там, где наборы первичных данных недостаточны или противоречивы.

Некоторые подходы обработки, анализа и визуализации больших данных [15, 16] могут помочь в решении этих проблем. Идеи взяты по аналогу из области анализа социальных сетей [17]. Большинство программных служб, доступных в Интернете, имеют дело с необходимостью сбора и обработки больших данных своих пользователей. Современные интернет-сервисы становятся доступными для всех в любое время и позволяют пользователям вести переговоры и обмениваться информацией о своей деятельности. Применение интеллектуальных технологий в творческих исследованиях – одно из молодых, но многообещающих направлений прикладных исследований в области ИТ [18].

Этот подход близок к предметно-ориентированному управлению бизнес-процессами (S-BPM), который рассматривает процесс как совместную работу нескольких субъектов, организованных посредством структурированной коммуникации [19]. Может быть предложена модель взаимодействия субъектов (субъектов) в едином информационном пространстве. Идеи косвенного и условного управления, генерирующие мягкое влияние на высокомотивированных автономных акторов, весьма перспективны для университетских сообществ и социальных сетей.

Таким образом, предлагаемая инновационная парадигма развития университета за счет цифровизации основана на синергетическом взаимодействии виртуального и реального мира, в котором трансформирующие информационные технологии выступают в качестве инструмента для построения единого информационно-управляющего координатно-временного пространства. Таким образом, возникающие задачи решаются силами и средствами, распределенными в пространстве и времени в виртуальном и реальном мирах.

Предложенная парадигма реализуется цифровым Кампусом 2.0 Самарского Политеха.

III. Творческая модель участника цифрового кампуса

Университетское сообщество участников цифрового кампуса представлено u_i, где $i = 1..N_u$ – ряд участников. Участники могут создавать, читать и обмениваться сообщениями, комментариями, сообщениями, фотографиями, видео и аудио контентом, ссылками и другой информацией. Эти объекты представлены p_j, где $j = 1..N_w$ - абсолютный номер информационного объекта.

Деятельность цифрового кампуса может быть представлена рядом мероприятий:

$$g_{i,j} = \left(u_i, p_j, t^0_{i,j}\right). \quad (1)$$

Традиционно пользовательская активность может быть представлена в виде журнала событий обработки объекта, которые характеризуются сочетанием пользователя, фокуса и времени. Студенческая деятельность также формализуется последовательностью событий, которые описывают деятельность студента, связанную с учебным процессом, индивидуальными занятиями, социальными действиями и досугом:

$$e_{i,j,k} = e_{i,j,k}\left(p_k, \left(u_i, f_{i,k}, t_{i,j,k}\right)\right) = \{0,1\}, \quad (2)$$

где фокус $f_{i,k}$ представляет текущий интерес пользователя и может быть описан облаком тегов:

$$f_{i,k} = \left\{\left(\tau_n, w_{l,k}\right)_{i,k}\right\}, \quad (3)$$

где τ_n – тег (ключевое слово) с весом $w_{n,k}$.

Эта модель используется для понимания текущего внимания студента, которое может быть зафиксировано смартфоном, и используется для выявления пробелов в восприятии, задержек с учебной деятельностью, периодов бездействия и рисков недостаточной успеваемости в результате академических неудач.

Смена фокуса студента отражает эволюцию его интереса. Поведение одного пользователя может определяться сочетанием ряда внешних событий и одновременных интересов других студентов, тем не менее, все они будут отражены в соответствующих изменениях фокуса.

В дополнение к фокусу у каждого пользователя есть база знаний, которая определяет его восприятие. База знаний может быть описана с помощью онтологии в форме семантической сети, которая со временем меняется под влиянием обучения и забывания информации. Эти изменения формализуются в виде цепочки контекстов:

$$c_{i,m} = \left\{\left(\tau_l, w_{l,m}\right)_{i,m}\right\}. \quad (4)$$

Изменения контекста связаны с изменением фокуса пользователя. Фокус не может быть значительно новым, чтобы обеспечить положительное восприятие, и в то же время он не равен контексту, чтобы вызывать интерес.

Соотношение изменений контекста и фокуса представлено в виде событий:

$$e'_{i,j,m} = e'_{i,j,m}\left(p_k, \left(u_i, c_{i,m}, t_{i,j,m}\right)\right) = \{0,1\}. \quad (5)$$

Утверждения (2) и (5) могут быть использованы для моделирования и анализа образовательного творчества. Для изменения фокуса и привлечения интереса пользователя может быть автоматически создан дополнительный «контекст наложения» в виде подсказок или уведомлений.

Определение контекста и направленности участников цифрового кампуса и разработка оверлейного фокуса

предлагается использовать для управления их развитием, творчеством и учебой. Если какой-либо объект, требующий внимания в определенное время, остается приостановленным, интерес пользователя может быть спровоцирован специально сгенерированными уведомлениями. Негативное влияние на внимание пользователя, например, перегрузка или изменения интереса, также могут быть выявлены и уменьшены.

IV. Видение решения

Цифровизация в Кампус 2.0 осуществляется в соответствии с тремя основными принципами: безопасность, открытость и мобильность. Предлагаемое видение университетской цифровизации описывает сложную многослойную систему (рисунок 1), где происходит взаимодействие многих подсистем, возникают структуры и возможны явления самоорганизации.

Эта модель открыта: существуют различные каналы обмена информацией с внешней средой. Процессы, влияющие на функционирование модели в целом, являются последовательными; процессы, влияющие на определенные аспекты, распределяются по требуемому слою или группе слоев.

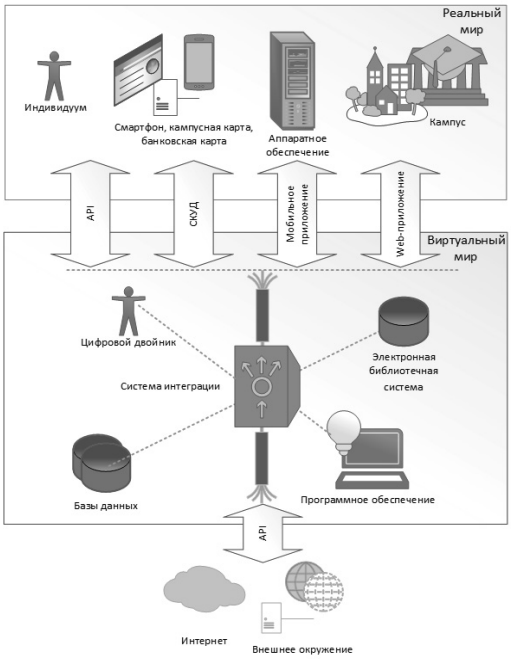


Рис. 1. Кампус 2.0

Слои представляют особенности реального мира или виртуального пространства (рисунок 1). Реальное пространство включает в себя: здания, аудитории, университетские лаборатории, спортивные сооружения, общежития, особенности движения между ними, элементы систем контроля доступа, элементы организационного взаимодействия и финансовые аспекты. Виртуальное пространство включает в себя: информационно-образовательную среду университета, электронную библиотеку, базы данных и другие информационные системы.

Когда слои включаются и выключаются, вся система в целом адаптируется к происходящим изменениям без запроса отдельных мер обслуживания. Таким образом, предлагаемая модель представляет собой модель с саморазвитием и самоорганизацией, позволяющую университетскому кампусу функционировать в целом. Слои объединены в единое информационно-управляющее координатно-временное пространство, через которое происходит обмен информацией и управляющими воздействиями.

V. Траектория развития студента

Источники информации, как правило, могут содержать неполную или недостоверную информацию. Из-за масштаба системы и наличия большого количества источников информации уровень неполноты и несогласованности потенциально высок, что позволяет проявиться синергетическому эффекту Кампус 2.0 – способности восстанавливать недостающую или искаженную информацию.

Организационная структура университета имеет сложную многоуровневую структуру функционального взаимодействия. В предлагаемой модели цифрового кампуса используются как формальные схемы взаимодействия между лицами, принимающими решения, так и динамически создаваемые схемы, предназначенные для решения конкретных задач (рисунок 2).

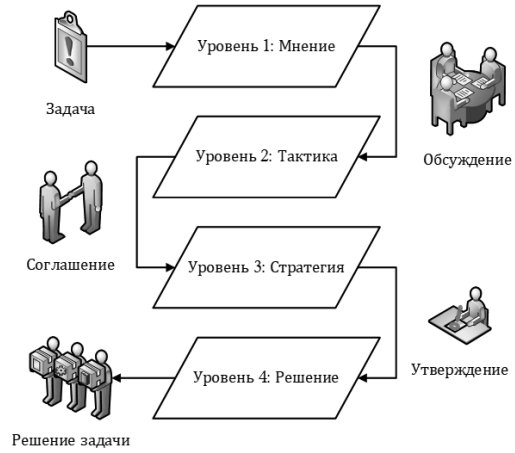


Рис. 2. Динамическая модель взаимодействия

Для каждой решаемой проблемы формируется схема, на первом уровне которой задействованы лица, специализирующиеся на конкретных областях и проблемах. Отбор лиц осуществляется на основе информации о них, агрегированной по их цифровым двойникам. Это может быть информация о публикациях, интересах, участии в конференциях, спортивных мероприятиях, общественных организациях. Первый уровень обрабатывает информацию и формирует промежуточные решения для второго уровня,

отвечающего за тактику. На третьем уровне из элементов тактики формируется стратегия.

Четвертый уровень формирует управляющие воздействия, которые поступают исполнителям. Исполнители могут быть распределены во времени и реальном или виртуальном пространстве. Задачи распределяются между исполнителями в соответствии с информацией, доступной в их цифровых двойниках.

Такая схема взаимодействия обеспечивает согласование и поддержку принятия решения, которое обладает высоким синергетическим потенциалом благодаря близости к оптимальному.

Основной функцией университета является обучение студентов, привитие систематизированных знаний и практических навыков с использованием современных достижений науки, техники и культуры. Инновационный подход, используемый в Кампус 2.0, позволяет создать адаптивную траекторию развития студентов, которая учитывает традиции университета в его подходе к обучению с использованием интерактивных методов обучения и эффективных практик.

В процессе обучения формируется цифровой двойник (аватар) студента, отражающий его достижения в образовательной, научной, социальной и спортивной деятельности (рисунок 3).

Выполнение различных заданий обеспечивает развитие как студента, так и его виртуального аватара. Таким образом, обеспечивается принцип «обучение через развитие, развитие через обучение», то есть достигается синергетический эффект.

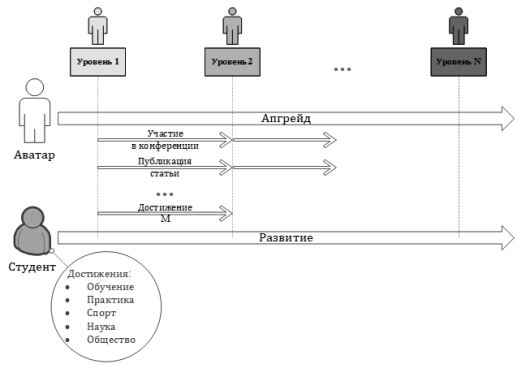


Рис. 3. Развитие студента в реальном и виртуальном мирах

Организация взаимодействия в условиях одновременного существования в реальном и виртуальном мирах осуществляется через среду студента посредством информационного взаимодействия.

VI. Реализация

Реализация Кампус 2.0 выполнена как на аппаратном, так и на программном уровнях. Решение направлено в первую очередь на:

- обеспечение эффективного контроля доступа в университет в целях повышения безопасности;
- повышение открытости образовательной среды для абитуриентов, студентов, работников образовательных учреждений и партнеров;
- повышение доступности электронных услуг информационно-образовательной среды;
- обеспечение мобильности доступа к виртуальной среде университета.

В рамках работ по повышению безопасности реализована система контроля и управления доступом, обеспечивающая идентификацию лиц и отождествление их с виртуальными цифровыми двойниками на основе кампусных карт, объединенных с банковскими картами. Система контроля и управления доступом обеспечивает контроль входа на территорию учреждения и проход пользователя через турникеты в одно касание. Объединение с банковской картой позволяет осуществлять финансовые расчеты как на территории университета, так и за его пределами: начисление зарплаты и стипендий, проведение оплаты за обучение, транспорт, питание, дополнительные сервисы. Информационный обмен задействует существующую инфраструктуру университета, что позволило интегрировать решение без проведения серьезных изменений.

Повышение открытости достигается за счет внедрения сервиса зонтичной интеграции, выполняющего сбор, агрегацию, первичную обработку данных и контроль доступа. Сервис интеграции обеспечивает взаимодействие внешних и внутренних информационных систем и информационных агентов, веб-сервисов, электронных библиотек, баз данных.

Обеспечение мобильности достигается за счет внедрения мобильного приложения (рисунки 4-6).

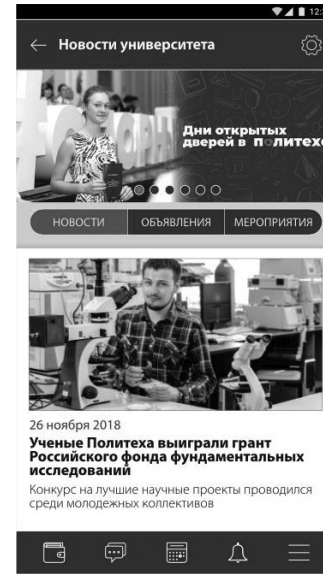


Рис. 4. Информация и объявления

Рис. 5. Электронная зачетная книжка

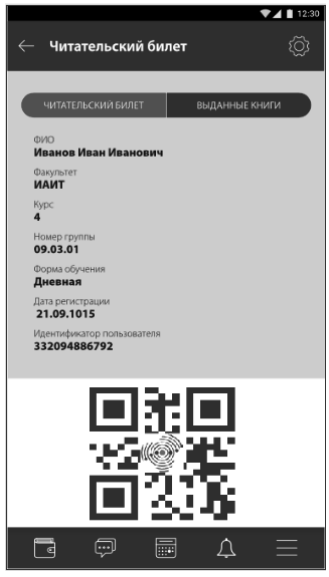


Рис. 6. Электронный читательский билет

Обеспечения мобильности достигается за счет внедрения мобильного приложения. Мобильное приложение, выступающее точкой доступа к виртуальному пространству университета, реализовано с использованием технологии Progressive Web Applications. Таким образом, тонкий клиент доступен для любых мобильных устройств, персональных компьютеров, планшетов. Кроме этого, мобильное приложение реализовано на Native Script и доступно в App Store и Google Play.

В приложении реализованы возможности:

- авторизация на основе единой учетной записи, которая инкапсулирует виртуальное и реальное представление пользователя;
- ролевый доступ с выделением различных функций для студентов, аспирантов, преподавателей, административного персонала, родителей, выпускников и абитуриентов;
- доступ к Wi-Fi;
- доступ к новостям, событиям, встречам, различной справочной информации;
- доступ к электронной зачетной книжке;
- доступ к электронным библиотечным услугам;
- мониторинг учебной деятельности;
- мониторинг оплаты обучения и назначения стипендий;
- доступ к контактной информации университета и сотрудников;
- ведение чатов учебной группы, факультета;
- получение push-уведомлений;
- заполнение адресных опросных анкет.

Таким образом, инновационное решение Кампус 2.0 позволяет:

- обновить инновационную среду в университете с помощью современного стека ИТ, используемых для обеспечения безопасности и привлекательности;
- предоставить индивидуальные стратегии развития студентов, образования и творчества;
- расширить количество активных пользователей электронных услуг информационно-образовательной среды университета;
- расширить количество предоставляемых электронных услуг;
- повысить уровень доступности информационных и образовательных услуг;
- повысить эффективность обмена информацией при обеспечении учебного процесса.

VII. Заключение

Цифровизация университета позволяет добиться повышения конкурентоспособности за счет новых методов развития и продвижения существующих услуг, а также расширения их перечня на основе использования высокотехнологичных инструментов.

Инновационное решение Кампус 2.0 разработано в рамках модернизации материально-технической базы Самарского Политеха. Однако построенное единое информационно-управляющее координатно-временное пространство повлияло на все сферы деятельности университета. Совокупность полученных результатов породила эмерджентность, которая обуславливает эффективность и продуктивность Кампус 2.0 при решении задач как в части совершенствования сервисов и инфраструктуры университета, так и в качестве одного из элементов социальной инфраструктуры. Применение Кампус 2.0 способствует развитию корпоративной культуры, оказывает влияние на восприятие университета обществом и целевыми группами, взаимодействующими с университетом.

Кампус 2.0 является готовым и законченным продуктом, который кастомизируется под требуемую предметную область применения без существенных затрат на адаптацию и масштабирование.

Список литературы

[1] “Digital Russia. New Reality”. Digital McKinsey, July 2017, 133 p. https://www.mckinsey.com/ru/our-work/mckinsey-digital

[2] “One Internet. Global commission on Internet Governance” https://www.cigionline.org/initiatives/global-commission-internet-governance, 2016

[3] K.C. Kowal, S. Meehan, “Partnerships on campus: roles and impacts in developing a new online research resource at Boston College”. The Catholic Library World, 88(3), 2018, pp. 177-184

[4] M.A. Smale, M. Regalado, “College students and mobile technology. In Digital technology as affordance and barrier in higher education”. Palgrave Macmillan, Cham. 2017, pp. 41-56

[5] S.H.I. Hong-Yan, L. JIANG, L.I.U. Man, C.H.A.O. Hu, “Exploration of informatization and digital campus in college”. DEStech Transactions on Engineering and Technology Research, (ssme-ist), 2016

[6] C. Arms, “Campus strategies for libraries and electronic information”. Digital Press. 2015

[7] D. Van Merode, G. Tabunshchyk, K. Patrakhalko, G. Yuriy, “Flexible technologies for smart campus”. In 2016 13th International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation (REV) IEEE. 2016, pp. 64-68

[8] K.R. Schneider, L. Sullivan, E. Collado, “A centralized undergraduate research database: collaboration between institutional research and university-wide research programs”. Council on Undergraduate Research Quarterly, 36(4), 2016

[9] W. Xu, Q. Li, Z. Zhang, C. Wang, C. Liu, “Construction of virtual campus information system”. In 2017 Chinese Automation Congress (CAC). IEEE, 2017, pp. 3580-3583

[10] X. Liu, “A study on smart campus model in the Era of Big Data”. In 2016 2nd International Conference on Economics, Management Engineering and Education Technology (ICEMEET 2016). Atlantis Press. January 2017

[11] X. Cheng, R. Xue, “Construction of smart campus system based on cloud computing”. In 2016 6th International Conference on Applied Science, Engineering and Technology. Atlantis Press, May 2016

[12] M.R.M. Veeramanickam, M. Mohanapriya, “IOT enabled futurus smart campus with effective E-learning: i-Campus”. GSTF Journal of Engineering Technology (JET), 3(4), 2017

[13] N. Zhang, “A campus Big-Data platform architecture for data mining and business intelligence in education institutes”. In 2016 6th International Conference on Machinery, Materials, Environment, Biotechnology and Computer. Atlantis Press, June 2016

[14] H. Yan, H. Hu, “A study on association algorithm of smart campus mining platform based on Big Data”. In 2016 International Conference on Intelligent Transportation, Big Data & Smart City (ICITBS) IEEE. December 2016, pp. 172-175

[15] B. Baesens, “Analytics in a Big Data world: The essential guide to data science and its applications”. Wiley, 2014, 232 p.

[16] A. Ivaschenko, A. Khorina, P. Sitnikov, “Online creativity modeling and analysis based on Big Data of social networks”. Advances in Intelligent Systems and Computing, vol 858. Springer, Cham, 2019, pp. 329-337

[17] C. Kadushin, “Understanding social networks: theories, concepts, and findings”, Oxford University Press, 2012, 264 p.

[18] A. Kravets, M. Shcherbakov, M. Kultsova, P. Groumpos, “Creativity in intelligent technologies and data science”, Proceedings of CIT&DS 2017, Communications in Computer and Information Science, Springer International Publishing AG, 2017, 887 p.

[19] A. Fleischmann, W. Schmidt, C. Stary, “S-BPM in the wild”. Springer, 2015, 282 p.

Анализ надежности информационных систем на основе концепции профилей сервисов

Гвоздев В.Е.
Уфимский Государственный Авиационный Технический Университет
Уфа, Россия
wega55@mail.ru

Бежаева О.Я.
Уфимский Государственный Авиационный Технический Университет
Уфа, Россия
obezhaeva@gmail.com

Насырова Р.А.
Уфимский Государственный Авиационный Технический Университет
Уфа, Россия
nasyrova.rima@yandex.ru

***Abstract* — In this paper, we consider an approach to obtaining quantitative estimates of the reliability of components of software systems implemented in the framework of service-oriented architectures. The proposed formalized procedures create prerequisites for the scientifically-grounded adaptation of recognized approaches developed in relation to the analysis of the reliability of technical systems in the area of managing the functional safety of information systems.**

Ключевые слова — Industry 4.0, надежность информационных систем, сервис, профиль, функциональная безопасность.

I. Введение

Расширение функциональных границ информационных компьютерных сетей (ИКС), обусловленное необходимостью формирования цифровой среды как обязательного условия реализации концепции «Индустрия 4.0» [1,2], дает основание выделить в качестве актуальной приоритетной проблемы обеспечение необходимого уровня функциональной безопасности аппаратно-программных комплексов (АПК) как системной компоненты кибербезопасности. Основной составляющей функциональной безопасности АПК в настоящее время является надежность программных компонент [3]. Это обуславливает необходимость развития методических и теоретических основ управления надежностью аппаратных и программных компонент локальных информационных систем в составе распределенных инфокоммуникационных систем.

Одним из базовых положений управления функциональной безопасностью программных компонент АПК является постоянное отслеживание соответствия потребительских свойств информационных систем целям и ценностям пользователей, что в частности предполагает постоянное отслеживание степени удовлетворенности пользователей надежностью информационных систем [4,5]. Полученные результаты служат основанием обеспечения коэволюции потребительских свойств информационных систем изменяющимся в пространстве и во времени целям и представлениям о ценностях пользователей.

Отличительным признаком информационных систем по сравнению с техническими системами является их субъектоцентричность, что в частности выражается в том, что различные представители одной и той же целевой группы пользователей могут давать различные оценки надежности одним и тем же программным продуктам.

Перспективным направлением построения гибко модифицируемых информационных систем являются сервис-ориентированные архитектуры. В литературе описан подход к анализу надежности программных систем (ПС), концептуальную основу которого составляет стремление «… взглянуть на надежность программных систем глазами пользователя» [6]. Объектом исследования при этом является надежность процессов применения программных систем (ПС). Этот подход принципиально отличается от подходов, фокусом которых является поиск дефектов в программных продуктах и процессах их разработки на разных стадиях жизненного цикла ПС. Основная идея подхода, ориентированного на управление надежностью процессов применения ПС – максимальный учет на начальных стадиях проектирования всех особенностей использования ПС с тем, чтобы в максимально возможной степени обеспечить соответствие надежности программных продуктов требованиям, предъявляемым со стороны пользователей. Ключевыми факторами упомянутых особенностей являются:

1) перенос акцентов в исследовании надежности ПС от оценивания надежности программного кода (инвариантно к условиям применения ПС) к оцениванию надежности информационных сервисов (с учетом того, что приложения ведут себя по-разному в разных условиях).

2) динамический характер оценок надежности сервисов: условия применения системы влияют на надежность программных продуктов.

3) субъективизм в оценивании надежности: пользователи (субъекты, аппаратно-программные комплексы), применяющие ПС разным образом, имеют разные представления о ее надежности.

4) дифференцированный подход к выбору критериев надежности с учетом разной ценности различных сервисов для пользователей.

В настоящей работе рассматривается подход к получению количественных оценок надежности компонентов программных систем, реализованных в рамках сервис-ориентированных архитектур. Предлагаемые формализованные процедуры создают предпосылки для научно-обоснованной адаптации признаваемых подходов, разработанных применительно к анализу надежности технических систем, в область управления функциональной безопасностью информационных систем.

Работа поддержана грантом 19-08-00177А Методологические, теоретические и модельные основы управления функциональной безопасностью аппаратно-программных комплексов в составе распределенных сложных технических систем.

©2019 ИПУСС РАН, СамГТУ, IEEE

II. ПРОФИЛЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ СЕРВИСОВ

Технологическую основу реализации подхода, ориентированного на управление надежностью сервисов, составляет построение профилей. «… Под профилем понимается полное множество альтернатив (например, множество альтернативных категорий пользователей, функций и т.п.), для каждой из которых существует определенная вероятность появления…» [16]. Впервые концепция профилей была описана в [7].

Концептуальную основу построения информационных систем составляет учет свойства многомерности объекта управления, что в том числе выражается в множественности режимов его функционирования; множественность бизнес - процессов и бизнес – задач, реализуемых системой управления объектом.

Реализация профилей информационных сервисов зависит от допущений, положенных в основу их построения. Основу выбора количества уровней в структуре профиля сервисов составляют следующие положения:

1) Информационные сервисы являются неотъемлемой составляющей сервисов, реализуемых в составе бизнес-процессов, связанных с управлением сложной системой.
2) Реализация бизнес-процесса представляет собой реализацию логически связанных бизнес-задач.
3) Каждой бизнес-задаче можно поставить в соответствие множество возможных схем решения, при этом каждой из схем – информационный сервис.
4) Реализация бизнес-задачи осуществляется на одном рабочем месте. В каждый момент времени на одном рабочем месте может реализовываться лишь одна из возможных схем решения бизнес-задачи. Иными словами, в каждый момент времени может использоваться лишь один из информационных сервисов, ассоциируемых с бизнес-задачей.
5) Состав бизнес-задач и их логическая связанность зависят от режима функционирования объекта управления.
6) Возможна одновременная реализация множества сервисов на разных рабочих местах, что обусловлено наличием нескольких взаимодействующих контуров управления объектом управления.
7) В разных контурах управления объектом одновременно возможна реализация бизнес-задач, соответствующих разным режимам функционирования компонент объекта.
8) Субъективизм в оценивании результатов реализации бизнес-задач, что в том числе выражается в субъективизме оценивания потребительских свойств информационных сервисов.

Структура, соответствующая сделанным допущениям, представлена на рис.1. На рисунке обозначено: ГП – группа приложений, в совокупности обеспечивающие реализацию бизнес-процессов, необходимых для функционирования системы в разных режимах; БЗ – бизнес-задачи, решаемые на рабочих местах; ИС – информационные сервисы; П – потребители информационных сервисов.

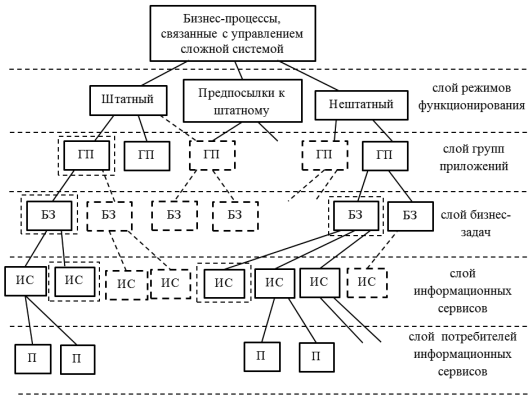


Рис. 1. Профиль информационных сервисов (соответствует множеству контуров управления сложной системой)

Перенося общие правила построения профилей [6,7] на профиль информационных сервисов, приходим к тому, что профиль сервисов (рис.1) представляет собой дерево, в котором бизнес-процессы – корень, а потребители П – листья. При движении от корня к листьям каждому узлу графа в каждом слое ставятся в соответствие исходящие ребра. Каждому ребру ставится в соответствие вес (вероятность перехода), причем для каждого узла справедливо условие нормировки

$$\sum_j P_{i,j}^{(l)} = 1, \qquad (1)$$

где l – признак слоя, i - признак узла в слое, j - признак ребра, ассоциированного с узлом.

На рис. 1 сплошными линиями изображены приложения, бизнес-задачи и информационные сервисы, соответствующие текущему состоянию объекта управления; пунктирными – те, что будут востребованы в будущем с учетом изменения состояния объекта управления; сплошными и пунктирными – соответствующие как текущему, так и будущему состоянию объекта управления.

Компоненты, обозначенные пунктирными линиями, являются отображением стратегии перевода объекта управления из текущего состояния («как есть») в будущее («как будет»). Помимо этого предлагаемая модель позволяет дать количественную оценку степени покрытия бизнес - задач бизнес – сервисами. Так, для i – ой задачи слоя бизнес – задач степень покрытия определяется как

$$СП_i^{(БЗ)} = \frac{ИС_i^{(Р)}}{ИС_i^{(Р)} + ИС_i^{(ПР)}}, \qquad (2)$$

где

$ИС_i^{(Р)}$ – число информационных сервисов, обозначенных сплошными, а также сплошными и пунктирными линиями (реализованные сервисы),

$ИС_i^{(ПР)}$ – число информационных сервисов, обозначенных пунктирными линиями (предполагаемые к реализации сервисы).

Аналогичные оценки могут быть получены с учетом различий в режимах функционирования объекта управления. Из этого следует, что объекту управления можно поставить в соответствие множество профилей информационных сервисов, которые следует рассматривать как дополняющие друг друга. Отмеченное обстоятельство является реализацией известного в системном анализе принципа полиморфизма.

III. Оценивание характеристик надежности информационных сервисов

Каждый простой путь от корня дерева к листу можно рассматривать как событие *E*. Каждому простому пути можно поставить в соответствие метрическую характеристику (неявный профиль [8]) P_r , равный произведению весов дуг, входящих в простой путь. Неявный профиль характеризует вероятность события *E*. Каждому событию *E* можно поставить в соответствие оценку надежности *Rel*, характеризующую надежность информационного сервиса.

В целом, различным вариантам профилей сервисов можно поставить в соответствие системную модель вида

$$<E, Pr, Rel>, \quad (3)$$

где *E* – множество возможных событий,

Pr – множество значений вероятности (неявных профилей), соответствующих каждому из событий,

Rel – множество оценок надежности ИС.

Особенностью оценивания характеристик надежности программных продуктов с точки зрения реализации нефункциональных требований составляют измерительные данные [9]. Особенностью оценивания соответствия свойств программных продуктов ожиданиям пользователей составляют экспертные оценки [10].

Постулируя положение о независимости характеристик надежности, соотносимых с функциональными и нефункциональными требованиями, результирующую оценку надежности R_C можно представить в виде

$$R_C = R_Ф * R_{НФ} \quad (4)$$

где $R_Ф$ – характеристика надежности, соотносимая с функциональными требованиями;

$R_{НФ}$ – характеристика надежности, соотносимая с нефункциональными требованиями.

Для оценивания характеристик надежности на основе субъективных оценок экспертов предлагается использовать известный подход [11]. При таком подходе исходными данными для оценивания характеристик надежности информационных сервисов являются значения лингвистической шкалы (например, «совершенно надежен», «относительно надежен», «почти надежен», «надежен»). Каждому значению шкалы соответствует своя нечеткая функция принадлежности μ, определенная на оси вероятности безотказной работы информационного сервиса.

В рамках описанного подхода оценивание надежности базируется на формировании на основе оценок экспертов наборов лингвистических переменных, соотнесенных с осью вероятности безотказной работы. Надежность характеризуется совокупной оценкой, формируемой на основе агрегирования субъективных оценок экспертов.

Таким образом, предлагаемый подход позволяет получить количественные оценки надежности информационных сервисов на основе экспертных оценок пользователей. Если рассматривать информационный сервис как элемент сложной системы, то полученные результаты создают предпосылки для адаптации известных подходов и методов анализа надежности технических систем в область управления функциональной безопасностью АПК.

IV. Оценка параметрической надежности информационных сервисов

В литературе, посвященной вопросам управления качеством информационных систем, отмечается, что одной из причин исключения программных продуктов из эксплуатации является их моральное старение. Моральное старение обусловлено несоответствием скорости изменения содержания задач управления сложной системой скорости модернизации программных продуктов. С точки зрения анализа надежности информационных сервисов это означает растущее несоответствие функциональных и нефункциональных свойств программных продуктов информационным потребностям субъектов, задействованных в управлении сложной системой. Можно утверждать, что моральное старение информационных сервисов является аналогом деградации элементов технических систем.

Описанный в предыдущем разделе подход к оцениванию показателей надежности информационных сервисов создает базу для адаптации известных подходов оценивания параметрической надежности технических систем [12] в область управления надежностью программных продуктов. Основу методов оценивания параметрической надежности технических систем составляет анализ случайных процессов, характеризующих изменение их определяющих параметров. Состояние технической системы в каждый j-ый момент времени характеризуется множеством определяющих параметров $\Pi_{ij}\ (i = \overline{1, N})$. Отказом системы считается достижение хотя бы одним из определяющих параметров своего критического значения $\omega_i\ (i = \overline{1, N})$. На основе зарегистрированных значений Π_{ij} посредством решения задачи

экстраполяции определяются моменты времени t_i достижения *i*-м определяющим параметром своего критического значения ω_i.

$$A_i^{(1)}: \omega_i, \{\Pi_{ij}\} \rightarrow t_i \quad (5)$$

Здесь $A_i^{(1)}$ – оператор решения задачи оценки времени t_i достижения *i*-м определяющим параметром критического значения ω_i.

В результате решения задачи экстраполяции для каждого из определяющих параметров формируется однородная выборка независимых случайных величин $\{t\}_1^N$. Затем на основе этой выборки посредством известных методов построения законов распределения случайных величин строится оценка закона распределения наработки до отказа $\hat{F}(t)$

$$A^{(2)}: \{t\}_1^N \rightarrow \hat{F}(t) \quad (6)$$

В литературе описаны различные формальные схемы, соответствующие $A^{(2)}$, например в [13], в том числе по выборкам малого объема [14-17].

Описанный подход может быть использован для анализа надежности информационных сервисов. При этом в качестве Π_{kj} выступают оценки $R_k^{(c)}$, получаемые посредством (4) в *k*-х временных сечениях. Свойство однородности t_k, определяемых в этом случае, обосновывается тем, что разные информационные сервисы используются для решения задач управления одной системой. Свойство случайности обосновывается случайной природой оценок экспертов, свойство независимости обосновывается независимостью взглядов экспертов на потребительские свойства сервисов.

Одним из важных вопросов, возникающих при реализации программных продуктов, является приоритизация функциональных требований исходя из их значимости с точки зрения управления сложной системой. Каждому из требований может быть поставлено в соответствие множество информационных сервисов, причем каждому *i*-му сервису ставится в соответствие свое граничное значение ω_i. Метрическая характеристика ω_i означает ту предельную надежность сервиса, при нарушении которой программный продукт перестает представлять интерес для пользователя. Моменты времени t_i являются платформой, обеспечивающей сопоставимость свойств информационных сервисов, ассоциируемых с разными задачами управления сложной системой. При этом $\hat{F}(t)$ может выступать в качестве одной из интегральных характеристик поведения информационной системы.

Обратимся к вопросу построения экстраполяционных моделей $A_i^{(1)}$. В [12] обосновывается целесообразность использования при анализе параметрической надежности технических систем линейных функций со случайными параметрами (в упомянутой книге именуемых «полуслучайными функциями»). Основанием к выбору линейных зависимостей является существенное превышение скорости морального старения технических систем по сравнению со скоростью их физического старения. В этих условиях, учитывая содержание комплекса задач, связанных со сбором, передачей, систематизацией данных, получение больших объемов измерительных данных не представляется возможным. Это служит причиной выбора простых структур экстраполяционных зависимостей. Аналогичный подход может быть использован применительно к задачам анализа надежности информационных сервисов.

V. Заключение

Предлагаемый подход к оцениванию надежности информационных сервисов по совокупности оценок экспертов создает основу для научно-обоснованной адаптации известных методов анализа надежности технических систем в область управления функциональной безопасностью информационных систем. Оценки надежности информационных сервисов, определяемые по совокупности оценок множества экспертов, являются аналогами характеристик надежности компонент технических систем, определяемых на основе выборочных данных об отказах, т.е. по сути являются «оценками средних».

Также данный подход позволяет исследовать надежность компонент информационной системы, обеспечивающей поддержку управления объектом, функционирующим в разных режимах. Это обеспечивается тем, что оценки, соответствующие разным условиям использования информационной системы, преобразуются к метрическим характеристикам одного и того же вида.

Кроме того, предлагаемый подход позволяет оценивать динамику морального старения функциональных компонент информационной системы, что создает предпосылки для планомерной модернизации информационной системы. Ограничением настоящего подхода является ориентация на информационные сервисы, предоставляемые сотрудникам предприятия. Оценка надежности в случае, когда в качестве акторов выступают технические системы, является задачей самостоятельного исследования. Ограничением подхода также является необходимость формирования лингвистической шкалы, а также ассоциируемых с ней нечетких функций принадлежности, определенных на оси вероятности безотказной работы информационного сервиса.

Список литературы

[1] Шваб, К. Четвертая промышленная революция: монография: пер. с англ. / К. Шваб. – М: Изд-во «Э», 2017. – 208 с.

[2] Günther Schuh, Reiner Anderl, Jürgen Gausemeier, Michael ten Hompel, Wolfgang Wahlster (Eds.) Industrie 4.0 Maturity Index Managing the Digital Transformation of Companies // Acatech STUDY, 2015.

[3] Lagit Kumar Singh, Anil Kumar Tripathi, Gapika Vinod. Software Reliability Early Prediction in Architectural Design Phase: Overview and Limitations // Journal of Software Engineering and Applications, 2011, 4, pp. 181-186.

[4] Тимофеев А.Н. Почему падают ИТ-проекты? // Практика проектирования систем. Научно-образовательный журнал, 2017. С.2-12.

[5] Standish Group 2015 Chaos Report – Q&A with Jennifer Lynch. https://www.infoq.com/articles/standish-chaos-2015.

[6] Мороз Г.Б., Коваль Г.И., Коротун Т.М. Концепция профилей в инженерии надежности программных систем // Математические машины и системы. – 2004. – №1. – с. 166 – 182.

[7] Cheung R. A User-oriented Software Reliability Model // IEEE Trans. Soft. Eng. – 1980. – SE-6, N 2. – pp. 11-125.

[8] Handbook of Software Reliability Engineering, Volume 1. Front Cover. Michael R. Lyu. IEEE Computer Society Press, 1996 - Computers - 850 p.

[9] Липаев В.В. Функциональная безопасность программных средств. М.: СИНТЕГ, 2004. – 348 с.

[10] Kano N., Seraku N., Takashi F., Tsuji S. Attractive Quality and Must-be Quality. The Journal of the Japanese Society for Quality Control, 1984, 14(2), pp. 147-156.

[11] Лошкарева Е., Лукша П., Нименко И., Смагин И., Судаков Д. Навыки будущего. Что нужно знать и уметь в новом сложном мире // World Skills, Global Education Future, Future Skills. – 92 с.

[12] Дружинин Г.В. Надежность автоматизированных систем. – М.: "Энергия". 1977. – 536 с.

[13] Вентцель Е.С. Теория вероятностей: Учеб. для вузов. – 6-е изд. стер. – М.: Высш. шк., 1999. – 576 с.

[14] Гаскаров Д.В., Шаповалов В.И. Малая выборка. – М.: Статистика, 1978. –248 с.

[15] Гаскаров Д.В., Голинкевич Т.А., Мозгалевский А.В. Прогнозирование технического состояния и надежности радиоэлектронной аппаратуры / Под. ред. Т.А. Голинкевича. – М.: Сов. Радио, 1974. – 224 с.

[16] Гвоздев В.Е., Колоденкова А.Е. Непараметрическое оценивание функциональных зависимостей по эмпирическим данным // Мехатроника, автоматизация, управление. – М.: Новые технологии, 2005. - №8. – С.12-18.

[17] Гузаиров М.Б., Гвоздев В.Е., Ильясов Б.Г., Колоденкова А.Е. Статистическое исследование территориальных систем. – М.: Машиностроение, 2008.– 187 с.

Комплексная оценка эффективности и структуризации объектов в системе интернет вещей

Львович И.Я.
Воронежский институт высоких технологий
Воронеж, Россия
Komkovvivt@yandex.ru

Львович Я.Е.
Воронежский институт высоких технологий
Воронеж, Россия
Komkovvivt@yandex.ru

Преображенский А.П.
Воронежский институт высоких технологий
Воронеж, Россия
Komkovvivt@yandex.ru

Преображенский Ю.П.
Воронежский институт высоких технологий
Воронеж, Россия
Komkovvivt@yandex.ru

Чопоров О.Н.
Воронежский государственный технический университет
Воронеж, Россия
Komkovvivt@yandex.ru

***Abstract* — The paper deals with the construction of Internet of things systems. The solution of two problems is considered. First problem is to build an integrated assessment of system objects effectiveness, based on analysis the information of indicators achieved by objects characteristics values . Choice of rational variant of objects structuring and their grouping in the appropriate way depends on the choice of integral estimation model variant. To solve the problem of grouping the approach based on neural networks is used. The parameters of the first neural network are learning rate, normalization parameter, and similarity criterion. In second neural network, this network uses a reset mechanism-temporary deactivation of the group if the similarity condition is not met. Ordering the numbering of Internet of things objects system by value of integral assessment of their functioning efficiency and grouping them into a given number of ordered groups leads to a certain variant of system structuring. Improving the efficiency of an integrated structured system is achieved through the use of transformational mechanisms. The first of them is absorption of the objects of the leading groups of objects from the groups of outsiders and affects the structural efficiency of the Internet of things, as it leads to the reduction of the original set of objects. The second of them ensures movement of objects in the leading groups through the rational use of the resource allocated by the management center and affects the resource efficiency of the entire system. Optimization modeling of these mechanisms leads to a number of discrete programming problems. Numerical methods for finding the best option for the transformation of the original system of the Internet of things, represented as a set of groups of objects requires on the one hand orientation to known approaches, and on the other – taking into account the features of mathematical descriptions of transformation conditions and the possibility of constructing combined algorithms.**

Ключевые слова — модель, эффективность, структура, Интернет Вещей

I. Введение

Подключения на основе смарт-технологий существующих систем и контекстно-зависимые вычисления являются неотъемлемой частью Интернета вещей [1, 2]. Ключевым этапом в эволюции сетевых систем можно назвать переход существующего интернета в сеть связанных сенсоров, которые не только собирают информацию об окружающей среде. Интернет вещей становится чем-то более видимым и превращает действующий статичный интернет в полностью интегрированный Интернет будущего [3, 4]. Комплексное исследование проблем формирования эффективных объектов в системе Интернет Вещей требует разработки проблемно-ориентированных методов математического моделирования.

Прежде всего, необходимо построить комплексную оценку эффективности объектов в системе, используя мониторинговую информацию о полученных ими значениях показателей. Выбор рационального варианта упорядочения объектов и их группировки в заданное число кластеров зависит от выбора варианта интегральной модели оценки. Помимо вариантов модели, на подходы к определению адекватности процесса кластерной структуризации требованиям Центра управления оказывают влияние способы определения границ раздела между кластерами [5, 6].

При использовании векторной оценки производительности объектов Интернет Вещей следует учитывать возможности нейросетевого моделирования. На основе интегральной оценки можно реализовать альтернативные подходы и необходимо построить процедуру согласования для того, чтобы определить соответствующие области изменения параметров объектов [7, 8]. При решении указанных задач математического моделирования формируются соответствующие предпосылки для поиска численными методами оптимального варианта сетевой системы Интернет Вещей с кластерной структурой на уровне структурной и ресурсной эффективности [9, 10].

II. Многомерное моделирование интегральных оценок эффективности объектов системы интернет вещей

Для интегральной оценки используются различные методы преобразования наборов показателей y_{ij} $(j=\overline{1,J})$ в оценке Y_i $(i=\overline{1,I})$. Рассматривались основные модели преобразования и модификации

©2019 ИПУСС РАН, СамГТУ, IEEE

информации при мониторинге для получения интегральных оценок Y_i , ориентированных на формирование кластерной структуры. В качестве примера мы рассмотрим случай, когда есть 4 показателя.

1) Если результат оценки следует учитывать при формировании кластерной структуры единого улучшения всех показателей мониторинга, то интегральная модель оценки [11, 12] является:

$$Y_i = F(y_{ij}) = \min_{1 \le j \le J} \alpha_j y_{ij}, \text{ где } \alpha_j > 0, \ \sum_{j=1}^{J} \alpha_j = 1. \quad (1)$$

Здесь α_j коэффициенты, демонстрирующие относительную важность по каждому из показателей. Оценки (1) соответствует худшему показателю объекта O_i , следовательно, его улучшение означает улучшение всех показателей мониторинга данного объекта.

2) Запись (1) дает

$$Y_i = F(y_{ij}) = \min_{1 \le j \le J} \frac{y_{ij}}{y_j^*} \quad (2)$$

Здесь y_j^* – оптимальное по норме значение *j*. В таком случае, например, при значении Y_i =0.2 мы получаем, что наименьшим образом оптимизированный показатель i-го объекта имеет 20% от его стандарта.

3) Оценка (2) может быть развита так:

$$Y_i = F(y_{ij}) = \sum_{j=1}^{J} \chi(y_{ij} - y_j^*) \ , \quad (3)$$

Здесь - y_j^* пороговое (или стандартное) значение j-го индикатора, - функция Хевисайда: $\chi(y) = \begin{cases} 1, y \ge 0, \\ 0, y < 0. \end{cases}$.

Таким образом, величина оценки (3) определяет числовые показатели мониторинга объекта O_i , соответствующие некоторым заданным по норме границам значений таких показателей. Тогда значение Y_i рассматривается как целое число, $0 \le Y_i \le J$.

4)Если целью интегральной оценки объектов сетевой структуры является улучшение каждого из них хотя бы по одному показателю, то модель:

$$Y_i = F(y_{ij}) = \max_{1 \le j \le J} \alpha_j y_{ij}, \quad \text{где } \alpha_j > 0, \ \sum_{j=1}^{J} \alpha_j = 1. \quad (4)$$

Здесь α_j являются коэффициентами, демонстрирующими относительную важность каждого из показателей.

5) Если целью оценки будет достижение средневзвешенной оценки в каждом объекте, то F может быть простейшей линейной сверткой:

$$Y_i = F(y_{ij}) = \sum_{j=1}^{J} \alpha_j y_{ij} \ , \text{ где } \sum_{j=1}^{J} \alpha_j = 1. \quad (5)$$

Недостатком данного подхода является то, что сверхнизкие значения одних показателей могут быть компенсированы высокими значениями других, а итоговая оценка не будет достаточно информативной. Важным преимуществом такой оценки является ее ассоциативность, позволяющая находить значения коэффициентов с помощью иерархических сверток.

Корневая вершина дерева будет соответствовать интегральной оценке Y_i , соответствие висячих вершин будет значениям контрольных показателей y_{ij} , каждая промежуточная вершина соответствует совокупной оценке ϕ_{ik} , как результат сверток оценок соответствующих вершин на нижнем уровня. Тогда задача нахождения коэффициентов относительной значимости четырех показателей будет решена за счет последовательного сравнения значимости пар по агрегированным показателям. Как результат получается выражение для оценки:

$$Y_i = 0,6 \cdot 0,7 y_{i1} + 0,6 \cdot 0,3 y_{i2} + 0,4 \cdot 0,6 y_{i3} + 0,4 \cdot 0,4 y_{i4} \ .$$

где $\alpha_1 = 0,42, \ \alpha_2 = 0,18, \alpha_3 = 0,24, \alpha_4 = 0,16.$

Общая схема достижения такой комплексной оценки включает такие шаги: а) формирование иерархической системы показателей; б) разработка способов измерения таких показателей, определение их уровней по норме; в) проведение расчета весовых коэффициентов для показателей, расположенных для каждого из уровней иерархии, за счет того, что обрабатываются результаты экспертных опросов; г) формирование интегрального показателя, расчет его значений по всем объектов и ранжирование объектов относительно такого показателя.

6) Если мы предположим, что все анализируемые показатели имеют примерно одинаковое значение, то линейная свертка F принимает простую форму:

$$Y_i = F(y_{ij}) = \sum_{j=1}^{J} y_{ij}. \quad (6)$$

Но, когда применяется интегральная оценка (6), необходимо масштабировать базовые значения показателей в некий общий интервал, можно применять формулы:

$$y'_{ij} = \frac{y_{ij} - y_j^{\min}}{y_j^{\max} - y_j^{\min}}, \text{ где } y_j^{\min} = \min_{i=1,I} y_{ij}, \ y_j^{\max} = \max_{i=1,I} y_{ij}.$$

В противном случае индикаторы с большим масштабом будут иметь большее значение при формировании конечного значения индикатора.

7) Если, предполагать, что показатели имеют одинаковое значение, значения каждого показателя масштабируются до единичного интервала, то для интегральной оценки объектов Интернет Вещей можем получить вероятностную интерпретацию: вероятность того, что *j*-й показатель i-го объекта характеризуется значением по норме. Для такого случая предлагается еще несколько критериев интегральной оценки объектов [13, 14].

III. Особенности нейросетевого моделирования формирования кластерной структуры

При решении задачи кластерного структурирования объектов $O_i(i=\overline{1,I})$, описываемой на базе вектора показателей эффективности $y_i=(y_{i1,...},y_{ij},...,y_{iJ})$, мы будем применять две специфические нейронные сети, принадлежащие к семейству ART. Чтобы получать набор кластеров, сформированных из объектов с аналогичными совокупностями показателей эффективности, мы предлагаем сочетание следующих сетей: Network ART-2a и Network Furry ART. Сетевыми параметрами ART-2a будут β - скорость обучения, θ - параметр, связанный с нормализацией, а ρ - критерий подобия. В сети используются в качестве входных векторов произвольной размерности с реальными компонентами. Исходные векторы $y_i(i=\overline{1,I})$ нормализуются до единичной длины, после чего координаты, меньшие параметра θ, равны 0 и векторы снова нормализуются.

Этот метод подавляет случайные низкие шумы и помехи в исходных данных, снижая качество кластеризации. Когда выбирается прототип и при проверках уровней сходства с входным вектором используется косинусная функция угла между анализируемыми векторами, в случае нормализованных векторов вычисляется как их скалярное произведение.

$$T_k = M_k = (y_i, w^k) = \sum_{j=1}^{J} y_{ij} w_i^k \quad , \qquad (7)$$

Здесь T_k обозначает значение функции выбора по *k*-му кластеру, а M_k – получаемоезначение функции соответствия. Тогда, для этапа 3 выбирается кластер, а на этапе 4 проверяется условие для него Ms>ρ, здесь ρ - является критерием подобия, это параметр сети Интернет Вещей, который является условной оценкой требуемой однородности векторов в кластере. Обратим внимание, что при указанных таких функциях нет необходимости в применении механизмов сброса для нейронов, по которым условие соответствия не выполняется. С одной стороны, это упрощает структуру алгоритма и ускоряет его работу, а, с другой стороны, использование только одного евклидова расстояния в классификации может привести к ошибочному выбору. Когда прототип кластера будет удовлетворять условию подобия, этот прототип обучается вследствие изменения его веса, чтобы он был более похож на входной вектор:

$$w^{k+1} = \frac{(1-\beta)w^k + \beta \cdot y_i}{\left\|(1-\beta)w^k + \beta \cdot y_i\right\|}, \qquad (8)$$

здесь β - параметр, являющийся скоростью обучения. Затем нормализуется новый вектор масштабов прототипа. Скорость обучения демонстрирует пластичность сети с точки зрения потока входных векторов и дает время отклика на изменения ее структуры [17, 18]. В результате, в процессах кластеризации сеть постепенным образом охватывает пространство входных векторов соответствующими j-мерными сферами. Здесь J-число координат векторов y_i. Центр сферы соответствует прототипу каждого кластера, хранящемуся в его масштабах, вокруг которого расположена часть множества входных векторов. Процедура обучения дает возможности такому охвату гибким образом реагировать на изменения в структуре поступающих данных и, следовательно, успешно адаптироваться к обстоятельствам. Параметр β выбирают в зависимости от того, необходимо ли проводить идентификацию долгосрочных паттернов или отслеживать тенденции изменения данных (высокие значения). Также в первом случае частым образом используется установка изначально высоких параметров для определения начального распределения данных при последующем уменьшением значения для стабилизации.

Проведение выбора уровня подобия ρ значительно сложнее, так как в целом общее представление о структуре исходных данных может отсутствовать. Это приводит к главному недостатку сети ART-2a, неконтролируемому увеличению количества кластеров в процессе работы с большими значениями параметров и слиянию данных в один крупный кластер с малыми параметрами. Для переключения процесса структурирования кластера в нечеткую ART -сеть требуется масштабирование данных в диапазоне [0,1]. Сеть регулируется параметрами α, β, ρ, здесь β и ρ используется по аналогии с сетью ART-2a, и α – малое число (порядка 10^{-6}), мешая окончательному вырождению прототипов. В дополнение к нормализации, так называемая предварительная обработка может выступать в качестве предварительной обработки в сети Fuzzy ART. дополнительное кодирование. Как функция выделения применяется один из возможных вариантов нечеткого AND:

$$T_k = \frac{\left|y_i \wedge w^k\right|}{\alpha + \left|w^k\right|}, \qquad (9)$$

здесь оператор ^ определяем так $(p \wedge q)_i = min(p_i, q_i)$, а норму $|p| = \sum_i p_i$.

В отличие от ART-2a, эта сеть использует механизм сброса – временную деактивацию кластера, когда условие подобия не выполняется. Тогда выбор кластера для этапа выбора категории кластеризации определяем как Q – множество активных узлов, затем взятый прототип проверяется входного вектора на базе функции соответствия. Функцию match определяем так:

$$M_s = \frac{\left| y_i \wedge w^s \right|}{\left| y_i \right|}. \qquad (10)$$

Поясним условия постобработки. Сеть ART-2a [19, 20] спроектирована таким образом, что существует заметная зависимость результата от порядка прихода входных векторов. Тогда при фактическом функционировании системы как анализатора конечного пакета данных необходимо на каждой итерации подавать их на вход в случайном порядке. Одним из общих недостатков семейства является, сложность выбора параметра подобия ρ или его аналога - своего рода интегральная оценка подобия векторов. Результатом его неправильного выбора может быть, в крайнем случае, слияние всех данных в один кластер или неконтролируемое увеличение числа категорий. Хорошей возможностью преодоления этой проблемы является использование методов постобработки. Поскольку не всегда заранее очевидно, сколько кластеров необходимо разбить на исходные данные. Для определения искомого параметра подобия предлагается использовать следующий подход. Верхний предел допустимого числа кластеров задается K. В начале работы параметр ρ устанавливается равным 1 или близким к 1. Если следующий вектор не будет удовлетворять функции соответствия ни для одного из существующих кластеров (а их число равно пределу), то значение параметра ρ уменьшается до тех пор , пока не станет возможным либо присвоить вектор одному из классов, либо объединить некоторые два класса в один. Другими словами, если число кластеров [21] достигает заданного K:

1) Текущий входной вектор будет добавлен к существующим кластерам в качестве другого нового кластера.

2) Поиск $M_{IJ} = \max\{M_{ij}\}, \forall i, j = \overline{1..K}, i \neq j$, где пара индексов (*i,j*) - это номера кластеров, прототипы которых наиболее близки с точки зрения функции соответствия. Кластер *j* будет обучаться прототипом кластера *i* на основе заданной функции обучения.

3) Кластер i удаляется.

4) Если найдено $M_{ij} < \rho$, то задается $\rho = M_{ij}$.

Описанный подход достаточно универсален, его, очевидно, можно использовать для модификации как сети ART-2a, так и нечеткой-ART сети при их интеграции.

IV. Заключение

В статье проведено многомерное моделирование интегральных оценок эффективности объектов системы интернет вещей. Приведены особенности нейросетевого моделирования формирования кластерной структуры. Дана характеристика условий многомерного моделирования интегральной оценки эффективности работы объектов сетевой системы интернет вещей с кластерной структурой. Статья может быть полезна для специалистов, связанных с разработкой систем интернет вещей.

Список литературы

[1] Stankovic J. A. “Research directions for the internet of things”. IEEE Internet of Things Journal, vol.1(1), pp.3-9, 2014. (DOI: 10.1109/JIOT.2014.2312291)

[2] Minerva R., Biru A., & Rotondi D. “Towards a definition of the Internet of Things (IoT). IEEE Internet Initiative, Torino, Italy, 2015. Retrieved from https://iot.ieee.org/images/files/pdf/IEEE_IoT_Towards_Definition_Internet_of_Things_Revision1_27MAY15.pdf

[3] Broadband Internet Technical Advisory Group. Internet of Things (IoT) Security and Privacy Recommendations, 2016. Retrieved from BITAG website: https://www.bitag.org/documents/BITAG_Report_-_Internet_of_Things_(IoT)_Security_and_Privacy_Recommendations.pdf.

[4] Albert S. Lutakamale, Shubi Kaijage “Wildfire Monitoring and Detection System Using Wireless Sensor Network: A Case Study of Tanzania”, Wireless Sensor Network, vol.9, pp.274-289, 2017. DOI: 10.4236/wsn.2017.98015.

[5] Azar A, Miao G. “Network lifetime maximization for cellular-based M2M networks”, vol.5, pp.18927–18940, IEEE Access 2017. DOI: 10.1109/ACCESS.2017.2753283.

[6] Mingyue Ji, Giuseppe Caire, Andreas F Molisch “Wireless device-to-device caching networks: Basic principles and system performance”. Retrieved from https://arxiv.org/pdf/1305.5216.

[7] Chen Z, Pappas N, Kountouris M. “Probabilistic caching in wireless D2D networks: cache hit optimal versus throughput optimal”, IEEE Commun Lett 2017; vol.21, № 3, pp.584–587 DOI: 10.1109/LCOMM.2016.2628032.

[8] Somayeh Soleimani, Xiaofeng Tao “Cooperative Crossing Cache Placement in Cache-Enabled Device to Device-Aided Cellular Networks”, Appl. Sci. Vol.8, № 9, 2018, p.1578 doi:10.3390/app8091578.

[9] Felix Wortmann, Kristina Fluchte “Internet of Things”, Bus. Inf. Syst. Eng. Vol.57, № 3, 2015, pp.221–224. DOI 10.1007/s12599-015-0383-3.

[10] Barnaghi P., Wang W., Henson C., and Taylor, K. “Semantics for the Internet of Things: Early Progress and Back to the Future”, International Journal on Semantic Web and Information Systems, vol. 8, No. 1, 2012, pp.1-21. Retrieved from http://info.ee.surrey.ac.uk/Personal/P.Barnaghi/doc/IJSWIS_SemIoT_CR_2.pdf.

[11] Odu G.O., Charles-Owaba O.E. “Review of Multi-criteria Optimization Methods – Theory and Applications”, IOSR Journal of Engineering (IOSRJEN). Vol. 3, Issue 10 October, 2013, pp.1-14. DOI: 10.9790/3021-031020114.

[12] Sorokin S. O. “Optimization modeling of the functioning of the system of homogeneous objects in a multidimensional digital environment”, Modeling, optimization and information technologies. V. 6 № 3(22). 2018. pp. 153-164. Retrieved from https://moit.vivt.ru/?p=7256&lang=en.

[13] Rodríguez-Molina, J., Martínez, J.-F., Castillejo, P., López, L. “Combining Wireless Sensor Networks and Semantic Middleware for an Internet of Things-Based Sportsman/Woman Monitoring Application”. Sensors, Vol.13, № 2, pp.1787–1835. Retrieved fromhttps://www.mdpi.com/1424-8220/13/2/1787/pdf

[14] Almeida VAF, Doneda D, Monteiro M. “Governance challenges for the Internet of Things”, IEEE Internet Comput, vol.19, № 4, 2015, pp. 56–59. DOI: 10.1109/MIC.2015.86.

[15] Orlova D. E. “Stability of solutions in ensuring the functioning of organizational and technical systems”. Modeling, optimization and information technologies. V. 6 № 1(20). 2018. pp. 325-336.

[16] Preobrazhenskiy A.P., Choporov O.N. “The decision of form for diffractive structures in the problem of scattering of radio waves”, International Journal of Advanced Studies. Vol. 6. № 2. 2016. pp. 79-87. DOI: 10.12731/2227-930X-2016-2-79-87.

[17] Preobrazhensky A.P., Choporov O.N. “The optimization of electrodynamic configuration object with the desired characteristics of scattering”, International Journal of Advanced Studies. Vol. 6. № 2. 2016. pp. 97-107. DOI: 10.12731/2227-930X-2016-2-97-107.

[18] Gubbi J, Buyya R, Marusic S, Palaniswami M. “Internet of Things (IoT): a vision, architectural elements, and future directions”. Fut Gen Comput Syst, vol.29, № 7, 2013 pp. 1645–60. Retrieved from https://arxiv.org/pdf/1207.0203.pdf?ref=theiotlist.

[19] Liu C.H., Fan J., Branch J.W., Leung K.K. “Toward QoI and energy-efficiency in Internet-of-Things sensory environments“. IEEE Trans Emerg Top Comput, vol. 2, № 4, 2014, pp. 473–487. Retrieved from https://link.springer.com/article/10.1007/s11036-016-0745-1.

[20] Shah A. and Ghahramani Z. “Parallel predictive entropy search for batch global optimization of expensive objective functions“. In Advances in Neural Information Processing Systems, 2015, pp. 3330–3338. Retrieved from https://arxiv.org/pdf/1511.07130.

[21] Pekka Neittaanmäki, Sergey Repin and Tero Tuovinen (Eds.). Mathematical Modeling and Optimization of Complex Structures; Series: Computational Methods in Applied Sciences. Springer International Publishing AG, Switzerland; 2016. DOI 10.1007/978-3-319-23564-6.

Применение искусственного интеллекта в современных образовательных технологиях при переходе к Smart-обществу

Мартынов В.В.
Институт экономики и управления
ФГБОУ ВО УГАТУ
г.Уфа, Россия
vitaliy.v.martynov@gmail.com

Ширяев О.В.
Институт экономики и управления
ФГБОУ ВО УГАТУ
г.Уфа, Россия
oleg_shiryaev@bk.ru

Зайцева А.А.
Институт экономики и управления
ФГБОУ ВО УГАТУ
г.Уфа, Россия
alenazaitseva@yahoo.com

Филосова Елена Ивановна
Институт экономики и управления
ФГБОУ ВО УГАТУ
г.Уфа, Россия
filosova@yandex.ru

Байков Рафаэль Анварович
Институт компьютерных исследований
ФГБОУ ВО УГАТУ
г.Уфа, Россия
baikovra@mail.ru

***Abstract* —The innovative model of activity management in educational institutions ensuring transition to Smart society is described in this article. It puts before higher education institutions and all interested persons (employers, customers) such tasks as orientation of educational process to the results of education and changing forms of its results representation into the competencies acquired by the graduate ("has to know" and "be able to do"). A technology is being developed in which, at the request of the economic sector, using the ontological technologies, the training process is restructured to reduce the time required to obtain the estimated number of personnel with the competencies required by employers. The ontology contains competencies from different fields of knowledge which makes it possible to describe the level of today's graduate readiness. That allows to carry out the effective formalized search of candidates with the necessary profile and necessary qualification level. It is proposed to develop and to implement a modern open educational platform that would help to eliminate the isolation of the educational process from the requirements of modern professional standards and to accelerate the interaction of all participants of the development and updating of federal state educational standards process. It will not only improve the speed and efficiency of training a specialist of any level of education according to competencies requirements, but also provide operational information and methodical support of the preparation process. The ontology of the educational process constructed on the base of the master's degree training allows to develop general requirements. The professional competency model of the specialist needed by the employers is designed in accordance with these requirements. The curriculum is also dynamically formed or reorganized on their basis considering the most modern requirements of employers. Also, the innovative approach to educational and methodical materials formation is described which takes into account any changes of requirements of federal standards to "working programs" and "funds of estimated means". Such an open system for educational institutions meets the requirements of Industry 5.0, one of the paradigms of which is high quality products to order, and allows you to get talented students who will study the most relevant and innovative technologies and will acquire the most modern competencies in order to be active at the worlds level and that will accelerate the creation of the Super Smart Society.**

Ключевые слова — образование, онтология, требования работодателей, компетенции, Smart-общество.

I. Введение

В источниках встречается различная трактовка аббревиатуры SMART. Сегодня в преобладающем числе случаев в SMART вкладывается следующий смысл [1]:

- specific (конкретный) – объясняется, что именно необходимо достигнуть;
- measurable (измеримый) – объясняется, в чем будет измеряться результат;
- attainable (достижимый) – объясняется, за счет чего планируется достигнуть цели;
- relevant (актуальный) – определение истинности цели;
- time-bound (ограниченный во времени) – определение временного промежутка, по окончании которого должна быть достигнута цель.

Переход к Smart-обществу предполагает образование нового качества жизни, в котором совокупность использования подготовленными людьми новых технологий (то есть Smart-технологий) позволяет его повысить. Для этого необходимо не просто применить современные и развить перспективные технологии, но и сделать это так, чтобы они служили в интересах общества и человека. Строительство инновационного государства в современном мире невозможно без высококвалифицированных специалистов, выпуск которых обеспечивают система высшего образования. Поэтому переход к Smart-обществу предполагает не только наличие Smart-промышленности, Smart-связи и т.п., но и базу в качестве Smart-образования.

В данной статье основное внимание уделено разработке и внедрению таких образовательных платформ, которые позволяют повысить эффективность подготовки специалиста любого уровня образования по заданным в виде компетенций требованиям, обеспечивать оперативную информационно-методическую поддержку процесса подготовки.

II. ПОДГОТОВКА КАДРОВ ДЛЯ SMART-ОБЩЕСТВА

В последнее время часто встречается термин «Индустрия 4.0», означающий переход к промышленной

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Республики Башкортостан в рамках научного проекта № 19-410-020018 "Разработка базовых принципов стратегического социально-экономического развития предприятий Республики Башкортостан на основе моделирования оптимальной архитектуры организаций цифровой экономики".

©2019 ИПУСС РАН, СамГТУ, IEEE

революции, целью которой является использование полностью автоматизированного цифрового производства, которым в режиме реального времени управляют интеллектуальные системы в постоянном взаимодействии с внешней средой. В результате такого производства должны вырабатываться клиенто-ориентированные продукты для конкретного заказчика и только развитие концепций четвертой промышленной революции позволит перейти к Smart-обществу. К таким концепциям можно отнести прозрачность информации, объединение больших объемов данных для автоматизированного решения задач, цифровизация технологий, взаимодействие искусственного интеллекта с человеком через интернет и т.п. Новым трендом также становится переход на концепцию иииндустрии 5.0, для развития которой необходимо, чтобы физическое и цифровое пространство стало единым целым. На первое место выходит «человеческий фактор», индивидуализация покупаемой продукции.

Если приложить принципы организации «умных предприятий» на систему образования, то на выходе получится smart-университет. «Умный» университет в своей основе использует платформу, которая обеспечивает не только контекстную информационную поддержку для студентов через интеграцию учебной аналитической информации с данными, полученными от использования различных датчиков об окружающей среде, но и интеллектуальную виртуальную среду для действительно персонализированной среды обучения. Технологии Smart-образования используют открытые образовательные ресурсы и платформы, соответствующие международным стандартам, внедрение «умной» инфраструктуры университета, автоматизацию и интеллектуализацию систем управления. Соответственно, Smart-университет должен обеспечить подготовку кадров, обладающих навыками использования новых технологий и креативным мышлением. Такой учебный процесс должен давать возможность изучать студентам наиболее актуальные и инновационные технологии, приобретать самые современные компетенции.

Примером может служить инициатива компании «Майкрософт», президент которой заявил, что для построения Smart-общества необходимо при поддержке быстро развивающихся технологий раскрыть таланты человека. Для этого компания запустила проект под названием YouthSpark [2], целью которого является расширение возможностей молодых людей в области цифровых технологий, которые необходимы в различных сферах жизни. Эта программа направлена на реализацию следующих мероприятий:

- обучение готовности к труду на основе ИКТ. Компания «Майкрософт» осуществляет содействие в карьере как своим работникам, так и партнерам, имеет в России множество центров, где обучают навыкам работы на компьютере людей всех возрастов, что облегчает им трудоустройство;
- обучение созданию цифровых приложений. YouthSpark располагает ресурсами, которые могут помочь получить подготовку и навыки для продвижения в области информационных технологий. Для этого у компании есть IT-академия, центры инноваций в вузах, бесплатное программное обеспечение для студентов, совместная работа с образовательными учреждениями по разработке новых педагогических технологий и другое;
- обучение ИКТ и внедрение технологий в концепции обучения. Активно разрабатываются и внедряются передовые мультимедийные учебные комплексы с интеллектуальной дистанционной поддержкой обучения, современное лабораторное оборудование, университетские порталы с системами поддержки научно-исследовательской деятельности вуза;
- обучение тому, как делать из идеи проект, а из него – бизнес. Предоставляются ресурсы, которые помогут более эффективно управлять своим бизнесом.

При переходе к Smart-технологиям в образовании повышается спрос на более комфортное и оперативное управление системой обучения при быстро меняющихся условиях окружающей среды. В настоящий момент ведется разработка открытой системы, обладающей возможностями динамического формирования образовательных программ, позволяющих оперативно подготовить заданное количество обучаемых с требуемыми работодателям компетенциями и перестроить систему управления образовательным учреждением под новые данные. Проектирование такой системы было произведено в методологии ARIS [3]. Процесс формирования таких образовательных программ можно укрупнено показать в виде Value aidded chain diagram, представленной на рис. 1.

Вводимые в настоящий момент федеральные государственные образовательные стандарты (ФГОС) поколения 3++ ориентируются на потребности работодателей посредством учета требований профессиональных стандартов (ПС). С конца 2014 г. Министерство труда и социальной защиты РФ в русле создания общероссийской рамки квалификаций утверждает и публикует профессиональные стандарты для всех отраслей экономики. Целью обновления данных документов является развитие механизмов признания результатов обучения для укрепления связи профессионального образования с рынком труда, введение в теорию и практику проектирования квалификаций понятия «результат обучения».

Основой для этого процесса послужила национальная система квалификаций (НСК), совокупность механизмов правового и институционального регулирования квалификаций работников со стороны рынка труда и предложения квалификаций со стороны системы образования. Назначением НСК служит создание в России современного рынка квалификаций и компетенций, готовящего достаточное количество специалистов, востребованных российскими компаниями.

НСК включает в себя три составляющие:

- национальную рамку квалификаций (НРК) – это классификация, структурированная по уровням описания, признаваемых на национальном и

Рис. 1. Модель процесса формирования динамических образовательных программ

международном уровнях. НРК предназначена для измерения и сопоставления результатов обучения и образует представленные в форме таблицы дескрипторы квалификационных уровней, расписанные через обобщенные показатели. Аналогично Европейской рамке квалификаций в НРК включены дескрипторы общей компетенции, умений и знаний, раскрытые через такие показатели: широта полномочий и ответственность, сложность деятельности, наукоемкость деятельности;

- классификаторы профессий рабочих, должностей служащих и тарифных разрядов (по областям профессиональной деятельности);
- профессиональные и квалификационные стандарты (ПС и КС). Описание требований к специалисту в профессиональных стандартах использует более современные конструкции в виде сочетания требований к знаниям, умениям, профессиональным навыкам и опыту работы.

Одним из основных вопросов, возникающих при гармонизации ФГОС и ПС, является несоответствие описания квалификационных требований, прописанных в таких стандартах, тем компетенциям, которые фигурируют в стандартах обучения. Поэтому одной из задач для достижения согласования является формирование тезауруса предметной области, построение и использование механизма определения необходимых компетентностей. Такой тезаурус может быть сформирован в виде онтологической базы данных и далее на основе построенной онтологии вырабатываются общие требования.

III. ОНТОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ПОДГОТОВКЕ СПЕЦИАЛИСТОВ С УЧЕТОМ ТРЕБОВАНИЙ РАБОТАДАТЕЛЕЙ

Для анализа методов и средств поиска концептов в области образования целесообразно воспользоваться онтологическим инжинирингом, который позволяет представлять понятия и связи между ними в пределах какой-либо предметной области [4, 5]. В рамках данной статьи формальная модель онтологии образовательного процесса будет рассмотрена на примере магистерской подготовки. Однако данный подход применим и к другим уровням системы высшего образования. Формальная модель онтологии образовательного процесса подготовки магистрантов представлена следующим образом (1):

$$M = \{X, R, E, F\}, \quad (1)$$

где X – множество самостоятельных единиц компетенций (концептов), осваиваемых обучающимся; R – множество отношений, связывающих между собой концепты для определения возможных путей движения по содержанию; E – множество оценок обучающегося (служит для описания совокупности знаний каждого обучающегося); F – множество функций интерпретации с помощью которых возможно интерпретировать различные познавательные сущности и сопоставлять им концепты из X.

С помощью редактора онтологий Protégé разработана онтология образовательного процесса подготовки специалистов с учетом требований работодателей [6]. Используя данную онтологию можно определить дисциплины по выбору, которые необходимо включить в учебный план. Фрагмент данной онтологии представлен на рис. 2.

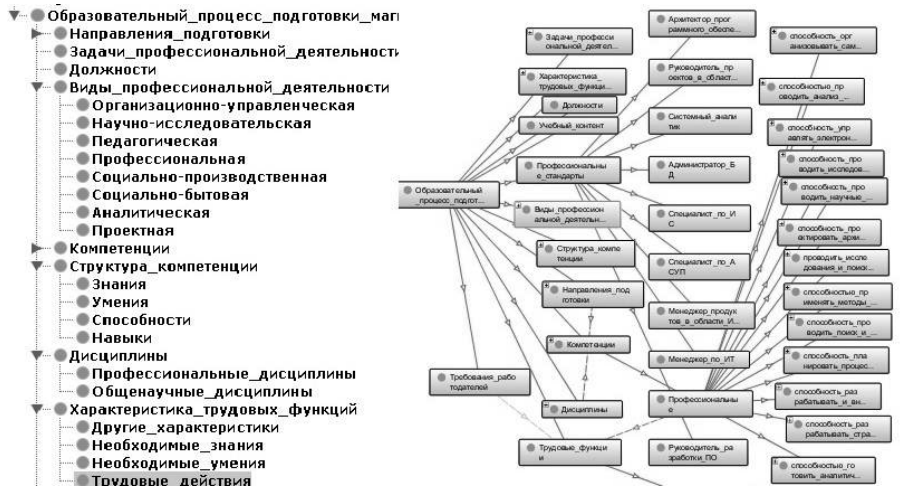


Рис. 2. Фрагмент онтологии образовательного процесса подготовки специалистов с учетом требований работодателей

В качестве примера рассмотрим потребность работодателя в специалисте, способном выполнять трудовую функцию «Управление выявлением и внедрением ИТ-инноваций», включенную в профессиональный стандарт менеджера по информационным технологиям. С помощью разработанной онтологии определили, что вышеуказанную трудовую функцию включает профессиональная компетенция ПК-11 (способность проводить поиск и анализ инноваций в экономике, управлении и ИКТ), содержащаяся в федеральном государственном образовательном стандарте по направлению подготовки 38.04.05 «Бизнес-информатика». Сформировать данную компетенцию возможно с помощью дисциплины по выбору «Информационные технологии в разработке управленческих решений» (рис. 3).

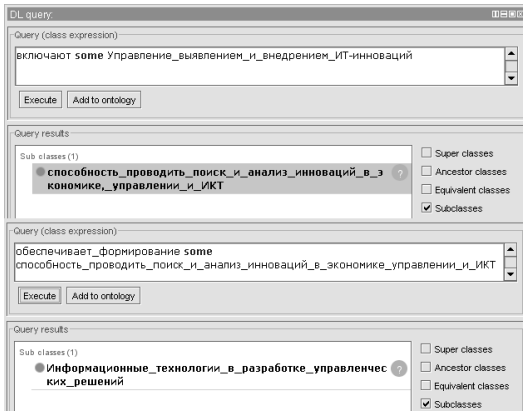


Рис. 3. Пример поиска дисциплины, удовлетворяющей требованиям работодателя, на основе профессионального стандарта

Кроме этого, возможно и визуальное решение данной задачи при помощи плагина OntoGraf (рис. 4) [7].

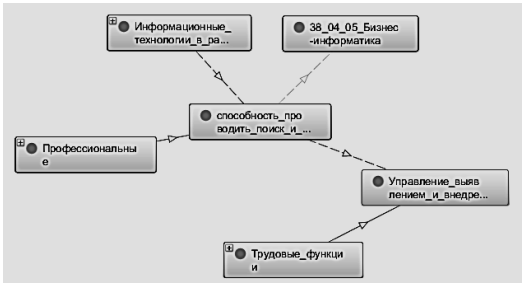


Рис. 4. Пример поиска дисциплины, удовлетворяющей требованиям работодателя, с помощью плагина OntoGraf

В результате онтологического моделирования была создана необходимая база знаний для специалистов в области информационных технологий, включающая в себя как требования ФГОС, так и формализованные требования профессиональных стандартов. Необходимые для работы по заданной должности трудовые функции были поставлены в соответствие профессиональным задачам. Такое соответствие упрощает задачу работодателя по подбору необходимых ему кадров.

Таким образом, онтология образовательного процесса подготовки специалистов с учетом требований работодателей определяет дисциплины по выбору для обучения конкретного специалиста, а также используется для динамического формирования учебного плана и, как следствие, обеспечения учебно-методической поддержки образовательного процесса.

IV. МЕТОДИЧЕСКАЯ ПОДДЕРЖКА ДИНАМИЧЕСКОГО ФОРМИРОВАНИЯ УЧЕБНОГО ПЛАНА

Актуальной задачей также является автоматизация процесса разработки учебных планов. В настоящее время существует ряд программных продуктов

обеспечивающих такую поддержку образовательного процесса. Примерами могут служить такие программные комплексы как:

- программа «ПЛАН», предназначенная для расчета оптимального учебного плана вуза по исходным данным, формируемым пользователем, и критериям, заложенным в программе [8];
- ИС «Планы», позволяющая автоматизировать разработку рабочих программ дисциплин (РПД), являющихся неотъемлемыми компонентами учебно-методических комплексов дисциплин [9];
- система «Автор-ВУЗ», предназначенная для автоматизации учебного процесса образовательных организаций высшего образования во всех его направлениях: составление учебных планов, создание методических материалов, расчет и учет нагрузки, планирование расписания учебных занятий и подготовка документации для деканата [10];
- программный модуль «Учебный процесс», разработанный в корпорации «Галактика», выполняющий такие задачи как формирование и ведение учебных планов, планирование штатного расписания вуза, формирование нагрузки кафедр, формирование и учет нагрузки профессорско-преподавательского состава, разработка расписания занятий на семестр обучения [11].

В России с 1994 года по настоящее время сменилось пять поколений образовательных стандартов. Менялась не только структура стандартов, но и требования к результатам обучения. Неизменным остается необходимость подготовки таких документов как учебный план, календарный план-график, рабочие программы (РП) по дисциплинам, оценочные материалы, методические рекомендации для дисциплин. Состав и структура такого документа как рабочая программа также изменялся и дополнялся. Менялись требования к методическому обеспечению дисциплины, но, несмотря на смену стандартов обучения, необходим поиск информации по дисциплине, разработка конспектов лекций, а также подбор или подготовка методических указаний к лабораторным, практическим, курсовым работам. Существующие программные средства обеспечивает только хранение учебных материалов и не дают возможность их автоматизированного формирования.

С 30 декабря 2017 года вступили в силу новые ФГОС высшего образования с учетом профессиональных стандартов 3++ по различным программам бакалавриата, специалитета и магистратуры. В состав необходимых для разработки учебно-методических комплексов (УМК) в рамках данного стандарта предусмотрена подготовка рабочих программ и ФОС (фондов оценочных средств).

Рабочая программа дисциплины (модуля, практики) предназначена для обеспечения высокого качества образовательного процесса в университете, соответствующего требованиям ФГОС ВО и международным стандартам. ФГОС содержит компетенции, которые должны быть сформированы в рамках данного направления. Компетентностная модель дополняется также региональными компонентами. Образовательная программа должна сформировать у студента ряд компетенций K_i (2).

$$\text{УП} \rightarrow \bigcup_{i=1}^{a} K_i, \tag{2}$$

где a – общее количество компетенций, формируемых у студента в рамках учебного плана (УП).

Должны быть разработаны материалы (УМ_{if}), направленные на выработку у студента необходимых компетенций, и эти материалы размещаются в базе знаний учебных материалов (3).

$$K_i = \bigcup_{f=0}^{m_i} \text{УМ}_{if}, \tag{3}$$

где УМ_{if} – учебный материал, способствующий формированию компетенции; m_i - общее количество учебных материалов, направленных на формирование компетенции.

В последствии, при формировании нового УМК, из базы знаний (БЗ) учебных материалов выбираются материалы, соответствующие компетенциям, формируемым в рамках изучения дисциплины (4).

$$\text{БЗ} = \bigcup_{i=1}^{a} \bigcup_{f=0}^{m} \text{УМ}_{if}, \tag{4}$$

Стандарт ФГОС3+ включает в себя ряд обязательных требований к высшему образованию по специальностям и направлениям подготовки (5).

$$\text{ФГОС3}plus_n = \sum_{n=1}^{s} (\text{ОБЛ}_n; \text{Ис}_n; \text{ХНП}_n; \text{ХПД}_n; \text{ТРОД}_n; \text{ТСПБ}_n; \text{ТУР}_n) \tag{5}$$

где ОБЛ_n – область применения;

Ис_n – используемые сокращения;

ХНП_n – характеристика направления подготовки;

ХПД_n – характеристика профессиональной деятельности выпускников, освоивших программу бакалавриата;

ТРОД_n – требования к результатам освоения программы бакалавриата;

ТСПБ_n – требования к структуре программы бакалавриата;

ТУР_n – требования к условиям реализации программы бакалавриата.

Рабочая программа дисциплины разрабатывается на основе шаблона, данных о дисциплине из учебного плана, ФГОС, компетентностной модели и материалов по содержательной части дисциплины. Шаблон РП последовательно заполняется информацией о целях и задачах дисциплины, вырабатываемых компетенциях и трудоемкости дисциплины (6).

$$\text{РП}_i = (\text{ШРП}; \text{Д}_i) \bigcup_{j=1}^{f_i} (\text{К}_{ij}, \text{СтрД}_i, \text{Т}_i, \text{ФОС}_{ij}, \text{Л}_i \text{МУ}_i, \text{ОТ}_i, \text{МОсД}_i, \text{МТОД}_i, \text{ОВЗ}_i), \tag{6}$$

где Дi – название i-ой дисциплины;

РПi – рабочая программа i-ой дисциплины;

ШРП – шаблон рабочей программы;

Kij – *j*-ая компетенция *i*-ой дисциплины;

f_i – количество компетенций, реализуемых *i*-ой дисциплиной;

СтрД$_i$ – структура *i*-ой дисциплины;

ФОС*ij* – фонд оценочных средств по *i*-ой дисциплине и *j*-той компетенции;

Л*i* – литература по *i*-ой дисциплине;

МУ*i* – методические указания по *i*-ой дисциплине;

ОТ*i* – образовательные технологии;

МОсД*i* – ссылки на методические указания по освоению дисциплины;

МТОД*i* – материально-техническое обеспечение дисциплины;

ОВЗ*i* – адаптация рабочей программы для лиц с ОВЗ.

Развитие системы образования в России влечет за собой изменение государственных стандартов, а также изменение требований к методическому обеспечению дисциплин. Однако все поколения стандартов неизменно содержат перечень изучаемых дисциплин, а методическая поддержка дисциплины включает в себя теоретическую информацию по ней (книги, лекции, пособия) и методические указания к выполнению практических работ (практикумы, методические указания к лабораторным работам, методические указания к практическим занятиям/семинарам). В связи с этим предлагается разработка инструмента, позволяющего осуществить информационную поддержку создания учебных материалов по дисциплине. Разработка такого инструмента поможет снизить трудоемкость перехода на новые образовательные стандарты и позволит заполнять инвариантную часть документов при смене шаблонов.

V. Заключение

Таким образом, на основе применения искусственного интеллекта в современных образовательных технологиях была создана информационная система, помогающая найти ближайший ГОС, соответствующий требованиям профессионального стандарта или конкретного работодателя. В начале работы в ней работодатель выбирает профессию из профессиональных стандартов, если такой нет, то работодатель вводит профессию сам. Список профессий можно выбрать из справочника профессиональных стандартов, перейдя в раздел справочники. Работодатель определяет требуемые компетенции на основе профессионального стандарта на соответствующей странице. Есть возможность отметить необходимые требования, предъявляемые к специалисту, или добавить собственные. После формирования всех требований к специалисту система на основе пересечения множеств компетенций специалиста и множеств компетенций ФГОС автоматически подберет направление подготовки, максимально близкое по компетенциям, формируемым стандартом по какому-либо направлению, а также покажет процент удовлетворенности требований и укажет, какие требования не удовлетворены. Для удовлетворения последних можно использовать дополнительное образование или повышение квалификации в зависимости от объема неудовлетворенных требований.

Организации различных отраслей экономики стараются принимать на работу выпускников вузов со сформированными профессиональными компетенциями, позволяющими обеспечить высокую производительность труда, с соответствующими компетенциями, которые дадут возможность не повышать непроизводственные расходы предприятия на дополнительное обучение и переподготовку кадров. Модель подготовленности выпускника вуза описывается различными компетенциями разного уровня из разных областей знаний, что позволяет проводить эффективный формализованный поиск кандидатов нужного профиля и необходимой квалификации. Проблему несоответствия квалификационных требований, прописанных в профессиональных стандартах компетенциям, которые фигурируют в государственных образовательных стандартах, помогают решить интеллектуальные технологии онтологического моделирования и построения баз знаний. Эти технологии помогут сделать Smart-образование легко управляемым и интегрированным, когда учебное заведение сможет легко обеспечить гибкость и настраиваемость учебного процесса под требования работодателя.

Список литературы

[1] «SMART» (https://ru.wikipedia.org/wiki/SMART).

[2] YouthSpark Live (www.microsoft.com/en-us/digital-skills/youthspark-live).

[3] Martynov V., Filosova E., Sakál P., Skuratov A., Zaytseva A., Zakieva E. CSRP-System Design Technology of Training Information Support of Competent Professionals. – In the Handbook of Research on Engineering Education in a Global Context (2 Volumes). – USA: IGI Global, 2018. – P.115-125.

[4] Khiat A., Benaissa M. A New Instance-Based Approach for Ontology Alignment. – International Journal on Semantic Web and Information Systems (IJSWIS), 2015. 11(3). P.25-43.

[5] Zahaf A., Malki M. Alignment Evolution under Ontology Change. – International Journal of Information Technology and Web Engineering (IJITWE), 2016. № 11(2). P.14-38.

[6] Martynov V., Filosova E., Shiryaev O., Sakal P. Methods of virtual modeling of dynamic educational programs in terms different manufacturing sectors requirements. – IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series, 1084, 2018.

[7] Шустова Д.В. Разработка тезауруса прикладной онтологии // Аспирантский вестник Поволжья, 2010. № 1-2. – С.108-110.

[8] Описание задачи расчета учебных планов вузов (http: //progcpp .narod.ru/plan/describ .html).

[9] Программный комплекс «Планы» (https://www.mmis.ru/programs/plany).

[10] Система автоматизации учебного процесса «Автор-ВУЗ» (http://avtor-vuz.ru).

[11] Лесневская С. Управление учебным процессом. (http: //www.galaktika.ru/vuz/uchebnyj -process .html).

Онтология системы домашней автоматизации для цифрового двойника зданий

Марьясин О.Ю.
кафедра кибернетики
Ярославский государственный
технический университет
Ярославль, Россия
maryasin2003@list.ru

***Abstract* — The article deals with the problem of developing a set of ontologies for the digital twin of buildings. The development of a simplified version of the ontology of the home automation system is considered. This ontology is modular and contains a set of basic ontologies. When developing ontologies, existing ontologies in the field of home automation systems, smart homes and the Internet of things were used. Examples of class descriptions and relations between them are given. The use of ontologies greatly facilitates the exchange of data between embedded models and utility programs of the digital twin, as well as between the digital twin and people or external programs.**

Ключевые слова — цифровой двойник, умный дом, онтология, Protégé

I. Введение

В настоящее время при построении здания и управлении его инженерным оборудованием используется целый ряд перспективных цифровых технологий. Среди них: цифровое строительство (Digital Construction), “Интернет вещей” (Internet of Things – IoT), облачные технологии (Cloud Services). Цифровизация строительства предполагает автоматизацию всех стадий и процедур на всем жизненном цикле объекта. Основой цифрового строительства стало развитие технологии информационного моделирования зданий (Building Information Model – BIM). Информационная модель – это ценный источник информации на протяжении всего жизненного цикла здания: от предварительной концепции, проекта, строительства и монтажа инженерных систем здания до управления и технического обслуживания объектов.

Следующим важным шагом в цифровом строительстве станет создание цифровых двойников зданий (Digital Twin). Цифровым двойником называют виртуальную модель, которая на микро- и макроуровне либо описывает реально существующий объект (выступая как дубль готового конкретного изделия), либо служит прототипом будущего объекта. При этом любая информация, которая может быть получена при тестировании физического объекта, должна быть получена и на базе тестирования его цифрового двойника. В концепции цифрового двойника виртуальная модель не отбрасывается после создания материального объекта, а используется в связке с физическим на протяжении всего жизненного цикла: на этапе тестирования, доработки, эксплуатации и утилизации. Физический объект использует датчики, которые собирают данные о состоянии объекта в реальном времени, после чего эти сведения отправляются цифровому двойнику. На основе полученных данных уточняется цифровая модель, которая, в свою очередь, дает рекомендации по оптимизации режима эксплуатации и обслуживания реального объекта [1].

Решения с использованием цифровых двойников строятся на целом комплексе различных технологий. Автор имеет свой взгляд на концепцию цифрового двойника зданий [2], в соответствии с которым комплекс моделей цифрового двойника включает CAD- и BIM-модели, которые несут информацию о конструкции здания, информацию о материалах, размерах и прочих параметрах; онтологические модели, содержащие семантическую информацию об основных объектах здания, его инженерных систем и внутренней среды; математические и компьютерные модели, включающие энергомодель здания, модели инженерных систем и системы управления. Источниками оперативных данных для цифрового двойника здания служат автоматизированная система управления зданием (АСУЗ или Building Management System – BMS), различные системы мониторинга, системы энергоучета, системы видеонаблюдения, системы типа “Умный дом”, “Интернет вещей” и другие. В совокупности все эти данные позволяют оптимизировать и прогнозировать состояние здания в будущем. Цифровой двойник также включает инструментальное программное обеспечение, позволяющее организовать передачу данных между отдельными моделями, между моделями, базой данных и базой знаний цифрового двойника, между цифровым двойником и внешними системами и приложениями.

Для более четкого понимания рассматриваемой предметной области необходимо отметить отличия между системами “Умный дом”, системами домашней автоматизации (Home automation или Domotics), системами автоматизации зданий (Building Automation System – BAS), автоматизированными системами управления зданиями (BMS) и системами управления энергопотреблением (Building Energy Management System – BEMS). Между этими системами есть много общего. Термины BAS и BMS можно считать эквивалентными. BEMS системы подобны BMS, но больше ориентированы на энергосбережение и управление энергопотреблением. Термин “Умный дом” в отличие от термина “Интеллектуальное здание” чаще используется применительно к системам автоматизации в жилом секторе. В данной работе под системой домашней автоматизации мы будем понимать систему “Умный дом” или BMS небольшого, малоэтажного здания или коттеджа.

©2019 ИПУСС РАН, СамГТУ, IEEE

Использование онтологий при создании цифровых двойников зданий целесообразно по следующим причинам:

- онтологии облегчают совместное использование информации между разными компонентами цифрового двойника, между цифровым двойником и людьми, между цифровым двойником и внешними системами;
- позволяют выполнить отделение знаний в предметной области от оперативных знаний;
- онтологии используются для построения базы данных и базы знаний цифрового двойника;
- онтологии позволяют контролировать целостность и непротиворечивость данных.

Комплекс онтологических моделей цифрового двойника должен включать: онтологию информационной BIM-модели, онтологию энергосбережения, онтологии инженерных систем здания, онтологии компьютерных моделей здания, онтологию BMS, онтологию IoT и другие. Разработка всего комплекса онтологий цифрового двойника – это длительный и трудоемкий процесс. Поэтому автор использовал подход [3], согласно которому разработка онтологии – это обязательно итеративный процесс. На начальном этапе создания онтологии строится ее упрощенный, черновой вариант. Затем составленная онтология неоднократно проверяется и уточняется, в нее добавляются отсутствующие детали. При этом первоначальная онтология может частично или даже полностью пересматриваться. Руководствуясь этим, автором была создана онтология системы домашней автоматизации, которую можно рассматривать как упрощенный вариант онтологии BMS из комплекса онтологий цифрового двойника зданий. Подход, связанный с разработкой упрощенных версий онтологий оправдан на этапе проведения научно-исследовательских работ, связанных с созданием цифрового двойника зданий, так как на данном этапе еще нет полных данных о практической реализации компонентов цифрового двойника, его базы знаний и базы данных. Помимо этого разработанная онтология может самостоятельно использоваться для систем типа “Умный дом” и “Интеллектуальное здание”, использующих технологии искусственного интеллекта и машинного обучения.

Поскольку разработка онтологий для заданной предметной области является сложным и трудоемким процессом, то целесообразно использование существующих онтологий для той же, или близкой, предметной области, если они частично покрывают потребности разработчика. Краткий обзор онтологий, которые могут быть использованы для построения онтологий цифрового двойника будет приведен в следующем разделе.

II. Обзор онтологий

В настоящее время разработано уже достаточно много онтологий для “Умных домов”, BMS и связанных с ними предметными областями. Далее кратко будут рассмотрены только основные из них.

В области “Умных домов” и BMS наиболее известными онтологиями являются SAREF, SAREF4EE, Brick, BOnSAI. Европейский институт телекоммуникационных стандартов создал онтологию Smart Appliances Reference (SAREF) [4]. Цель SAREF – охватить фундаментальные концепции в области интеллектуальных устройств. Онтология включает три основных раздела: об устройствах и их функциях, потреблении/производстве энергии и здании. Базовый класс Device онтологии содержит список устройств, например, выключатель света или датчик температуры. С каждым устройством связан определенный набор функций, например, включить/выключить, открыть/закрыть, измерить и т.д. Каждая функция, в свою очередь, имеет связанные команды, такие как переключение или получение данных измерения. Однако набор доступных устройств, функций и команд очень ограничен. Онтология SAREF4EE [5] расширяет SAREF для обеспечения совместимости со стандартами EEBus и Energy@Home. Онтология Brick [6] также была разработана на основе SAREF. Она охватывает такие типовые подсистемы BMS, как система отопления, вентиляции и кондиционирования (Heating, Ventilation, & Air Conditioning – HVAC) и система освещения, пространственную и энергетическую инфраструктуру здания, а также отношения между этими объектами. Основные классы онтологии – Tag, TagSet, Equipment, Location, MeasurementProperty. Возможные отношения ограничены семью различными типами отношений для моделирования пространственных отношений, отношений композиции/агрегации и отношений ввода-вывода. Хотя модель предметной области, представленная онтологией максимально проста, тем не менее, авторы утверждают, что ее достаточно для большинства применений в офисных и университетских зданиях. Онтология BOnSAI [7] ориентирована на услуги и веб-сервисы в среде “Умного дома”. Разработанные основные понятия являются либо очень абстрактными, либо специфичными для веб-сервисов. В целом, набор доступных в онтологии типов устройств, функций, местоположений и параметров среды слишком ограничен для коммерческих систем автоматизации зданий.

В области “Умных домов” с акцентом на энергосбережение и BEMS можно выделить онтологии DogOnt и ThinkHome. В центре внимания онтологии DogOnt [8] находятся системы “Умный дом” и вопросы моделирования энергопотребления устройств. DogOnt основана на классификации DomoML, которая позволяет описать домашнюю обстановку (стены, мебель), функциональность домашних устройств и их взаимосвязи. В DogOnt устройства разделяются на управляемые и неуправляемые. Управляемые устройства имеют состояние и функциональность. Функциональность складывается из блоков, содержащих непрерывные и дискретные функции управления освещением, жалюзи, температурой и другими параметрами. Одним из недостатков DogOnt является ориентация понятия Location (расположение) на типы помещений (ванная комната, офис, гостиная), а не на пространственную планировку. Это затрудняет применение онтологии для описания крупных зданий. Кроме того, в ней не моделируются инженерные системы зданий, такие как HVAC, имеющие большое

значение в BMS. Онтология ThinkHome [9] также описывает энергосберегающие системы “Умный дом”. Она содержит понятия для описания комфорта, актора (пользователя), процесса, энергии, ресурса (устройства), внешних воздействий (погоды) и структуры здания. Классификация некоторых объектов в ThinkHome отличается по сравнению с другими подобными онтологиями.

В области базовых технологий контроля и мониторинга следует отметить онтологии SSN, M3, OntoSensor. Онтология SSN [10] предложена консорциумом W3C для описания предметной области, связанной со сбором данных с помощью датчиков и процессом наблюдения (сбора данных). Она основана на шаблоне проектирования Стимул – Датчик – Наблюдение и совместима со стандартами SensorML и O&M (Observations and Measurements) консорциума OGC (Open Geospatial Consortium). Онтология SSN описывает датчики как физические объекты, которые наблюдают и преобразуют входные стимулы в другое представление, где под стимулами понимаются изменения состояния измеряемой среды, а наблюдения служат для интерпретации входных стимулов и фиксации таких параметров, как время и место. Поскольку онтология SSN предоставляет только основные понятия, ее необходимо расширять терминами, специфичными для конкретной предметной области. Онтология M3 [11] является развитием онтологии SSN для поддержки описания датчиков, наблюдений и их единиц измерения. Онтология OntoSensor [12] расширяет концепции, представленные стандартом SensorML для идентификации категорий датчиков, поведения, взаимосвязей, функций и метаданных, касающихся характеристик датчиков, их производительности и надежности.

“Интернет вещей” тесно связан с рассматриваемой предметной областью. Поэтому онтологии “Интернета вещей” также представляют интерес для анализа, в частности онтологии IoT-lite, Open-IoT, IoT-O, FIESTA-IoT [10]. IoT-lite является облегченной реализацией SSN и включает информацию о датчиках и их местонахождении. Онтология OpenIoT также основана на SSN и дополняет базовые понятия Observation, Sensor и Location понятиями необходимыми для приложений IoT. Онтология IoT-O является одной из первых попыток к объединению онтологий в области IoT. Она повторно использует понятия из онтологий SSN, SAN, DUL, oneM2M и некоторых других, дополняя их новыми. Тем не менее, как указано в [10], этой онтологии не хватает целостного взгляда на контекст. Онтология Fiesta-IoT является еще одной попыткой унифицировать существующие онтологии для области IoT. FIESTA-IoT использует понятия из SSN, IoT-lite, M3-lite, Time, DUL и WGS84. Эта онтология представляет собой комбинацию существующих онтологий IoT с небольшими обновлениями для преодоления наиболее распространенных проблем, связанных с базовыми онтологиями.

III. Разработка онтологии

Автор, на основе анализа существующих онтологий, разработал онтологию системы домашней автоматизации. К разрабатываемой онтологии предъявлялись следующие основные требования:

- она должна включать основные понятия и отношения предметной области;
- должна обеспечивать интероперабельность и поддержку взаимодействий между компонентами цифрового двойника;
- должна быть модульной;
- должна использоваться в качестве основы при создании и сопровождении базы данных и базы знаний цифрового двойника;
- должна быть ориентированной на современные методы управления, включая оптимальные, интеллектуальные и мультиагентные системы;
- должна быть ориентированной на современные программно-аппаратные комплексы для автоматизации зданий на базе различных проводных и беспроводных сетей;
- должна поддерживать системы “Интернет вещей”, технологии работы с облачными сервисами и хранилищами данных.

К сожалению ни одна из рассмотренных ранее онтологий, в неизменном виде, не удовлетворяет указанным требованиям и не подходит для построения онтологию системы домашней автоматизации для цифрового двойника зданий.

При разработке онтологии автор придерживался известных методологий проектирования, таких как 4W1H (What/When/Were/Who/How) [13], в соответствии с которой при разработке онтологии необходимо ответить на пять вопросов Что/Когда/Где/Кто и Как, а также методологии описанной в [14], согласно которой разработка онтологии делится на три основных этапа:

1) Выявление ключевых понятий и отношений предметной области, определение и описание понятий онтологии и отношений между ними;
2) Кодирование онтологии с использованием одного из формальных языков, например OWL;
3) Интеграция существующих онтологий.

Разработанная онтология построена путем объединения и выравнивания базовых онтологий. Набор базовых онтологий включает пятнадцать онтологий, среди которых:

- онтология здания, включающая информацию о конструкции, внутренней и внешней среде здания;
- онтология инженерных систем здания, содержащая информацию об инженерном оборудовании здания и технических устройствах;
- онтологии мультиагентных систем и систем, основанных на правилах, предназначенные для поддержки интеллектуальных систем управления;
- онтология измерений, описывающая измеряемые параметры и процесс измерения;

- онтология данных, включающая различные источники и форматы данных;
- онтология времени;
- онтология моделей, предназначенная для поддержки компьютерных моделей цифрового двойника;
- онтология ресурсов, включающая информацию об основных энергоресурсах, их поставщиках и потребителях;
- онтология пользователей, содержащая информацию о пользователях, их семьях, их домашних питомцах, их предпочтениях, профилях и т.д.;
- онтология задач и повседневных домашних дел;
- онтологии бытовой техники, мебели и предметов интерьера.

Из упомянутых онтологий только онтология времени является стандартной онтологией (http://www.w3.org/2006/time#2016), остальные онтологии были разработаны автором. Одни из онтологий уже проработаны достаточно подробно, другие включают только основные понятия. Процесс формирования базовых онтологий цифрового двойника еще далек от своего завершения. Поэтому число базовых онтологий, в будущем, будет меняться. Отдельные онтологии, могут быть слиты, а другие, напротив, разделены на части. Так, например, общая онтология инженерных систем здания может быть разбита на онтологии отдельных инженерных подсистем, таких как онтология HVAC системы, онтология системы безопасности здания и другие. Модульный принцип построения, значительно облегчает создание онтологий цифрового двойника, имеющих пересекающиеся множества понятий и отношений из их предметных областей. Например, используя тот же набор базовых онтологий можно создать онтологию BEMS, онтологию компьютерных моделей здания, онтологию IoT и другие.

Для разработки онтологии системы домашней автоматизации использовался популярный редактор онтологий Protégé. Фрагмент иерархии классов, разработанной онтологии в редакторе Protégé показан на рис. 1.

Структура классов онтологии включает основные классы: Agent, Appliances, Building, Data, Device, Environment, Equipment, Event, Location, MeasurementProperty, Message, Point, Resource, State, TechnicalSystem, User и другие. Такая структура классов позволяет обеспечить компромисс между выразительной силой онтологии и эффективностью использования знаний, представленных онтологией. Рассмотрим некоторые основные классы онтологии более подробно.

Класс Appliances из онтологии бытовой приборов представляет различную бытовую технику, такую как телевизоры, музыкальные центры, холодильники, стиральные машины, электрочайники и другие. Класс Data из онтологии данных содержит классы DataSource, DataStorage и DataType, предназначенные для хранения и представления информации. Класс DataSource включает классы Document, File, Package, DataBase, а класс DataType содержит описание основных типов данных.

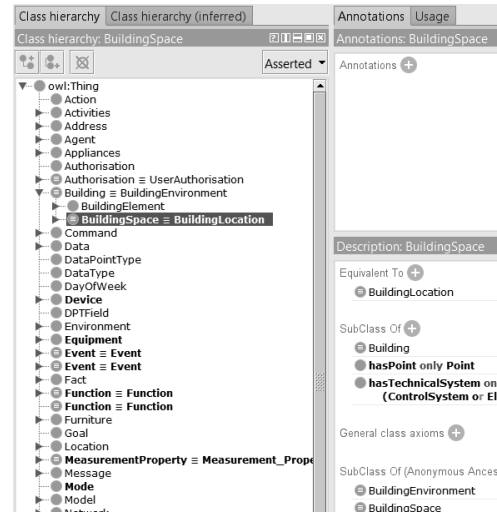


Рис. 1. Фрагмент иерархии классов в Protégé

Класс Environment онтологии здания представляет собой среду здания. Он включает классы: IndoorEnvironment, представляющий внутреннюю среду здания, OutdoorEnvironment представляющий внешнюю среду, BuildingEnvironment, включающий элементы конструкции здания и его внутреннее пространство, EnvironmentalConditions, включающий основные параметры внутренней среды здания, такие как температура, влажность, освещенность и концентрация CO2. Онтограф для класса Environment показан на рис. 2.

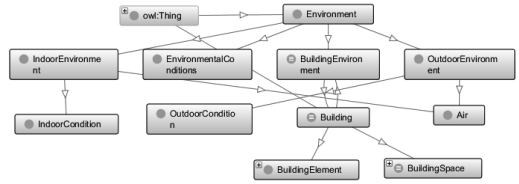


Рис. 2. Онтограф для класса Environment

Класс Equipment онтологии инженерных систем здания предназначен для описания инженерного оборудования здания. Он включает классы инженерных систем здания: HVAC_System для системы отопления, вентиляции и кондиционирования (HVAC), Electrical_System для системы электроснабжения, Lighting_System для системы освещения, Water_System – системы водоснабжения, Gas_System – системы газоснабжения, Security_System – системы безопасности, Control_System – системы управления зданием, IT_System – информационной системы здания, а также класс EquipmentParameters для параметров инженерного оборудования. Некоторые классы инженерных систем делятся на подклассы. Например, класс Security_System включает классы AccessControlSystem, FireSystem, GasAlarmSystem, FloodSystem. Каждый класс

инженерных систем включает классы основного инженерного оборудования соответствующих систем. Перечисленные инженерные системы зданий также отдельно представлены классом TechnicalSystem. Онтограф для класса Equipment показан на рис. 3.

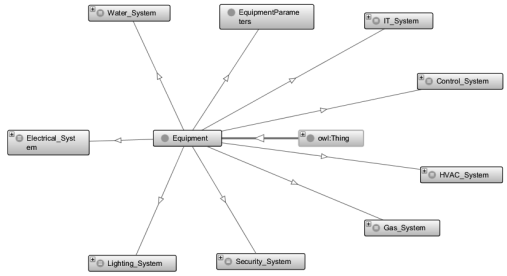


Рис. 3. Онтограф для класса Equipment

Класс Location онтологии здания предназначен для описания местоположения. Он включает подклассы BuildingLocation эквивалентный классу BuildingSpace и Outside эквивалентный классу OutdoorEnvironment. Класс BuildingLocation включает множество зон здания, таких как этажи, комнаты, коридоры, пристройки, террасы, балконы и другие, а также различные поверхности – полы, потолки, стены и другие. Класс комнаты в свою очередь включает различные виды комнат, такие как столовые, кухни, спальни, ванны, гостиные, кабинеты, кладовки и другие. Класс MeasurementProperty представляет основные измеряемые физические свойства, используемые различными системами контроля, мониторинга и инженерным оборудованием. Он включает такие параметры как температура, давление, расход, энтальпия, скорость, ток, напряжение, частота и многие другие.

Класс Resource онтологии ресурсов представляет основные ресурсы здания. Он включает классы ResourceType для обозначения видов ресурсов, ResourceProvider для поставщиков ресурсов, ResourceConsumer для потребителей ресурсов и класс ResourceParameters для параметров ресурсов. Класс ResourceType в свою очередь включает такие виды ресурсов как, электроэнергия, тепло, холод, холодная и горячая вода, газ. Онтограф для класса Resource показан на рис. 4.

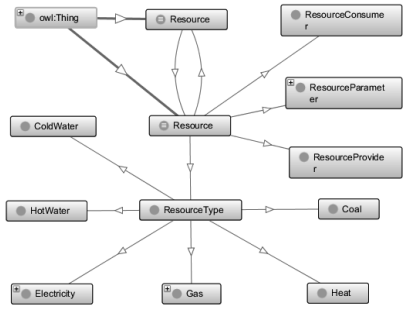


Рис. 4. Онтограф для класса Resource

Класс User онтологии пользователей предназначен для описания пользователей. Он включает классы UserProperties содержащий характеристики пользователя, класс UserPreferences для описания предпочтений пользователя и класс UserFamily для описания семьи и класс UserProfile для профиля пользователя. Классы UserProperties включает такие характеристики пользователя как имя, фамилия, возраст, пол, рост, вес и другие. Класс UserFamily описывает различные отношения родства между членами семьи.

Для классов и их индивидуальностей в онтологии определено множество свойств (отношений). Часть их них представлена на рис. 5. Например, объекты класса Sensor связаны отношением hasMeasurement с объектами класса MeasurementProperty. Это отношение устанавливает связь между датчиком и измеряемым параметром. Свойство hasMeasurement имеет обратное свойство isMeasuredBy, связывающее объекты класса MeasurementProperty с объектами класса Sensor. В онтологии имеется много подобных инверсий свойств. Часть свойств унаследована от базовых онтологий. Другая часть устанавливает отношения между объектами из разных базовых онтологий. Примером таких отношений может служить уже упомянутое отношение hasMeasurement, устанавливающее связь между объектом датчик из онтологии инженерных систем здания с объектом класса MeasurementProperty онтологии измерений. В качестве другого примера можно привести отношение hasLocation, которое устанавливает связь между объектом класса Equipment онтологии инженерных систем с объектом класса Location онтологии здания.

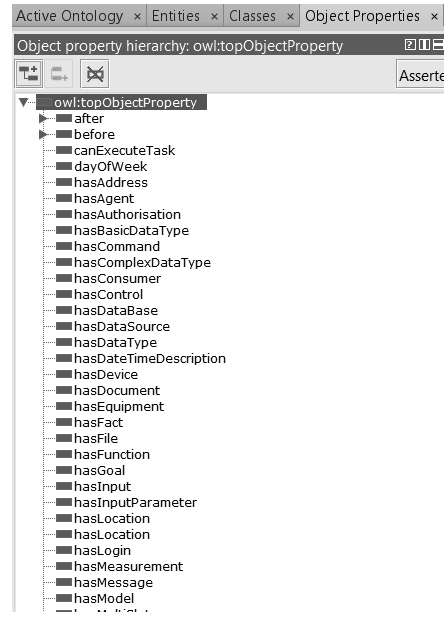


Рис. 5. Отношения онтологии

Особенностью разработанной онтологии является ее ориентация на системы “Умный дом”, BMS и BEMS системы для управления которыми предполагается

использовать базы знаний, экспертные системы и мультиагентные системы управления. Для этого в онтологию были введены классы Agent, Fact, Goal, Message, Rule, Task и другие.

Отметим сходства и различия разработанной онтологии с существующими онтологиями, описанными в разделе II. Сходство с SAREF заключается в наличии одинаковых классов Command, Device, Function, Property, Service, State, Task. Однако реализация классов Device, Function, Service, Task совершенно другая, классы Command и State существенно расширены и дополнены, а классу Property SAREF соответствует класс MeasurementProperty онтологии. Структура классов Equipment, Location, MeasurementProperty представленной онтологии частично совпадает со структурой аналогичных классов онтологии Brick, однако общая организация онтологии и реализация класса Point совершенно другая. С онтологией BOnSAI сближает наличие большого числа общих классов Action, Environment, Hardware, Location, Operation, Parameter, Service, Software, Task, User. Однако большинство из них в BOnSAI лишь обозначены. С онтологией DogOnt также имеются общие классы Command, Device, Environment, Notification, State, StateValue, TechnicalSystem. При этом структура классов Environment, State, StateValue, TechnicalSystem частично похожа. Общими классами с онтологией ThinkHome являются классы BuildingEnvironment, Room, Command, State, StateValue. Их структура частично совпадает со структурой аналогичных классов разработанной онтологии. Из онтологий IoT, основанных на SSN, по степени проработанности и охвату предметной области справедливо сравнение только с онтологией IoT-O. Эта онтология также является модульной и включает в себя целый набор онтологий, среди которых есть и DogOnt. При наличии большого числа общих классов различия между IoT-O и разработанной онтологией достаточно очевидны.

Таким образом, разработанная онтология, используя многие понятия и подходы существующих онтологий, не копирует их структуру, а развивает и приспосабливает ее для удовлетворения поставленным требованиям и особенностям решаемой задачи создания цифрового двойника зданий.

IV. Заключение

В данной работе рассмотрена разработка онтологии системы домашней автоматизации для цифрового двойника здания. Данная онтология позволяет определить основные классы и отношения, создать объекты и их характеристики, связанные с рассматриваемой предметной областью.

Особенностью разработанной онтологии по сравнению с подобными онтологиями, является ее высокая модульность. Практически при разработке данной онтологии был создан целый набор независимых онтологий, пригодных для повторного использования при разработке других онтологий цифрового двойника. К достоинствам онтологий можно отнести более проработанную и выразительную реализацию таких классов как Device, Environment, Equipment, Event, Location, Point, Resource, State, User. Для поддержки интеллектуальных систем управления на базе экспертных систем продукционного типа и мультиагентных систем управления в онтологию были добавлены классы Agent, Event, Fact, Goal, Message, MultiSlot, Rule, Slot, Service, Task и другие. Для поддержки систем автоматизации на базе современных коммуникационных протоколов типа KNX и систем “Интернет вещей” в онтологию были добавлены классы Address, Bus, CloudStorage, Data, DataPoint, DPTField, Function, FunctionPoint, Network, NetworkProtocol и другие.

Использование онтологий значительно облегчает разработку механизмов обмена данными между встроенными моделями и инструментальными программами цифрового двойника, между цифровым двойником и людьми или внешними программами, а также разработку базы знаний и базы данных цифрового двойника зданий.

Список литературы

[1] Прохоров А. Цифровые двойники. Концепция развивается [Электронный ресурс]. URL: http://data.cnews.ru/articles/2018-04-18_tsifrovye_dvojniki_kontseptsiya_razvivaetsya

[2] Марьясин О.Ю. Цифровые двойники зданий как кирпичики цифровой экономики // Интеграция науки и практики как механизм развития цифровой экономики: Труды Междунар. науч.-практ. конф. - Ярославль: Издат. дом ЯГТУ, 2018. С.400-403.

[3] Noy N., McGuinness D. L. Ontology Development 101: A Guide to Creating Your First Ontology. [Электронный ресурс]. URL: http://protege.stanford.edu/publications/ontology_development/ontology101.html

[4] Daniele L., den Hartog F., Roes J. Study on Semantic Assets for Smart Appliances Interoperability, 2015.

[5] Daniele L., Solanki M., den Hartog F., Roes J. Interoperability for Smart Appliances in the IoT World // in: International Semantic Web Conference, Springer, 2016, pp. 21-29.

[6] Balaji B., Bhattacharya A., Fierro G., Gao J., Gluck J., Hong D., Johansen A., Koh J., Ploennigs J., Agarwal Y., Berges M., Culler D., Gupta R., Kjærgaard M. B., Srivastava M., Whitehouse K. Brick: Towards a unified metadata schema for buildings // in Proceedings of the 3rd ACM International Conference on Systems for Energy-Efficient Built Environments. New York, USA: ACM, 2016, pp. 41–50.

[7] Stavropoulos T. G., Vrakas D., Vlachava D., Bassiliades N. Bonsai: A smart building ontology for ambient intelligence // in Proceedings of the 2Nd International Conference on Web Intelligence, Mining and Semantics. New York: ACM, 2012, pp. 263-274.

[8] Butzin B., Golatowski F., Timmermann D. A survey on information modeling and ontologies in building automation, 43 Annual Conference of the IEEE, 2017.

[9] Kofler M. J., Reinisch C., Kastner W. A semantic representation of energy-related information in future smart homes // Energy and Buildings, vol. 47, 2012, pp. 169 -179.

[10] Bajaj G., Agarwal R., Singh P., Georgantas N., Issarny V. A study of existing Ontologies in the IoT-domain // arXiv preprint, arXiv:1707.00112, 2017.

[11] Gyrard A., Bonnet C., Boudaoud K. Enrich Machine-to-Machine Data with Semantic Web Technologies for Cross-Domain Applications // in: IEEE World Forum on Internet of Things (WF-IoT), IEEE, 2014, pp. 559-564.

[12] Xue L., Liu Y., Zeng P., Yu H., Shi Z. An Ontology based Scheme for Sensor Description in Context Awareness System // in: Information and Automation, 2015 IEEE International Conference on, IEEE, 2015, pp. 817-820.

[13] D. Zhang, L. Wang, H. Xiong, B. Guo “4W1H in Mobile Crowd Sensing”, IEEE Communications Magazine, 52 (8), 2014, pp. 42-48.

[14] M. Uschold, M. King “Towards methodology for building ontologies”, Workshop on Basic Ontological Issues in Knowledge Sharing, Canada, 1995.

Моделирование, оптимизация и согласование решений в умном городе

Пиявский С.А.
СФ МГПУ
Самара, Россия
spiyav@mail.ru

Киселев Д.В.
ПГУТИ
Самара, Россия
de.kiselev@gmail.com

***Abstract* - The proposed approach for making complex decisions in terms of implementing smart city concept is based on the advantages of the universal coefficients method, which allow different stakeholders, regardless of their level of education and training, to express their own preferences in their natural form and immediately see what consequences their decisions lead to.**

Многокритериальный анализ сложных решений, умный город, метод универсальных коэффициентов

I. Введение

Одной из наиболее актуальных проблем, стоящих перед человечеством в наш век урбанизации и информатизации, является проблема устойчивого развития городов на базе новых возможностей, предоставляемых информационными технологиями [1].

Управленческий аспект включает выработку оптимальных решений по развитию городской среды с наиболее рациональным учетом социально-экономических факторов, реальных потребностей различных слоев населения, разнообразных, отчасти противоречивых интересов и особенностей (включая фактор сопротивления переменам) различных групп заинтересованных сторон (стейкхолдеров), умения интегрировать при этом управленческие решения, принимаемые на различных уровнях, предвидеть, как изменения в одной системе городского хозяйства повлияют на другие и на социально-экономические процессы [4], ориентации на междисциплинарное взаимодействие.

Ключевой особенностью принятия решений в управлении развитием «умного города» является содержание понятия «Лицо, принимающее решение» – ЛПР. Хотя, в конечном счете, оно персонифицируется в личности уполномоченного на этого человека (руководителя органа муниципального управления, мэра города), на самом деле этот человек лишь отражает консенсус, достигнутый между органами власти, различными слоями населения и распорядителями ресурсов, направляемых на развитие города. Поэтому механизм принятия решений должен обеспечивать построенное на объективной доказательной основе согласование интересов всех заинтересованных групп. Информационной базой для этого является система математических моделей, опирающаяся на базу данных и технологий, и система критериев эффективности. Организационно-методическую базу для реализации механизма дают современные инфокоммуникационные технологии и формализованные методы сравнения многокритериальных альтернатив.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, научный проект № 18-08-00858 А, 09.02.2018

©2019 ИПУСС РАН, СамГТУ, IEEE

II. Общие характеристики модели и метода

Авторами разработана математическая модель, которая формализует основные сущности, используемые при математическом моделировании воздействия новых технологий на городское хозяйство и городскую среду. Кратко охарактеризуем ее. Основные учитываемые требования к допустимому решению таковы:

1) Из возможных масштабов реализации конкретной технологии в конкретной отрасли городского хозяйства может быть реализована только одна;
2) Для реализации мероприятия должна быть базово освоена необходимая технология;
3) Для возможности реализации мероприятия необходима реализация всех обеспечивающих его мероприятий;
4) Для реализации конкретного мероприятия может быть привлечен только один генеральный подрядчик (далее – исполнитель);
5) Поручить исполнение мероприятия можно лишь тому исполнителю, который компетентен в этом мероприятии;
6) Располагаемые исполнителем ресурсные возможности по каждому необходимому виду ресурсов должны быть достаточны для выполнения всех порученных ему мероприятий;
7) Далее будем называть инвестором организацию, которая настолько заинтересована в реализации предлагаемого ею комплекса мероприятий, что готова самостоятельно финансировать их реализацию, а кроме того, предоставить определенные средства на реализацию других мероприятий по усмотрению ЛПР. Если предложение инвестора принято, то должны быть включены в проект все предложенные им мероприятия;
8) Проект должен быть обеспечен финансированием.

Для допустимого решения модель рассчитывает следующие характеристики его эффективности:

- суммарный ожидаемый эффект от увеличения показателей в каждой из сфер жизнедеятельности населения города;
- суммарные затраты ресурсов каждого вида на выполнение всех мероприятий проекта;

- основные (без инвесторов) ресурсы, выделяемые на реализацию проекта;
- общие располагаемые ресурсы на реализацию проекта (основные и инвесторов).

В процессе реальной эксплуатации модель, конечно, может пополняться встраиваемыми дополнительными модулями, отражающими уникальные особенности каждой конкретной ситуации.

На основе рассчитанных моделью значений частных критериев, всем стейкхолдерам, в качестве коллективного ЛПР, предстоит принять наиболее рациональное решение об уровне финансирования проекта и распределении выделенных ресурсов между отдельными мероприятиями, направленными на развитие города. Современные математические методы принятия многокритериальных решений позволяют осуществить эту процедуру не волюнтаристски, по принципу «кто кого перекричит», а на основе вышеописанной математической модели - достаточно оперативно, аргументировано, и с соблюдением баланса интересов всех заинтересованных групп - от бизнесменов до населения, если использовать изложенный далее метод универсальных коэффициентов важности критериев (МУК).

Предпочтительность использования этого метода определяется тем, что, к сожалению, несмотря на существующий инструментарий (например, [3], [4]), в большинстве случаев выбор решений по градостроительным проблемам происходит фрагментарно, не взаимоувязано, путем «продавливания» интересов отдельных групп и лиц, а о последующей комплексной оценке всех последствий совокупности принимаемых решений, а тем более ее влиянии на сам выбор, говорить вообще не приходится. Недостатки такой технологии очевидны.

До недавнего времени, по нашему мнению, не существовало математических методов, позволяющих достаточно объективно согласовать интересы различных категорий заинтересованных лиц, поскольку каждый из этих методов опирался на систему положений, открывающих простор неоправданному субъективизму, а также зачастую был нереализуемо трудоемким для использования ЛПР-ом [2], [5-8].

Появившийся в последнее время [9-12] метод универсальных коэффициентов (МУК) в максимально возможной степени лишен недостатка субъективности при принятия многокритериальных решений. В нем удалось показать, что при вполне естественном исходном предположении о правиле выбора в условиях неопределенности значения коэффициентов сравнительной важности частных критериев зависят не от конкретики решаемой проблемы, а лишь от того, каково в ней количество частных критериев и сколько из них к каким группам важности относятся. Указанное исходное предположение, которое понятно любому ЛПР и вряд ли вызовет сомнения, состоит в том, что если огромное число совершенно равных по своим достоинствам экспертов оценит какое-либо решение, то за итоговую его оценку следует принять среднее значение всех оценок (так называемый осредненный подход) или, в критической ситуации – наихудшую из них (так называемый гарантирующий подход). В методе МУК, излагая упрощенно, вместо реальных экспертов используются их математические модели, что и устраняет субъективность. Суть математической модели эксперта проста: она представляет собой набор случайно заданных чисел – возможных коэффициентов сравнительной важности критериев, удовлетворяющих лишь двум условиям:

1) Сумма этих коэффициентов равна единице;
2) Значения коэффициентов, отвечающих более важным критериям больше значений коэффициентов, отвечающих менее важным критериям.

Таким образом, каждая модель эксперта есть точка в пространстве, размерность которого равна числу критериев в рассматриваемой задаче, а вся совокупность моделей – некоторая фигура в этом пространстве. При небольшом числе критериев всю совокупность моделей можно показать графически.

Для различных вариантов распределения частных критериев по группам важности соответствующие наборы коэффициентов сравнительной важности критериев можно рассчитать заранее и свести в универсальные таблицы, которые можно использовать в каждом конкретном случае принятия решений. Эту таблицу можно использовать при решении любых задач принятия решений с тремя частными критериями. При этом ЛПР исполняет положенную ему по статусу роль: формирует политику выбора, относя частные критерии к соответствующим группам важности, после чего компьютерная программа на основе исходных данных математической модели сразу выдает оптимальное решение, причем с комплексной оценкой каждого из рассматриваемых вариантов решения.

III. Пример согласованного выбора оптимального решения методом МУК

Продемонстрируем применение описанной технологии на примере задачи выбора оптимального проекта решения транспортной проблемы. Пример носит иллюстративный характер, все данные условные.

Пусть необходимо выбрать один из пяти возможных проектов (П0 - П4), эффективность которых оценивается четырьмя частными критериями:

- Кр-1. Степень уменьшения среднего времени ожидания общественного транспорта в часы пик;
- Кр-2. Степень уменьшения среднего времени простоя личного автотранспорта в пробках;
- Кр-3. Относительная величина увеличения дополнительного налога на граждан;
- Кр-4. Коэффициент снижения выбросов CO_2.

ЛПР в данном примере является коллективным и включает три категории стейкхолдеров, представляющих население города:

- С-1 работающих граждан, имеющих личный автотранспорт
- С-2 работающих граждан, не имеющих личного автотранспорта и пользующихся общественным транспортом
- С-3 остальных граждан, в основном, домохозяек и неработающих пенсионеров.

ТАБЛИЦА I. ПОЛИТИКИ ВЫБОРА РАЗЛИЧНЫХ ГРУПП НАСЕЛЕНИЯ

Категории населения	Частные критерии				Количество критериев в группе важности			Универсальные коэффициенты важности критерия в группе важности		
	Блок 1				Блок 2			Блок 3		
	Кр1	*Кр2*	*Кр3*	*Кр4*	*В1*	*В2*	*В3*	*В1*	*В2*	*В3*
С1	В1	В3	В3	В2	1	1	2	0,062	0,146	0,396
С2	В3	В1	В3	В2	1	1	2	0,062	0,146	0,396
С3	В1	В1	В3	В2	2	1	1	0,104	0,271	0,521

Каждая из этих групп имеет собственные интересы и соответственно предложит свой вариант политики выбора исходя из трех групп важности частных критериев:

В1 - Обычной важности

В2 - Повышенной важности

В3 - Наибольшей важности (таблица I).

Как видим, эти политики различны. Все граждане экономят деньги, считают экологический эффект важным, хотя и не решающим по сравнению с личными финансовыми затратами, а вот остальные два критерия у различных категорий граждан разнятся естественным образом.

Структура соответствующих политик выбора показана в Блоках 1 - 2 таблицы I. Видно (Блок 2), что у двух категорий населения структура политик выбора совпадает, хотя сами политики выбора различны. В правой части таблицы приведены универсальные коэффициенты важности частных критериев, отвечающие соответствующим политикам выбора. Они взяты из универсальных таблиц, приведенных в [9].

После этого простейшие правила позволяют рассчитать комплексную оценку эффективности различных проектов (как сумму произведений нормированных значений критериев на их коэффициенты важности) с позиций каждой категории (Таблица II).

Теперь необходимо определить окончательное оптимальное решение, консенсусно отвечающее интересам всех трех категорий населения. Для этого достаточно нормировать в одинаковых пределах от нуля до единицы комплексные оценки, рассчитанные по их политикам выбора (правые три столбца таблицы I), а затем рассчитать их среднее значение для каждого варианта решения (сумму их значений, умноженных на коэффициент 1/3), поскольку все три категории населения равноправны в принятии решения. Если же, по каким-либо основаниям, они признаны неравноправными, например, решено, что мнение работающих важнее мнения неработающих, то это привело бы лишь к тому, что их нормированные оценки были бы сложены, умноженными не на 1/3, а соответственно на 0,444, 0,444, 0,111 – универсальные коэффициенты важности из таблицы 2 для такой политики выбора.

ТАБЛИЦА II. КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА ПРОЕКТОВ С ПОЗИЦИЙ РАЗЛИЧНЫХ КАТЕГОРИЙ НАСЕЛЕНИЯ

Варианты решения	Комплексная эффективность варианта решения с точки зрения интересов (политик выбора) различных категорий населения			Комплексный критерий с учетом интересов всех категорий населения	
	Категория С1	*Категория С2*	*Категория С3*	*Работающие и неработающие граждане равноправны*	*Мнение работающих граждан важнее*
П0	0,605	0,605	0,479	0,779	0,926
П1	0,304	0,492	0,441	0,189	0,234
П2	0,420	0,446	0,434	0,232	0,310
П3	0,475	0,373	0,467	0,272	0,280
П4	0,569	0,424	0,566	0,699	0,5990

Как видно из таблицы II, только для владельцев личного автотранспорта (С1) оптимальное решение, найденное по их политике выбора, оказалось соответствующим их максимальному предпочтению. Представители остальных категорий населения могут увидеть, что оптимальным, даже с их позиций, является вариант решения, отнюдь не соответствующий наиболее важному, по их мнению, частному критерию, однако наилучшим образом учитывающий весь комплекс их предпочтений. При этом усомниться в объективности результата у них нет никаких оснований, поскольку определившие его значения коэффициентов сравнительной важности частных критериев не предложены субъективными экспертами, а найдены строгим математическим путем по их же политике выбора.

Результаты представлены в правой части таблицы II. Как видим, в обоих случаях учета мнений различных категорий населения оптимальное решение одинаково – проект П1.

Список литературы

[1] Lombardi P. (2011). New challenges in the evaluation of Smart Cities. In: NETWORK INDUSTRIESQUARTERLY, vol. 13 n. 3, pp. 8-10. - ISSN 1662-6176

[2] M. Bartolozzi, P. Bellini, P. Nesi, G. Pantaleo and L. Santi, "A Smart Decision Support System for Smart City," 2015 IEEE International Conference on Smart City/SocialCom/SustainCom (SmartCity), Chengdu, 2015, pp. 117-122, December 2015, Cina, IEEE press, doi: 10.1109/SmartCity.2015.57 http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=7463711&isnumber=7463653

[3] United Nations Human Settlements Programme, 2001 Tools to Support Participatory Urban Decision Making http://www.chs.ubc.ca/archives/files/Tools%20to%20support%20participatory%20%20urban%20decision%20making.pdf

[4] Integrated framework report http://www.urbandata2decide.eu/wp-content/uploads/deliverables/UrbanData2Decide-D3.4-Integrated-Framework-Report.pdf p. 23-28

[5] URBAN DECISION-MAKING AND EXPERT INTEGRATION REPORT http://www.urbandata2decide.eu/wp-content/uploads/deliverables/UrbanData2Decide-D.2.2-Urban-Decision-Making-and-Expert-Integration-Report.pdf p. 52

[6] Bottero, Marta; Mondini, Giulio; Oppio, Alessandra (2016). Decision Support Systems for Evaluating Urban Regeneration. In: PROCEDIA: SOCIAL & BEHAVIORAL SCIENCES, vol. 223, pp. 923-928. - ISSN 1877-0428

[7] Roccasalva, G., Lami, L., and Lombardi, P. (2007). A spatial decision support system for strategic urban redevelopment. The case study of Turin Central Station, Italy. International Conference on Whole Life Urban Sustainability and its Assessment. Glasgow. UK

[8] Ларичев О.И. Теория и методы принятия решений – М.: Логос, 2002 – 392 с.

[9] Пиявский С.А. Как «нумеризовать» понятие «важнее», Онтология проектирования. – 2016. – Т.6, №4(22). – С.414-435. – DOI:10.18287/2223-9537-2016-6-4-414-435.

[10] Пиявский, С.А. Вычислительные аспекты формирования универсальных таблиц коэффициентов важности критериев, Онтология проектирования. – 2017. – Т. 7, №3(25). - С. 284-295. – DOI: 10.18287/2223-9537-2017-7-3-284-295.

[11] Пиявский С.А. Метод универсальных коэффициентов при принятии многокритериальных решений, Онтология проектирования. – 2018. – Т. 8, №3(29). – С.449-468. – DOI:10.18287/2223-9537-2018-8-3-449-468

[12] Пиявский С.А. Формулы для вычисления универсальных коэффициентов при принятии многокритериальных решений, Онтология проектирования. – 2019. – Т. 9, №2(32). – С.282-299 – DOI: 10.18287/2223-9537-2019-9-2-282-298

Вертикальные и горизонтальные переговоры мультиагентных сервисов планирования в мультисервисной платформе управления растениеводством

Скобелев П.
Институт автоматики и информационных технологий, Самарский государственный технический университет
Самара, Россия
petr.skobelev@gmail.com

Майоров И.
Лаборатория интеллектуальных систем и технологий, Институт проблем управления сложными системами РАН
Самара, Россия
imayorov@smartsolutions-123.ru

Симонова Е.
Факультет информационных систем и технологий, Самарский национальный исследовательский университет
Самара, Россия
simonova@smartsolutions-123.ru

Ларюхин В.
Институт автоматики и информационных технологий, Самарский государственный технический университет
Самара, Россия
vl@kg.ru

Яловенко О.
Песчанокопская аграрная лаборатория
Ростов, Россия
olyayalovenko@gmail.com

***Abstract* — The paper considers the task of supporting coordinated decision-making in management of agricultural production in order to search for problem situations, develop recommendations and form plans for enterprise operations. It also proposes development of a unified software and information environment for interaction of specialists of a plant-growing enterprise for improving efficiency of production management. The paper describes smart services that operate on the basis of multi-agent technologies performing selection of crop options for production season and crop rotation, as well as technological maps of agricultural operations, combined with the developed method of adaptive planning of shift-daily agricultural operations involving agricultural machinery, equipment and other material resources. The paper demonstrates the possibility of smart services as part of the digital platform using the common enterprise bus to function through the proposed vertical and horizontal interactions of agents, thus producing coordinated solutions for a plant-growing enterprise.**

Ключевые слова — Севооборот, стратегическое планирование, сменно-суточное оперативное планирование, цифровая мультисервисная платформа, мультиагентные технологии, база знаний

I. Введение

Современная концепция управления предприятиями, в том числе, предприятиями растениеводства заключается в использовании цифровой мультисервисной платформы, где каждый сервис представляет собой отдельную, в перспективе, автономную подсистему, способную к взаимодействию с другими системами. Так, в [1] определены задачи разработки европейской Платформы цифрового сельского хозяйства, являющиеся важным приоритетом в ЕС на ближайшие годы для кооперации всех сельскохозяйственных предприятий. Эффективность предприятий растениеводства напрямую зависит от планирования севооборота и выбора вариантов сельскохозяйственных культур на производственный сезон, применяемых технологий возделывания растений, рационального применения машин, техники и других ресурсов. В этих целях требуется сочетать укрупненное планирование ресурсов на основе севооборотов и выбранных технологий с планированием сменно-суточных заданий, использующих все ресурсы предприятия. Стратегическое укрупненное планирование и оперативное планирование должны выполняться на основе формализованных знаний предметной области растениеводства, позволяющих получать сведения о климате, культурах, технологиях, почвах, машинах, болезнях растений и вредителях и т.д.

Во введении обосновывается применение цифровой мультисервисной платформы на основе мультиагентных технологий и предметных баз знаний для поддержки принятия решений при управлении сельскохозяйственным предприятием растениеводческого профиля. Во втором разделе представлен умный сервис планирования севооборота в составе платформы. В третьем разделе описывается задача стратегического укрупненного планирования ресурсов на основе севооборотов и выбранных технологий. В четвертом разделе дается математическая постановка задачи сменно-суточного планирования сельскохозяйственных операций и для ее решения предлагается мультиагентный метод адаптивного планирования на основе горизонтальных и вертикальных взаимодействий планировщиков. В пятом разделе рассматриваются аспекты реализации сервиса планирования сменно-суточных заданий. В выводах предлагаются дальнейшие действия по развитию и применению мультисервисной платформы.

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках проекта №14.574.21.0183. Уникальный идентификационный номер: RFMEFI57417X0183.

©2019 ИПУСС РАН, СамГТУ, IEEE

II. Планирование севооборота на основе мультисервисной цифровой платформы

В настоящее время известен ряд систем, ориентированных на поддержку принятия решений при управлении сельскохозяйственным предприятием [2-9]. Они предназначены, в основном, для информационного обеспечения и реализуют учетные функции. Задачи поддержки принятия решений в проблемных ситуациях целесообразно решать с использованием систем умных сервисов, построенных на основе цифровых платформ нового поколения, использующих открытую мультисервисную архитектуру с применением мультиагентных технологий и технологии предметных баз знаний [10,11].

Для рационального выбора вариантов сельскохозяйственных культур на производственный сезон севооборота необходимо эффективно распределять различные культуры по конкретным полям внутри сезона с учётом таких факторов как химический состав и состояние почвы на полях, история возделывания различных культур на конкретном поле с учетом предшественников, требуемые объемы выращивания культур в текущем году. Для выбранной культуры необходимо подобрать наиболее подходящий вариант технологической карты сельскохозяйственных операций и далее по ходу сезона адаптивно перестраивать план выполнения операций технологической карты в зависимости от изменяющихся внешних условий и текущего состояния ресурсно-материального обеспечения. Рациональное решение будет получено при достижении баланса интересов между всеми участниками в условиях заданных ограничений. Эти функции выполняет умный сервис построения плана севооборота.

Классы агентов для решения задачи подбора культур, цели и ограничения агентов для планирования севооборота представлены в Таблице 1. Логика построения целевых функций и функций бонусов-штрафов для достижения согласованных решений представлена в [12].

TABLE I. Агенты и их свойства для планирования севооборота

Имя агента	Цели и ограничения
Заказ на продукцию (заказ)	Определяет общий объем и доли засеваемых культур на текущий сезон. Обеспечивает контроль выполнения к определенному сроку.
Поле (почва)	Хранит историю засеиваемых культур, применяемых технологических операций для их возделывания и достигнутой урожайности, а также историю агрохиманализов. Содержит баланс воды и минералов. Стремится поддерживать почву в лучшем состоянии.
Культура	Определяет требования к состоянию почв и технологическим операциям возделывания на основании истории засеваемых культур. Максимизирует прибыль.
Технологическая операция (карта группы операций)	Определяет порядок следования операций, необходимые связи между культурой, данными агрохиманализа, сроками выполнения операций.
Удобрения и средства защиты растений	Создает требования по внесению удобрений и средств защиты при взаимодействии с агентами поля, агрохиманализа, культуры, технологических операций. Минимизирует затраты и максимизирует урожайность, снижает потери.
Севооборот	Формирует связи между полем, культурой, состоянием почв и заказом. Подбирает типы культур для каждого поля на основе истории севооборота по полю и схемы севооборота с вариантами ротации культур.
Климат региона	Определяет прогноз температуры и осадков в регионе.

Ниже представлен алгоритм планирования севооборота.

1. До формирования вариантов распределения культур, главный агроном и экономист сельскохозяйственного предприятия определяют соотношение планируемых к засеванию культур в процентном или площадном выражении исходя, например, из прогнозов на цену и предзаказов конечных потребителей на сельскохозяйственные культуры.

2. После описания первоначальных заказов для планирования севооборота, агенты заказов создают агентов конкретных культур, предполагаемых для засева, с необходимыми атрибутами.

3. Агент культуры опрашивает агентов полей для оценки возможности размещения на конкретном поле.

3.1. На основании карт сменяемости культур и истории засева поля определяется, было ли поле ранее занято культурой, а также тип культуры. Далее уточняется текущий химический состав почвы данного поля, и показатели сравниваются с минимально возможными для предполагаемой культуры. Если ни по одному из вышеописанных параметров поле не подошло, агент культуры продолжит поиск альтернативного поля, которое сможет удовлетворить требуемые параметры культуры.

3.2. Если необходимое поле на найдено, агент культуры выбирает наиболее подходящие поля. Затем агенты полей в процессе переговоров с агентами технологических карт сопоставляют характеристики полей с технологическими картами, которые могут привести поле к требуемому состоянию с применением удобрений по заложенной схеме с оценкой требуемых ресурсов (техника, удобрения, рабочие). При этом учитываются такие ограничения как наличие необходимых удобрений на складе хозяйства и их стоимость. В первую очередь выбираются поля, которые требуют минимального обогащения удобрениями.

3.3. Если требуемых удобрений нет в наличии, создается задача закупки данных удобрений в сервисе управления складом материальных ресурсов. При наличии данных удобрений они будут внесены на указанное поле на определенной стадии развития агрокультуры. Для этого агент технологической карты добавляет в нее соответствующую операцию.

4. Процесс переговоров агентов продолжается до тех пор, пока показатели качества и эффективности полученного решения не перестают улучшаться, тогда фиксируется динамический останов. Варианты

распределения культур по полям с учетом истории севооборота и подходящих технологических карт сельскохозяйственных операций выращивания рекомендуемых культур выдаются пользователю.

Планирование севооборота обеспечивается взаимодействием нескольких сервисов. Финансовый сервис должен рассчитать финансовую реализуемость планов, АРМы пользователей – подтвердить расчеты и реализовать закупку ресурсов, сервис стратегического планирования – подобрать технологические процессы, состоящие из технологических операций. Протокол взаимодействия сервисов приведен на рис. 1.

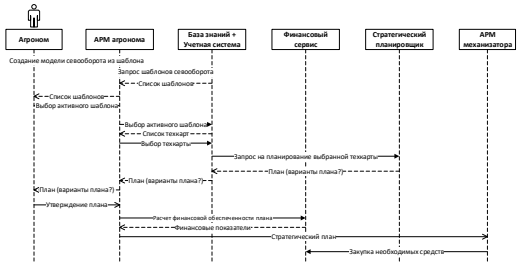


Рис. 1. Протокол взаимодействия сервисовпри планировании севооборота

Любая сельскохозяйственная культура имеет базовый шаблон технологической карты возделывания, в котором перечислен типовой набор операций, требуемых для возделывания данной культуры на различных полях. Сервис построения плана севооборота использует базовый шаблон, модифицируя его с учетом потребностей в удобрениях, защите растений от вредителей, климатических условий текущего сезона и др.

III. Укрупненное стратегическое планирование производства сельскохозяйственных культур

Стратегическое планирование направлено на разработку плана действий и мероприятий, связанных в пространстве (по ресурсам) и во времени (по срокам), нацеленных на выполнение технологических операций согласно технологическим картам.

Пусть имеется множество ресурсов $R = \{Ri\}$, $i = 1, .., m$, где i – номер ресурса, m – количество видов ресурсов (техника, удобрения, механизаторы и т.д.). Для каждого ресурса Ri, определен доступный объем Ai единиц. Согласно технологическим картам имеется множество операций $O = \{Oj\}$, $j = 1, ..., n$, где j – номер технологической операции, n – количество технологических операций. Для каждой операции Oj требуется Bj единиц ресурса. Известна Cij – стоимость использования единицы ресурса Ri для выполнения операции Oj. Необходимо определить Xij – количество единиц ресурса Ri для выполнения операции Oj так, чтобы минимизировать суммарные затраты Z на использование ресурсов.

$$Z = \sum_{i=1}^{m} \sum_{j=1}^{n} C_{ij} X_{ij} \to \min$$

При этом должны выполняться следующие ограничения:

1. $Xij >= 0$ – целочисленные значения;
2. $\sum_{j=1}^{n} X_{ij} \le A_i, i = 1,\ldots,m$ – не должно быть превышения использования доступного объема ресурсов по операциям;
3. $\sum_{i=1}^{m} X_{ij} \le B_j, j = 1,\ldots,n$ – требования всех операций по ресурсам должны быть удовлетворены;
4. Все ресурсы Ri доступны в течение всего периода вегитации $[0..T]$;
5. Для каждой операции Oj определены согласно технологической карте допустимый интервал времени выполнения $[Tjstart..Tjend] \subset [0..T]$, а также Pij – продолжительность выполнения на ресурсе Ri;
6. Интервал $[Tijstart..Tijend]$ использования ресурса Ri на операции Oj определяется в соответствии с ограничениями: $Tijstart >= Tjstart$, $Tijend = Tijstart + Pij$, $Tijend <= Tjend$;

Суммарное время простоя всех ресурсов в допустимых интервалах выполнения всех операций должно быть минимальным

$$F = \sum_{i=1}^{m} \sum_{j=1}^{n} \left(T_{ijstart} - T_{jstart}\right) + \left(T_{jend} - T_{ijend}\right) \to \min$$

На этапе стратегического планирования формируется укрупненный план работы предприятия, который в дальнейшем требуется поддержать оперативными планами и добиться исполнения с фиксацией возникающих отклонений и адаптивным перепланированием при необходимости.

IV. Разработка метода оперативного планирования сменно-суточных сельскохозяйственных операций

Предлагаемый метод планирования сменно-суточных сельскохозяйственных операций предназначен для автоматизации построения вариантов сменно-суточных заданий на выполнение сельскохозяйственных работ с учетом технологических карт операций и доступных материально-технических ресурсов. Оперативный план строится для каждой бригады и каждого исполнителя.

A. Математическая постановка задачи сменно-суточного планирования

В общем виде задачу построения сменно-суточного плана можно сформулировать следующим образом.

Пусть имеется набор известных к настоящему времени заявок на проведение сельскохозяйственных работ O_i, $i = 1..n$, где n – количество видов работ. Каждая заявка характеризуется местом проведения, нормативным временем выполнения и списком различных комбинаций типов сельскохозяйственной техники для проведения этих работ. Имеется набор ресурсов определенного типа (сельхозтехника и другое

оборудование) R_j, $j = 1..m$, где m – количество типов ресурсов. Каждая единица техники имеет уже запланированный график работы, для каждого ресурса R_j известны временные окна доступности этого ресурса для работы над другими заявками $[Ts_k^j; Tf_k^j]$, $k=1..p$, где p – количество известных окон для ресурса R_j. Местоположение каждой единицы техники в момент начала каждого временного окна Ts_k^j задается на ее пункте базирования. Расстояния между всеми пунктами базирования и местами проведения работ известны.

Дополнительно к известному набору заявок имеется поток новых заявок O_i^z, где $z = 1..q$ – приоритет их выполнения (чем больше z, тем важнее заявка), поток внешних событий E_i об отмене или изменении ранее поступивших заявок, а также факты от ресурсов, которые посредством мобильной связи передают данные о фактическом времени выполнения каждого из этапов работ (выезд, начало и окончание работ по заявке). В каждый момент времени известны только те заказы и внешние события, которые поступили до этого момента.

Требуется в каждый момент получения нового заказа или внешнего события адаптивно перестраивать имеющийся план по группам ресурсов с учетом срочности заявок, определяемой приоритетом. При поступлении заявки с более высоким приоритетом необходимо адаптивно назначить на неё подходящую группу ресурсов, которая в этот момент лучше всего к ней подходит, даже если она уже в пути к месту выполнения другой заявки с меньшим приоритетом, но еще не начала фактическое выполнение работ. Из двух заявок с одинаковым приоритетом важнее та, которая поступила раньше. При этом дополнительно необходимо снизить суммарный переезд группы ресурсов. Заявки, которые не удается по факту выполнить в запланированное для них временное окно, вновь попадают в общий список распределения, но могут быть назначены уже на другие группы ресурсов.

B. Мультиагентный метод адаптивного планирования связных ресурсов

Существующие методы планирования мобильных ресурсов не позволяют строить комбинации различных технических средств и работников (механизаторов, водителей), решают, в основном, логистические задачи в узких постановках, например, задачу о коммивояжере или другие постановки транспортной задачи. При этом, как правило, рассматривается пакетная постановка задачи и применяются классические комбинаторные методы решения транспортной задачи, что с ростом размерности приводит к экспоненциальному росту времени вычислений.

Поэтому в последнее время в задачах планирования мобильных ресурсов все большее распространение получают эвристические и метаэвристические методы [13, 14], где строится приближенное решение на основе применения разнообразных эмпирических правил. Эвристические методы выполняют относительно ограниченный поиск в пространстве решений и часто находят хорошие решения за приемлемое время. В [15] рассматривается решение задачи распределения ресурсов для точного земледелия через множественные торги между агентами за счет приведения к Mixed Integer Bilinear Program (MIBP) с линейной целевой функцией. Задача построения адаптивных планов, изменяемых по событиям, в литературе не рассматривается.

В данной статье предлагается метод, позволяющий планировать для выполнения сельскохозяйственных операций сложные связные ресурсы: механизатора с нужными компетенциями, тягач и прицепное устройство. С каждым ресурсом R_k^j связан агент ресурса, с каждой заявкой O_i – агент заявки. Агенты могут отправлять и получать сообщения и принимать решения согласно своей логике и текущей ситуации, которая определяется состоянием каждого агента. Текущие состояния агентов изменяются в моменты поступления событий [16].

Агент каждой заявки O_i^z отправляет запрос свое на размещение агентам ресурсов, которые анализируют свое текущее состояние, рассчитывают и предлагают для заявки различные варианты своих группировок с учетом времени переезда для их формирования в точку сборки новой группировки, а также с учетом времени окончания работ над уже начатыми по факту заявками согласно формуле: $T_{ijk}^z = To_c^{jk} + Do_{ci}^z$, где c – индекс текущего выполняемого заказа ресурсом R_k^j, To_c^{jk} – длительность его выполнения относительно текущего момента времени, Do_{ci}^z – продолжительность переезда от текущей заявки ресурса O_c к заявке O_i^z с учетом заезда в точку сборки группировки.

Агент заявки O_i^z рассматривает группу ресурсов с минимальным временем сборки и готовности к началу выполнения работ, сравнивает свой приоритет z с приоритетами всех заявок, уже имеющихся в последующем плане этой группы ресурсов. Если все уже имеющиеся в плане заказы имеют более низкие приоритеты, заказ забирает себе данную группу ресурсов. Если в последующем плане выбранной группы ресурсов существует хотя бы один заказ с более высоким приоритетом или таким же, но с более ранним временем поступления заказа, время начала работ по данной группе ресурсов запрашивается снова, но только после выполнения этих заказов. Агент заявки O_i^z вновь рассматривает группу ресурсов с минимальным временем начала работ с учетом переездов для создания нужной группировки ресурсов и вновь проверяет приоритеты. В случае выбора ресурса происходит перестройка его последующего расписания и все ранее запланированные заявки после текущей заявки становятся не распределенными и пробуют разместиться в следующем цикле планирования. В случае улучшения глобальной целевой функции F новый вариант расписания принимается в качестве текущего.

Целевая функция планирования F определяет суммарное время переезда всех ресурсов D_{ijk} при максимальном числе запланированных заявок согласно их приоритетам.

$$F = \{P_q \to \max, P_{q-1} \to \max, \dots P_1 \to \max,$$
$$\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m}\sum_{k=1}^{p} D_{i,j,k} \to \min\}$$

где P_q – общее число запланированных заказов с максимальным приоритетом, $i = 1..n$ – индексы размещенных заказов. При улучшении F текущий

вариант распределения заявок по ресурсам принимается в качестве рабочей версии плана, после чего агенты плохо размещенных заявок (вначале те, которые вовсе не размещены), пробуют улучшить свое положение на ресурсах за счет переговоров с другими заявками и ресурсами. Если в результате этих переговоров глобальная целевая функция улучшилась, новая версия плана принимается в качестве рабочей и процесс повторяется до тех пор, пока не перестанут поступать новые внешние события или новые переговоры перестанут приводить к глобальному улучшению.

C. Вертикальные и горизонтальные переговоры между агентами сервисов

В процессе планирования между агентами сервисов различных уровней выполняются вертикальные переговоры, а между агентами сервисов одного уровня – горизонтальные переговоры. Стратегический планировщик формирует укрупненный план на сезон, на основе которого разрабатываются оперативные планы работы бригад и отдельных исполнителей. Агент агронома контролирует показатели работ, получаемые от оперативных планировщиков. Если у некоторого оперативного планировщика N выявляются отклонения фактических показателей от запланированных, которые не могут быть устранены на уровне агентов оперативных планировщиков, его расписание перестраивается. Агент стратегического планировщика выявляет связанные работы, обращается к агентам соответствующих оперативных планировщиков с запросом на изменение их планов, в результате чего происходит корректировка сроков выполнения и используемых ресурсов. Далее агент стратегического планировщика перестраивает укрупненное расписание и обращается к агенту агронома для согласования и утверждения нового стратегического плана. Протокол вертикальных переговоров между планировщиками представлен на рис. 2.

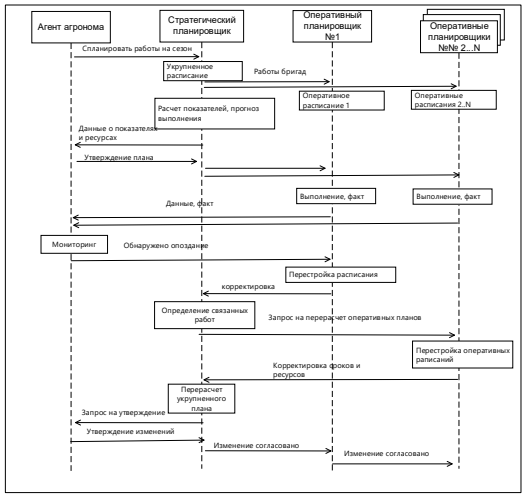


Рис. 2. Протокол вертикальных переговоров между планировщиками

Горизонтальные переговоры агентов сервисов мультисервисной платформы в процессе планирования можно продемонстрировать на примере взаимодействий между бригадами. Протокол горизонтальных переговоров планировщиков представлен на рис. 3.

Рис. 3. Протокол горизонтальных переговоров в процессе перестроения оперативных планов

Взаимодействие между оперативными планировщиками бригад осуществляется через штабных агентов, представляющих интересы каждого планировщика:

1. Модуль планирования строит план работы нескольких бригад, задействованных в технологической операции. Формируются заявки на выполнение работ для каждой бригады. Для заявок задаются желаемые сроки выполнения работ, отслеживаемые на уровне бригад. Оперативным планировщикам соответствующих бригад отправляется сообщение «Запрос на планирование заявки».

2. Оперативный планировщик (ОП) Бригады 1 анализирует свое локальное расписание, определяет, что не успеет выполнить новую заявку в срок, т.к. потребуется еще один день, и сообщает об этом модулю планирования.

3. Модуль планирования определяет зависимые работы, оценивает возможность сдвига сроков работ и обращается к ОП Бригады 2 с запросом на смещение начала выполнения сроков следующих работ.

4. ОП Бригады 2 анализирует свое локальное расписание, определяет, что возможно смещение сроков его работ и освобождение части ресурсов, которые могут быть переданы Бригаде 1 для нагона сроков выполнения ее работ. ОП Бригады 2 передает ОП Бригады 1 запрос на предоставление работ дополнительным ресурсам и модулю планирования сообщение о согласии на корректировку сроков выполнения своих работ.

5. ОП Бригады 1 корректирует свое расписание, сообщает модулю планирования о корректировке, а ОП Бригады 2 – о согласии на предложенный вариант размещения работ на дополнительных ресурсах.

6. Модуль планирования сообщает ОП Бригады 2 о согласии на корректировку сроков ее работ. ОП Бригады 2 перестраивает свое расписание, сообщает ОП Бригады 1 о согласии на предложенный вариант размещения работ на дополнительных ресурсах.

7. ОП Бригады 1 подтверждает готовность исполнять перестроенное расписание.

V. Реализация сервиса планирования сменно-суточных сельскохозяйственных операций

Сервис планирования сменно-суточных сельскохозяйственных операций входит в состав программного модуля планирования и согласования плана работы сельскохозяйственного производства, обеспечивает автоматическое планирование и контроль исполнения заявок на транспортных средствах и исполнителях.

Адаптивный планировщик подбирает оптимального исполнителя и маршрут под каждую заявку, поступающую бригадирам с АРМа агронома, автоматически планирует работу по заявкам на технику с учетом данных об уже сформированном плане работ и ориентировочной дате выполнения, времени освобождения каждой единицы техники с каждой из работ, а также данных о предполагаемых маршрутах движения техники между заказами. Сервис рассчитывает полезный и порожний пробег техники по заявке. Запланированное задание в электронном виде передается на мобильный планшет исполнителя (механизатора или водителя), в который встроен датчик геопозиционирования. Исполнитель отмечает этапы выполнения работ по заявке: «Выехал», «Приступил» и «Завершил». При завершении этапа работ, сервис автоматически пересчитывает плановое время начала следующего этапа, исходя из фактического времени выполнения предыдущего. Каждый этап работ визуализируется в сервисе планирования на диаграмме Ганта (рис. 4).

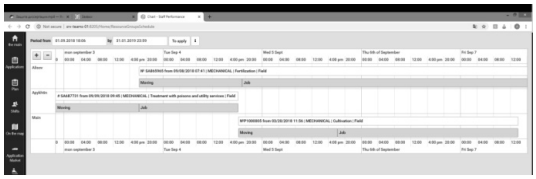


Рис. 4. Оперативный план агротехнических мероприятий

Контроль за выполнением работ осуществляется также с помощью карты работ, на которой отмечаются границы полей, возделываемая культура, местоположение заявок на работы и работников с указанием выполняемых операций и технических средств (рис. 5).

Рис. 5. Карта работ, выполняемых на полях

VI. Заключение

Сервисы планирования в составе базовой цифровой платформы могут быть использованы при разработке цифровых экосистем для широкого круга предприятий сельского хозяйства и промышленности, проектных, сервисных и других предприятий. Наличие планов предприятия растениеводства разных уровней (от севооборота – до сменно-суточных заданий) в будущем позволит также подключать к платформе агентов и сервисы покупателей продукции, поставщиков удобрений и средств защиты растений, а также других участников рынка.

Разработка мультисервисной платформы для точного земледелия позволит повысить качество и эффективность управления сельскохозяйственными предприятиями растениеводческого профиля за счет учета множества противоречивых факторов, своевременной реакции на новые события, гибкой адаптации планов работ к изменяющимся условиям и согласования принимаемых решений, что будет способствовать повышению качества продукции, снижению затрат и рисков.

Список литературы

[1] Digital Agriculture Platform // Farm Europe. https://www.farm-europe.eu/travaux/digital-agriculture-platform/

[2] Farmer Edge // Canada. https://www.farmersedge.ca/precision-solutions/

[3] ANT // Russia . https://ant.services/-lang/

[4] Geosys // USA. http://www.geosys.com/services/

[5] PrecisionHawk // USA. http://www.precisionhawk.com/

[6] ExactFarming // Russia. https://www.exactfarming.com/en/about

[7] Cropio. https://about.cropio.com/

[8] Zoner. Germany - https://zoner.bayer.com/

[9] SAP Digital Farming. https://blogs.sap.com/2015/12/22/sap-digital-farming/

[10] D. Budaev, A. Lada, E. Simonova, P. Skobelev, V. Travin, O.Yalovenko, G. Voshchuk, A. Zhilyaev. Conceptual design of smart farming solution for precise agriculture // International Journal of Design & Nature and Ecodynamics. WIT Press, vol. 13(2018), is. 3. – pp. 307-314.

[11] P. Skobelev. Towards Autonomous AI Systems for Resource Management: Applications in Industry and Lessons Learned // Advances in Practical Applications of Agents, Multi-Agent Systems, and Complexity. LNAI 10978. Springer, Switzerland, 2018, pp. 12-25.

[12] I. Mayorov, P. Skobelev. Towards thermodynamics of real timescheduling // International Journal of Design & Nature and Ecodynamics. – WIT Press, vol. 10, is. 3, 2015, pp. 213-223.

[13] J. Leung. Handbook of Scheduling: Algorithms, Models and Performance Analysis. Chapman & Hall, CRC Computer and Information Science Series, 2004, 1216 p.

[14] S. Voß. Meta-heuristics: The State of the Art. In: Nareyek A. (eds) Local Search for Planning and Scheduling. LSPS 2000. Lecture Notes in Computer Science, vol 2148. Springer, Berlin, Heidelberg, 2001, pp. 1-23.

[15] Labadie N., Prins C., Prodhon C. Metaheuristics for Vehicle Routing Problems. Wiley-ISTE, 2016, 194 p.

[16] Anbuudaysankar S. P., Ganesh K., Mohapatra S. Models for Practical Routing Problems in Logistics. Springer, 2014, 165 p.

Проблемы развития инновационных секторов экономики в аспекте влияния четвертой промышленной революции

Шахвердиева Р.О.
Институт Информационных Технологий НАНА
Баку, Азербайджан
shahverdiyevar@gmail.com

***Abstract* — The article is devoted to the study of the formation and development of new sectors of the innovation economy as a result of the impact of the fourth industrial revolution. The questions of the influence of the fourth industrial revolution on the modern economy and the functioning of economic structures are considered. The various features, platforms and components of the fourth industrial revolution are explored. Its main objectives, principles, objectives, scientific and technological innovations and main driving forces are highlighted. The importance of the new industrial revolution in the innovative economic development of the region is demonstrated. Analyzed the international experience associated with the fourth industrial revolution. The situations connected with the beginning of cooperation of Azerbaijan with the fourth industrial-revolutionary center are investigated.**

Ключевые слова —цифровая экономика и общество, инновационная экономика, технологические инновации, четвертая промышленная революция, перспективные промышленные технологии, искусственный интеллект, робототехника, Интернет вещей.

I. Введение

В настоящий период большинство стран переживают переход к модели инновационного экономического развития, в которой сфера услуг играет ведущую роль. Произошло модернизация экономики на промышленной основе. Успех развитых стран основан на интеллектуальном потенциале, технологическом прогрессе, уровне развития науки и образования. В ближайшие годы робототехника, автономные транспортные средства, искусственный интеллект, современный компьютер, сетевые, космические и информационные технологии станут актуальными, новые материалы, биотехнология станут более доступными [1]. Страны, желающие добиться превосходства в технологической конкуренции в современном производстве, будь то на микроуровне или на макроуровне, проводят множество инновационных экономических исследований. В этих областях в ведущих мировых научно-исследовательских кругах, а также в Всемирном Экономическом Форуме (ВЭФ) [2] в последние годы широко анализируются проявления четвертой промышленной революции, последствия ее влияния и проводятся соответствующие исследовательские работы [3]. В январе 2019 года в 49-й Давосский ВЭФ в Швейцарии была заложена основа сотрудничества между правительством Азербайджана и Центром Четвертой Индустриальной Революции ВЭФ. В центре форума стояли «Глобализация 4.0» и проблемы, вызванные глобализацией. На форуме были обсуждены оцифровка, искусственный интеллект, сотрудничество Европы и Африки, способы разрешения глобальных торговых конфликтов. Как видно изучение проблем формирования и развития подотраслей инноваационной экономики в результате влияния четвертой промышленной революции как актуальная проблема имеет особую важность.

II. О состоянии исследования проблемы

В феврале 2019 года в научной базе Web of Science была найдена более 500 научных статей, на основе поиске по ключевым словам «Промышленная революция – industrial revolution». Эти материалы в основном охватывают 2005-2018 годы. Из них 286 - посвящены социальным наукам, 260 – общественным и гуманитарным наукам, 145 – технологическим наукам, 8 – компьютерным наукам и другим областям исследования. Состав материалов: 1)248 обзоров, 2)196 статей, 3)52 материалов конференции, 4)40 методического и 5)7 рецензионного типов. 201 печатная продукция - в историческом аспекте, 188 – в экономике бизнеса, 137 – в социальных науках, 58 – в инженерии, 48 – в социологии и других направлениях исследований. 130 материалов были найдены в Великобритании, 132 – в США, 28 – в Канаде, 22 – в Германии и некоторых других странах. 28 статей в области промышленной революции опубликованы в журнале Economic history review, 20 – в Journal of economic history, 13 – в Technology and culture, 9 – в Journal of british studies, 8 в Library journal и так далее. В области промышленной революции регулярно организуются международные конференции, такие как International conference on innovation and management, Annual congress of the European economic association, Annual international conference of education research and innovation, International conference on industrial engineering applications and manufacturing (ICIEAM), International conference on information and communication technology convergence (ICTC), International conference on production research (ICPR), International conference on technology education and development inted и др. 85-90% научных материалов опубликованы на английском языке. Кроме того, имеется несколько научных материалов на французском, испанском, немецком и русском языках [3]. Во всех этих материалах исследуются отдельные задачи и аспекты промышленной революции.

©2019 ИПУСС РАН, СамГТУ, IEEE

III. Цель, структура и состав платформы четвертой промышленной революции

Интеллектуальный потенциал, человеческий капитал, корпоративное управление и др. понятия, часто встречающиеся в экономическом управлении, показывают начало промышленной революции - Промышленность 4.0, появление современной информационной экономики, отличной от традиционной экономики [2, 4, 5].

Рост IV промышленной революции и ускорение этого роста под влиянием научно-технических инноваций и поведенческих тенденций людей была одной из главных тем обсуждения в различных престижных научных и исследовательских кругах по всему миру. Термин Industry 4.0. (Промышленность 4.0) изначально был создан в Германии в 2011 году и использовался многими для описания процесса компьютеризации промышленного производства, который был принят в качестве четвертой промышленной революции. Четвертая промышленная революция или платформа Industry 4.0 использует интеллектуальные технологии и данные в реальном времени для повышения производительности труда и снижения производственных затрат. Промышленное оборудование, складские системы и производственные процессы на умных фабриках способны выполнять свои сложные задачи, обмениваться информацией, давать команды и инструкции друг другу, не требуя участия человека. Industry 4.0 позволяет интегрировать мировое промышленное производство с онлайн-технологиями. Industry 4.0 предоставляет транснациональным корпорациям большие преимущества. Потому что у них есть возможность узнать сведения о производстве по цепочкам снабжения. Прогнозируется, что умные фабрики будут предъявлять высокие требования к гибкости каждого сотрудника в процессах производства, обработки, сборки, наладки, а также в транспорте и логистике. Это, в свою очередь, приведет к росту нестабильной занятости [6-8]. Платформа четвертой промышленной революции стремится повысить конкурентоспособность производственной и обрабатывающей промышленности путем применения кибер-физических систем в производственных процессах.

На основе синтеза существующих подходов, а также приоритетов стратегий развития и результатов научного анализа концептуальная структура IV промышленной революции может быть представлена, как на рисунке 1. Индустрия 4.0 соответствует производству «Интернета вещей» (IOT), который охватывает все предметы доступа в Интернет, от автомобилей до бытовой техники. Это совершенно новый и другой подход к производству. Industry 4.0 Working Group, в которую входят крупные промышленники, эксперты по искусственному интеллекту, экономисты и высококвалифицированные специалисты, считает, что индустрия 4.0 формируется. Такие страны, как Германия, США и Китай, принимают такой курс развития высоких технологий. Соединенные Штаты создали некоммерческий консорциум «Промышленный Интернет» во главе с такими лидерами отрасли, как General Electric, AT & T, IBM и Intel. В настоящее время ведется серьезное научное исследование концепции Industry 4.0 [9, 10]. Хотя неясно, как будет выглядеть будущее, можно представить перспективы «Интернета вещей». Таким образом, формирование тесного взаимодействия людей на платформе IV промышленной революции, как и в концепциях «умный дом», «умная фабрика», «умный город», является требованием современности.

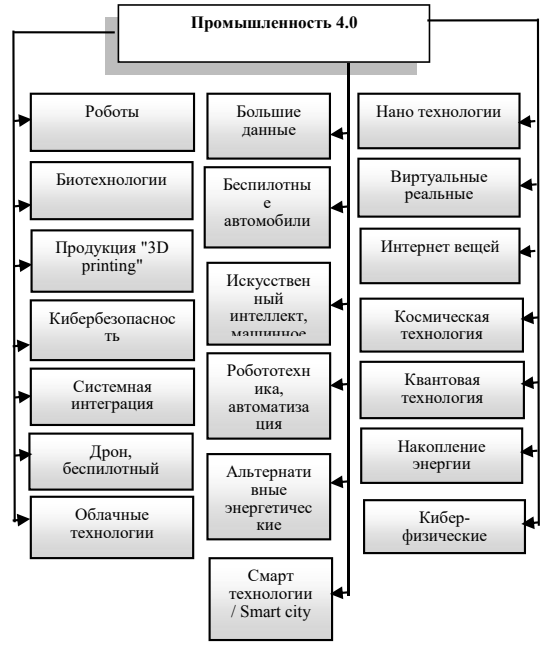


Рис. 1. Концептуальная структура «Промышленности 4.0»

IV. Научно-технологические инновации и особенности четвертой промышленной революции

Истинная ценность Industry 4.0 - это способность адаптироваться к окружающей среде во взаимодействии с многочисленными CPS, с помощью человека. Несомненно, телекоммуникация и Интернет играют центральную роль в концепциях Industry 4.0 и «Интернет вещей» [6, 11].

Четвертая промышленная революция сведет к минимуму роль людей во многих областях производства и управления производством. Автоматизация и роботизация сотрут границы между физическими, цифровыми и биологическими объектами. Такой большой процесс, охватывающий все области, основан на автоматизированных и роботизированных инструментах производства и управления. Главной особенностью этой промышленной революции является то, что она цифровая. Её другие ключевые особенности - появление большого количества новых технологий. Эти технологии будут заменять физические, цифровые и биологические продукты, которые влияют на экономику.

Превосходящая стадия технологии будет сформирована. Это, конечно, сильно скажется на экономике, технологической конкуренции и приведет к серьезным изменениям [12, 13]. В рамках четвертой промышленной революции развиваются следующие

направления: 1)искусственный интеллект и машинное обучение, 2)завоевание космического пространства и перспективные дроны, 3)повышение уровня робототехники в различных областях и быстрое распространение в жизни человека; 4)технологии «Интернет вещей»; 5)продукты «3-D печати», нанотехнологии и биотехнологии, квантовые расчеты, накопление энергии и увеличение использования возобновляемых источников энергии, 6)появление самоходного транспорта и т. д. В четвертой промышленной революции киберфизические системы применяются к производственным процессам, повышая конкурентоспособность отрасли. Эта революция основана на автоматизированных и роботизированных средствах производства и управления. Её главная особенность в том, что она цифровая.

Настоящее время можно рассматривать как переходный период к IV промышленной революции. В такой период экономика развивается на основе инноваций, знаний и новых технологий. Влияние четвертой промышленной революции на формирование информационной экономики и ее перспективное развитие велико. Вот некоторые из особенностей этого глобального процесса: Взаимоотношения: общение с людьми и интеллектуальными фабриками с помощью кибер-физических систем, с помощью Интернета обслуживаний и вещей; функция виртуализации: система генерируется путем подключения данных датчиков к виртуальным устройствам и имитационным моделям; функция автономного управления: появляется способность киберфизических систем принимать собственные решения на интеллектуальных фабриках; возможность в режиме реального времени: возможность сбора и анализа данных; функция обслуживания: кибер-физические системы, люди и интеллектуальные фабричные услуги предоставляются через Интернет-сервисы; модульность: обеспечивает гибкую систему адаптации для интеллектуальных фабрик для отдельных модулей для меняющихся требований. Целью IV промышленной революции является повышение конкурентоспособности в экономической сфере, бизнесе, повышение уровня доходов, создание новых ценностей, облегчение и ускорение работы в определенных областях управления, а также положительное влияние на уровень жизни людей, в переходе к новой промышленной революции, в влиянии каждой трансформации на все страны, экономические и политические системы, частные и государственные секторы, компании, а также макро и микро факторы компаний, их секторы, конкурентов, клиентов, сотрудников и т. д. К основным Интернет и информационным технологиям, основанным на IV промышленной революции в разных областях применения можно отнести [14]: имплантные технологии, новый интерфейс видения, портативный Интернет (Интернет одежды), Интернет вещей, «умный» дом, «цифровой» человек, постоянный доступ к интернету (карманный суперкомпьютер), хранилище информации, «умный» город, технологии Big Data в принятии решений, беспилотные автомобили, искусственный интеллект, робототехника, технологии криптовалюты, 3D-публикация в производстве, образовании и продуктах массового спроса.

V. Международный опыт связанный с четвертой промышленной революцией

Технологические инновации IV промышленной революции будут иметь решающее значение для формирования экономического спроса и предложения. В соответствии с футурологической программой под названием «Future Factories», организация EFFRA разработала программу под названием «Завод 4.0 и последующий период», подразумевающий 2018-2020 годы. Эта программа синергетически согласовала предыдущую программу, а также тезисы 4-й промышленной революции [15, 16].

Концепция Промышленность 4.0 нацелена на интеллектуальное управление производством в новых условиях, где секции и цеха, по сути, автономны и интеллектуальны. Потребности клиентов в отдельных товарах, продуктах и услугах формируют совершенно новую среду экономической инфраструктуры и механизм управления, основанный на современных технологиях, таких как 3D-публикации, IoT, Cloud Computing, Mobile Devices, Big Data. В некоторых зарубежных странах есть определенные особенности в планах развития экономической политики по подготовке к 4-й промышленной революции. Есть также много стран, которые приняли специальные стратегии для большей оцифровки своих экономик с 2005 года: Сингапур (2005), Австралия (2006), Великобритания (2008), Норвегия (2009), Европейский Союз (2009), Канада (2010), США (2011), Малайзия (2012), Корейская Республика (2013), Индия (2015), Новая Зеландия (2015).

В США с 2011 года действует программа «Партнерство в улучшении производства». Эта программа направлена на координацию действий федеральных правительств, областей и университетов по созданию благоприятных условий для инноваций и инвестированию в новые технологии и методологии проектирования. Программа «Национальная сеть для производственных инноваций» направлена на расширение сети исследовательских институтов, развитие сотрудничества между научными организациями, правительством, промышленностью и ускорение коммерциализации инновационных процессов [15 16]. Комплексная программа «Новая индустрия во Франции» (2013) была направлена на поддержку 34 гигантских промышленных проектов, таких как «Фабрика будущего», «Суперкомпьютеры», «Робототехника», координацию научных исследований, инноваций и их передачи. Японская концепция развития робототехники, получившая название «Революция роботов» (2015), основана на Интернете. Программа «Made in China 2025», которая разрабатывается с 2015 года, в плане контента основана на интеграции ИКТ с индустриализацией.

Кроме того, в некоторых странах в связи с 4-й промышленной революцией приняты комплексные программы, такие как: программа Германии «4.0. Промышленность» (2013 г.), Европейская программа FoF (2013 г.), Передовое производство и сотрудничество США (2014 г.), Голландская программа «Умная Промышленность» (2014 г.), программа Испании «4.0 Промышленность» (2014 г.), «План Малайзии» (2015) и другие.

Анализ исследований по перспективам Четвертой промышленной революции, а также стратегических инициатив и программ в этой области показывают, что можно отметить основные принципы и воздействия создания новой индустрии. Прежде всего, новое промышленное оборудование, элементы должны уметь эффективно объединяться друг с другом и уметь функционировать совместно с принципами функционального согласования, функциональной совместимости, целостности, интероперабельности. Более того, принцип виртуализации направлен на то, что каждый физический процесс в производстве должен иметь виртуальную модель, чтобы полученная информация обрабатывалась в соответствии с реальными условиями. Третий основной принцип - это децентрализация - автономия, чтобы интегрированные производственные элементы, датчики, компьютеры, сетевые устройства и т. д. умели свободно действовать, принимать соответствующие решения.

VI. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Четвертая промышленная революция принесет огромные выгоды миру в глобальной экономике. Она станет основным направлением для нового этапа развития. Не следует забывать, что роботы, киберфизические системы и промышленные революции являются продуктами человеческого мозга и приносят пользу обществу. Поэтому, если человек создает лучшее из своего собственного мозга, он должен искать и реализовывать наилучшие возможные способы извлечь из этого пользу. Движущие элементы Четвертой промышленной революции появляются, формируются, распространяются и широко применяются в определенном контексте времени. Параллельно этот процесс создает множество социально-экономических изменений в экономической жизни. Фактически, широкое распространение компонентов новой промышленной революции в конечном итоге является содержанием инновационной экономики. Поэтому необходимо провести соответствующие научно-технические и технологические исследования для изучения технологических особенностей и тенденций развития новой промышленной революции при разработке методов и средств развития новых инновационных секторов экономики, а также ее ключевых структурных подразделений и механизмов ее формирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

[1] Стратегические дорожные карты по основным секторам национальной экономики. Баку, 6 декабря 2016 г., http://www.president.az

[2] World Economic Forum. Center for the Fourth Industrial Revolution, https://www.weforum.org/center-for-the-fourth-industrial-revolution.

[3] Web of science, https://www.webofknowledge.com

[4] Anatolevich G.K., Sergeevich U.V. Trends of the fourth industrial revolution a review of the monograph: Schwab K. The fourthindustrial revolution // Economic and social changes-facts trends forecast, 2017, volume 53, issue 5, pp. 216-221.

[5] Berawi M.A. The fourth industrial revolution: managing technology development for competitiveness // International journal of technology, 2018, volume 9, issue 1, pp. 1-4.

[6] Rabeh M., Husam A., Saeed M.. The fourth industrial revolution (İndustry 4.0): a social innovation perspective // Technology innovation management review, 2017, volume7, issue 11, pp.12-20.

[7] Юмаев Е.А. Инновационно-промышленная политика в свете перехода к индустрии 4.0: зарубежные тенденции и вызовы для России // Журнал экономической теории, 2017, №2, стр.181-185.

[8] Рагимов Ф.М., Аббасова Б.И. Состояние использования технопарков в преддверии новой промышленной революции в Азербайджане // Материалы III Международного симпозиума по тюркским мировым исследованиям. Баку, 2016, стр.149-153.

[9] Wang, K.L., Cao Di.R. A study on the new path of capital formation under information economy based on research of capital formation model under IOT Internet of things // International conference on engineering and business management, 2010, vol. 1-8, pp.1513-1516.

[10] Гулин К.А., Усков В.С. О роли Интернета вещей в условиях перехода к четвертой промышленной революции// Проблемы развития территории, 2017, №4 (90), с. 112-131.

[11] Dusko L. The fourth ICT-based industrial revolution "Industry 4.0" - HMI and the case of CAE/CAD innovation with EPLAN P8. Conference: 20th Telecommunications Forum (TELFOR), Belgrade, Serbia, 2015, pp. 835-838.

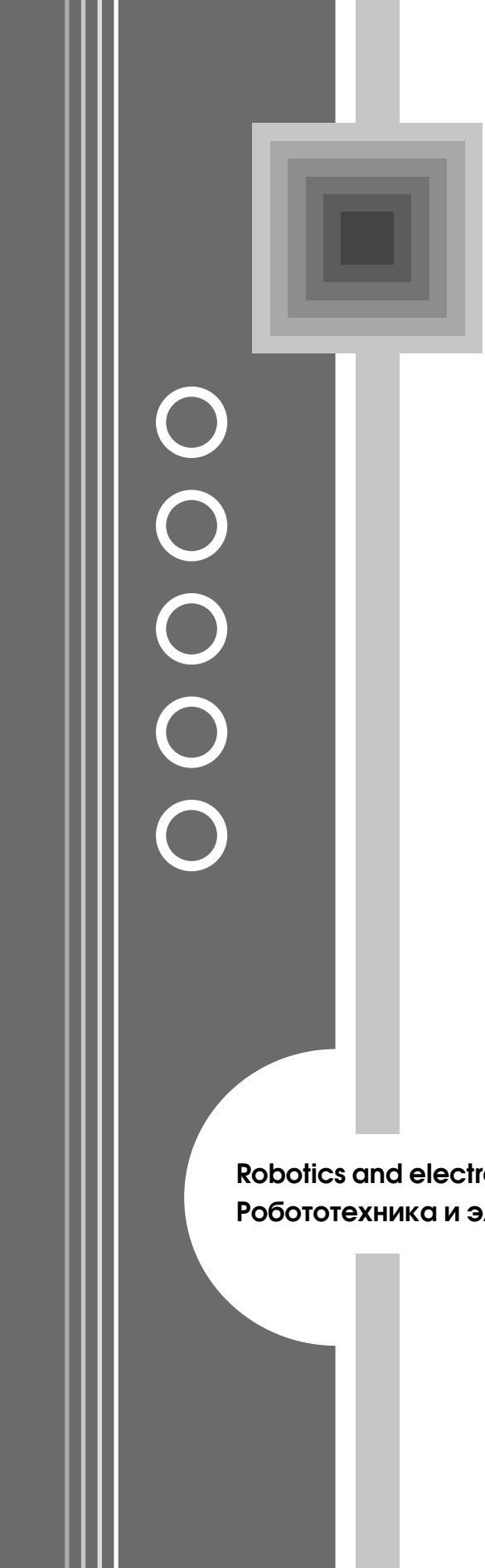
[12] Illiashenko S.M. Illiashenko N.S. Opportunities and threats of the fourth industrial revolution and their reflection in the selection of innovative growth strategies // Marketing and management of innovations, 2016, issue1, pp.11-21.

[13] Halse L.L., Ullern E.F. Getting ready for the fourth industrial revolution: innovation in small and medium sized companies // Advances in Production Management Systems. The Path to intelligent, collaborative and sustainable manufacturing, 2017, pp. 247-254.

[14] Mihyun C., Jaehyoun K. The Internet information and technology research directions based on the fourth industrial revolution // KSII Transactions on Internet and information systems, 2016, volume 10, issue 3, pp.1311-1320.

[15] Yongxin L., Eduardo R.L., Fernando D., et al. The impact of the fourth industrial revolution: a cross-country/region comparison // Production journal, vol.28, n.x, e20180061, 2018. DOI: 10.1590/0103-6513.20180061

[16] Liu C. International Competitiveness and the fourth industrial revolution // Entrepreneurial business and economics review, 2017, volume 5 issue 4, pp.111-133.



Robotics and electronics
Робототехника и электроника

Стабилизация положения тележки-крана в условиях неполной информации

Антипов А.С.
Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН
Москва, Россия
scholess18@mail.ru

Краснова С.А.
Институт проблем управлвения им. В.А. Трапезникова РАН, МГТУ им. Н.Э. Баумана
Москва, Россия
skrasnova@list.ru

***Abstract* — In this paper, we consider the convey-crane system, which can transport loads for industrial purposes. The stabilization problem of the desired convey-crane position is posed under uncertain mass inertia characteristics, an action of disturbances and incomplete measurements. Based on the passivity property, the control law with linear and sigmoidal parts is constructed for the solution of the problem. We use the shortened state observer with sigmoidal corrective action to obtain the needed velocity estimates for the control law.**

Ключевые слова — механическая система, пассивность, стабилизация, инвариантность, наблюдатель состояния пониженного порядка

I. Введение

Использование транспортировочных кранов для перемещения массивных грузов широко распространено в промышленном производстве и строительстве. В работе рассматривается задача управления транспортировочным краном, связанная с построением системы управления перемещением грузов в заданное положение. Объектом управления является тележка-кран, математическая модель которой представлена нелинейной динамической системой с двумя степенями свободы и одним управляющим воздействием. Классический подход к синтезу нелинейных систем с недостатком управлений опирается на линейную теорию: закон управления строится на основе линеаризованной системы [1] и обеспечивает локальную стабилизацию в окрестности линеаризуемого положения. Другой подход основан на свойствах пассивности механических систем, построении для них функций Ляпунова и глобальной стабилизации [2-5]. Стандартным решением является использование пропорционально-дифференциального (ПД) регулятора, зависящего от положения и скорости [3,5], и его модификаций. Так в [3] с целью улучшения качества переходных процессов предложен ПД-регулятор с использованием угловой координаты и ее производной. При наличии внешних согласованных возмущений и параметрической неопределенности естественным способом обеспечения инвариантности выступают силовые методы – системы с разрывными управлениями, функционирующие в скользящем режиме [6-8]. Однако эти эвристические алгоритмы непосредственно не применимы к механическим системам, так как управляющие воздействия, в качестве которых выступают обобщенные моменты, действующие на механическую систему, имеют разрывной, высокочастотный характер.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке гранта РФФИ № 18-01-00846А

©2019 ИПУСС РАН, СамГТУ, IEEE

В данной работе рассматривается задача стабилизации заданного положения тележки-крана в условиях неполных измерений и действия параметрических и внешних возмущений. С использованием свойства пассивности механической системы [2-5] разработан комбинированный закон управления в форме обратной связи с линейным и нелинейным (сигмоидальным) слагаемыми. Являясь гладкой допредельной реализацией функции знака [9], ограниченная сигмоидальная функция физически реализуема в механических системах с учетом динамики исполнительных устройств. Она позволяет подавить действие согласованных возмущений и избежать излишнего расхода ресурсов управления и перерегулирования в начале переходных процессов.

При построении законов управления механическими системами часто все переменные состояния полагают доступными для измерений. Однако на практике измерению обычно подлежат только обобщенные координаты. Для получения оценок обобщенных скоростей в работе предложен оригинальный принцип построения наблюдателя пониженного порядка с сигмоидальными корректирующими воздействиями.

II. Постановка задачи

Рассмотрим тележку-кран массой M, к которой на невесомом тросе длиной l прикреплен груз массой m, q_{12} – угол отклонения троса от вертикальной оси (см. рис. 1). Тележка способна совершать горизонтальные перемещения q_{11} под действием управляющей силы u.

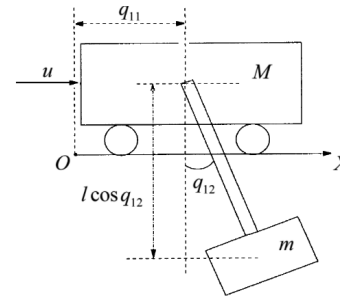


Рис. 1. Схема тележки-крана

Математическая модель объекта управления имеет следующий вид [2, 3]:

$$\begin{aligned}\dot{q}_1 &= q_2,\\ \dot{q}_2 &= f_1(q_1,q_2)+f_2(q_1,q_2)(u+\eta(t)),\end{aligned} \qquad (1)$$

где $q_1=\mathrm{col}(q_{11},q_{12})\in\Re^2$ – вектор обобщенных координат, $q_2=\mathrm{col}(q_{21},q_{22})\in\Re^2$ – вектор обобщенных скоростей,

$$f_1(q_1,q_2)=\mathrm{col}(f_{11},f_{12})\in\Re^2,$$
$$f_2(q_1,q_2)=\mathrm{col}(f_{21},f_{22})\in\Re^2,$$
$$f_{11}=\frac{1}{M+m\sin^2 q_{12}}\left[-m\sin q_{12}(lq_{22}^2+g\cos q_{12})\right],$$
$$f_{12}=\frac{1}{l(M+m\sin^2 q_{12})}\left[-\sin q_{12}((M+m)g+ml\cos q_{12}\cdot q_{22}^2)\right],$$
$$f_{21}=\frac{1}{M+m\sin^2 q_{12}},\ f_{22}=\frac{\cos q_{12}}{l(M+m\sin^2(q_{12}))},$$

g – ускорение свободного падения, $\eta(t)$ – обобщенная сила, трактуемая как неизвестное ограниченное возмущение. Выдвигаются следующие предположения:

- $|\eta(t)|\le N,\ |\dot\eta(t)|\le N_1\ \forall t\ge 0,\ N,N_1$ – известные константы;
- параметры l,m,M точно не известны;
- груз рассматривается как точечная масса, жесткость и масса троса не учитываются;
- измерению подлежит только положение тележки $q_{11}(t)$, шумы измерений отсутствуют.

Ставится задача синтеза закона управления, обеспечивающего заданное положение тележки $q_{11d}=\mathrm{const}$ и стабилизацию остальных переменных состояния. В условиях неопределенности данная задача может быть решена с заданной точностью:

$$|e_{11}(t)|\le\delta_{11},\ |q_{21}(t)|\le\delta_{21}\ \forall t>T>0, \qquad (2)$$

где $e_{11}=q_{11}-q_{11d}$ – ошибка регулирования.

III. Характеристика сигмоидальной функции

В целях дальнейшего синтеза закона управления рассмотрим нелинейную гладкую ограниченную сигмоидальную функцию $\sigma(\alpha x)=2/(1+e^{-\alpha x})-1$, $\alpha=\mathrm{const}>0$, которая является допредельной реализацией функции знака $y=\mathrm{sign}x$ в следующем смысле: $\sigma(-\alpha x)=-\sigma(\alpha x)$, $\sigma(\alpha x)\underset{x\to 0}{\sim}\alpha x/2$, $\sigma(\alpha x)\underset{\alpha\to+\infty}{\sim}\mathrm{sign}x$. Первая производная сигмоидальной функции – положительная ограниченная четная функция $\sigma'(\alpha x)=\alpha(1-\sigma^2(\alpha x))/2$, вторая производная – ограниченная нечетная функция $\sigma''(\alpha x)=-\alpha\sigma'(\alpha x)\sigma(\alpha x)$.

Для сигмоидальной функции и ее первой производной в указанных интервалах справедливы следующие оценки [9]:

$$\begin{aligned}&\sigma(\alpha\Delta)<|\sigma(\alpha x)|<1,\\ &0<\sigma'(\alpha x)<\sigma'(\alpha\Delta)\ \forall\,|x|>\Delta>0;\\ &\sigma(\alpha\Delta)\,|x|/\Delta\le|\sigma(\alpha x)|\le\sigma(\alpha\Delta),\\ &0<\sigma'(\alpha\Delta)\le\sigma'(\alpha x)\le\sigma'(0)=\alpha/2\ \forall\,|x|\le\Delta.\end{aligned} \qquad (3)$$

Из (3) следует, что при $|x|>\Delta$ сигмоидальная функция близка к постоянной функции, а при $|x|\le\Delta$ – к линейной. В качестве границы рекомендуется принять точку $\alpha\Delta=c$, где $\pm c\approx\pm 3$ – абсциссы вершин сигмоидальной функции, в которых ее кривизна достигает максимума, при этом:

$$\sigma(\pm 3)\approx\pm 0{,}9,\ \sigma'(\pm 3)\approx 0{,}1\alpha,\ \alpha\Delta\approx 3. \qquad (4)$$

IV. Синтез закона управления

Для решения поставленной задачи (2) предлагается комбинированное управление

$$u=-k_1e_{11}-M_2\sigma(\alpha q_{21}), \qquad (5)$$

где $\sigma(\alpha q_{21})=\dfrac{2}{1+e^{-\alpha q_{21}}}-1$ – сигмоидальная функция, $\alpha,M_2=\mathrm{const}>0$. Линейная часть служит для стабилизации ошибки регулирования e_{11}, скорость сходимости зависит от выбора $k_1>0$, а нелинейная (сигмоидальная) – для обеспечения инвариантности по отношению к внешнему возмущению [9].

Для выбора параметров закона управления (5) и исследования устойчивости замкнутой системы (1), (5) в качестве кандидата на функцию Ляпунова рассмотрим [3]

$$V(q_1,q_2)=E(q_1,q_2)+\tfrac{1}{2}k_1e_{11}^2, \qquad (6)$$

где $E(q_1,q_2)=\frac{1}{2}q_2^TH(q_1)q_2+mgl(1-\cos q_{12})$ – полная энергия системы с матрицей инерции $H(q_1)=\begin{pmatrix}M+m & -ml\cos q_{12}\\ -ml\cos q_{12} & ml^2\end{pmatrix}$.

С учетом (1), (5) производная функции (6) имеет вид

$$\dot V=q_{21}(u+\eta+k_1e_{11})=q_{21}(\eta-M_2\sigma(\alpha q_{21})).$$

Вне окрестности $|q_{21}(t)|\le 3/\alpha$ в силу (3), (4) справедливы следующие оценки:

$$\dot V\le|q_{21}|(N-0{,}9M_2)<0\Rightarrow M_2>1{,}1N. \qquad (7)$$

При выборе параметра M_2 в указанном виде (7) за конечное время $t_1>0$ в замкнутой системе (1), (5) обеспечивается сходимость переменных $e_{11}(t),\ q_{21}(t),\ q_{12}(t),\ q_{22}(t)$ в некоторые окрестности нуля. Параметр α, который играет роль большого коэффициента, выбирается исходя из заданной точности (2) в силу (3), (4), на основе следующих соотношений:

$|q_{21}| \le \delta_{21} = 3/\alpha, \qquad |\eta - M_2\sigma(\alpha q_{21})| \le \beta = 10N_1/(M_2\alpha),$
$|e_{11}| \le \delta_{11} = \beta/k_1 \Rightarrow$

$$\alpha > \max\left\{\frac{3}{\delta_{21}}; \frac{10N_1}{M_2\delta_{11}k_1}\right\}. \quad (8)$$

Для реализации базового закона управления $u(q_{11} - q_{11d}, q_{21})$ необходимо получить оценку скорости $q_{21}(t)$ по измерениям положения тележки $q_{11}(t)$. В условиях существенной неопределенности модели объекта управления и действия внешних возмущений, динамическая модель которых в построения не вводится, эту задачу можно решить только с заданной точностью.

Ниже представлен оригинальный метод синтеза наблюдателя состояния пониженного порядка с сигмоидальной коррекцией. Данный наблюдатель строится как реплика подсистемы $\dot{q}_{11} = q_{21}$, где переменная $q_{21}(t)$ трактуется как внешнее ограниченное возмущение с ограниченной производной $|q_{21}(t)| \le \bar{q}_{21}$, $|\dot{q}_{21}(t)| \le \bar{q}_{31}$ $\forall t \ge 0$, и имеет вид

$$\dot{z}_{11} = \nu, \quad (9)$$

где $z_{11} \in \Re$ – переменная состояния, $\nu = U\sigma(k\varepsilon)$ – сигмоидальное корректирующее воздействие наблюдателя, $\varepsilon = q_{11} - z_{11} \in \Re$ – ошибка наблюдения. Задача наблюдения сводится к стабилизации систем относительно ошибки наблюдения и ее производной

$$\dot{\varepsilon} = q_{21} - \nu = q_{21} - U\sigma(k\varepsilon), \ddot{\varepsilon} = \dot{q}_{21} - U\sigma'(k\varepsilon)\dot{\varepsilon} \quad (10)$$

с заданной точностью:

$$|\varepsilon(t)| \le \Delta, |\dot{\varepsilon}(t)| \le \Delta \ \forall t > t^*, 0 \le t^* < T. \quad (11)$$

При выполнении (10) из уравнения статики имеем: $|\dot{\varepsilon}(t)| \le \Delta \Rightarrow |q_{21}(t) - \nu(t)| \le \Delta \ \forall t > t^*$. Следовательно, корректирующее воздействие служит искомой оценкой переменной $\nu(t) \approx q_{21}(t)$ $\forall t > t^*$.

Для выбора параметров k, $U > 0$, обеспечивающих (11), при анализе систем (10) используются свойства сигма-функции (3), (4). При $|\varepsilon| > 3/k$ имеем:

$$\varepsilon\dot{\varepsilon} = \varepsilon(q_{21} - U\sigma(k\varepsilon)) \le |\varepsilon|(\bar{q}_{21} - 0,9U) < 0 \Rightarrow$$
$$\Rightarrow U > 1,1\bar{q}_{21}, \quad (12)$$

что обеспечивает $|\varepsilon(t)| \le 3/k$ за конечное время. При $t > t^*$ из достаточных условий получим нижнюю оценку для выбора второго параметра сигма-функции:

$$\varepsilon\dot{\varepsilon} \le |\varepsilon|(\bar{q}_{21} - 0,3Uk|\varepsilon|) < 0 \Rightarrow$$
$$k > 3,3\bar{q}_{21}/(U|\varepsilon|);$$
$$\dot{\varepsilon}\ddot{\varepsilon} \le |\dot{\varepsilon}|(\bar{q}_{31} - 0,1Uk|\dot{\varepsilon}|) < 0 \Rightarrow \quad (13)$$
$$k > 10\bar{q}_{31}/(U|\dot{\varepsilon}|) \Rightarrow$$
$$\Rightarrow k > \max\{3,3\bar{q}_{21}; 10\bar{q}_{31}\}/(U\Delta).$$

В замкнутой системе (1) с наблюдателем состояния (9) закон управления (5) реализуется в виде:

$$u = -k_1 e_{11} - M_2\sigma(\alpha\nu), \quad (14)$$

V. Результаты моделирования

Для моделирования были приняты следующие параметры: $M = 10$ (кг) – масса тележки-крана, $l = 2,5$ (м) – длина троса, $m = 50$ (кг) – масса груза, $\eta_1(t) = 0,2\sin(t)$ – функция, описывающая внешние возмущения.

Требовалось обеспечить стабилизацию заданного положения тележки $q_{11d} = 10$ (м).

На основе условий (7), (8) приняты параметры $k_1 = 2$, $\alpha = 300$, $M_2 = 10$ в комбинированном законе (5).

В целях сравнения был также построен классический закон управления в виде ПД-регулятора [3]:

$$u = -k_{p1}e_{11} - k_{p2}q_{21}, \quad (15)$$

где параметры $k_{p1} = 5$, $k_{p2} = 30$ были приняты из аналогичных условиям (7), (8) условий обеспечения заданной точности (2).

Для оценки скорости q_{21} и реализации законов управления строился наблюдатель состояния пониженного порядка с сигмоидальным корректирующим воздействием. Из условий (12), (13) выбраны его параметры: $k = 250$, $U = 1$.

В замкнутой системе (1) с наблюдателем (9) закон управления (15) реализуется следующим образом:

$$u = -k_{p1}e_{11} - k_{p2}\nu, \quad (16)$$

На рис. 2, 3 для законов управления (14), (16) представлены графики ошибок регулирования $e_{11}(t) = q_{11}(t) - q_{11d}$ и угла отклонения троса от вертикальной оси $q_{12}(t)$ соответственно (сверху – для комбинированного закона, снизу – для ПД-регулятора). На рис. 4 приведены графики ошибок оценивания скорости $q_{21}(t)$ с помощью корректирующего воздействия наблюдателя $\nu(t)$. На рис. 5 отражены графики управляющих воздействий $u(t)$.

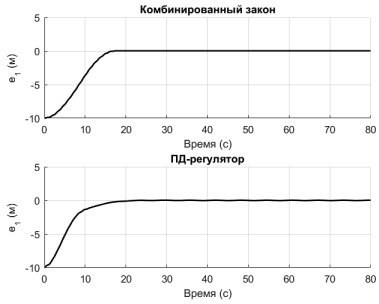


Рис. 2. График ошибки регулирования $e_{11}(t)$

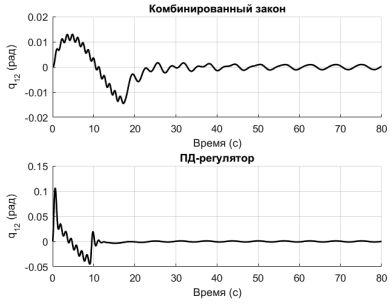


Рис. 3. График угла отклонения троса от вертикальной оси $q_{12}(t)$

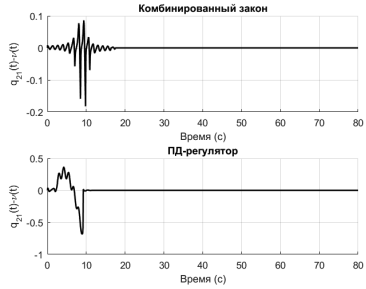


Рис. 4. График ошибки оценивания скорости $q_{21}(t) - \nu(t)$

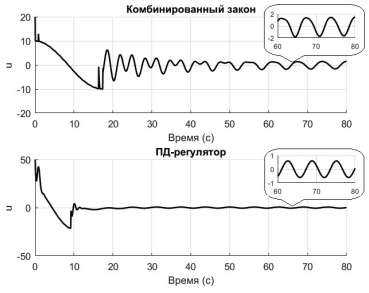


Рис. 5. График управления $u(t)$

Таким образом, результаты моделирования подтвердили эффективность разработанного подхода. Построенный комбинированный закон управления (5) стабилизировал заданное положение, а наблюдатель состояния (9) обеспечил его реализацию. По сравнению с ПД-регулятором, из рис. 3, 5 видно, что благодаря использованию ограниченной сигмоидальной функции, комбинированный закон управления обеспечивает меньшую амплитуду колебаний $q_{12}(t)$ и позволяет расходовать меньшие ресурсы управления $u(t)$.

VI. Заключение

Тележка-кран представляет собой сложную механическую систему с двумя степенями свободы и одним управляющим воздействием. В работе предложен комбинированный закон управления с линейной и сигмоидальной частью, решающий задачу стабилизации заданного положения в условиях параметрической неопределенности. Класс рассматриваемых систем расширяется за счет систем с внешним ограниченным возмущением, на которое не накладывается требование гладкости, оно может быть кусочно-непрерывным с ограниченными односторонними производными. Для реализации закона управления построен наблюдатель с сигмоидальным корректирующим воздействием. Разработанный подход к решению задачи стабилизации подтверждается результатами моделирования. Использование сигмоидальных функций обеспечивает инвариантность с заданной точностью по отношению к имеющимся неопределенностям.

Список литературы

[1] Spong M.W., “Partial feedback linearization of underactuated mechanical systems,” *Proceedings of IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS'94)*. Munich, Germany, vol. 1, pp. 314–321, 1994. doi: 10.1109/IROS.1994.407375

[2] Fantoni I. and Lozano R., “Non-linear control for underactuated mechanical systems,” London: Springer Verlag,. 2002, pp. 43–51.

[3] Papadopoulos A.D., Rompokos A.A. and Alexandridis A.T., “Nonlinear and observer-based PD position and sway control of convey-crane systems,” *Proceedings of 24th Mediterranean Conference on Control and Automation (MED)*. Athens, 2016, pp. 696–700.

[4] Cornejo, C., and Alvarez-Icaza, L., “Passivity based control of under-actuated mechanical systems with nonlinear dynamic friction,” *Journal of Vibration and Control*, vol. *18*(7), pp. 1025–1042, 2012. https://doi.org/10.1177/1077546311408469

[5] Romero J.G., Donaire A. and Borja P, “Global Stabilisation of Underactuated Mechanical Systems via PID Passivity-Based Control,” IFAC-PapersOnLine, 2017, vol. 50, No. 1., pp. 9577–9582.

[6] Slotine, J.E, “Sliding controller design for non-linear systems,” International Journal of Control, 1984, vol. 40, No. 2, pp. 421–434.

[7] Utkin, V.I., Guldner, J, and Shi J, “Sliding mode control in electromechanical systems,” NewYork: CRC Press, 2009, 485 p.

[8] Nikkhah, Mehdi, Ashrafiuon, H and Muske, K.R., “Optimal sliding mode control for underactuated systems,” Proceedings of the American Control Conference, 2006, 6 pp. 10.1109/ACC.2006.1657461.

[9] Краснова С.А., Уткин А.В. Сигма-функция в задачах синтеза наблюдателей состояний и возмущений // Проблемы управления. 2015. №5. С. 27-36.

Исследование безопасного движения подвижного объекта в случайной среде методом имитационного моделирования

Белоглазов Д. А.
Южный федеральный университет
Таганрог, Россия
d.beloglazov@gmail.com

Соловьев В.В.
Южный федеральный университет
Таганрог, Россия
soloviev-tti@mail.ru

Финаев В.И.
Южный федеральный университет
Таганрог, Россия
finaev_val_iv@tgn.sfedu.ru

Шаповалов И.О.
Южный федеральный университет
Таганрог, Россия
shapovalovio@gmail.com

Пушнина А.А.
Южный федеральный университет
Таганрог, Россия
a.pushnina@gmail.com

Лазарев В.С.
Южный федеральный университет
Таганрог, Россия
phillpro.lazarev@yandex.ru

***Abstract* — In the paper the use of simulation modeling for the analyze of the mobile objects (MO) motion in nondeterministic random environments with mobile obstacles is considered. The diagram of the simulation model is given. The dataware for simulation is developed in the MATLAB software. The model of a plane moving environment is defined and the formulas are given for determining the random conditions of the MO and the obstacles motion. The model of the vision system, the model of the trajectory planning and the model of the MO motion with random parameters are also defined. In the simulation the change of the criterion «index of the MO safe motion» was analyzed for random values of the action range and the lidar viewing angle, the number and the motion velocity of the obstacles and other parameters. The simulation statistical data are processed and the results are obtained in the form of stochastic probability distributions of index of the MO safe motion depending on the area of the lidar vision, the number of obstacles and the velocity of obstacles motion.**

Ключевые слова — подвижный объект, подвижные препятствия, двумерная случайная среда, моделирование, статистические данные.

I. Введение

Подвижные объекты (ПО) или мобильные роботы решают задачу достижения цели в неопределенной среде. Под неопределенной средой понимается двумерное или трехмерное пространство с препятствиями. Препятствия могут двигаться или стоять на месте, иметь разные размеры, а также выполнять собственную задачу по достижению цели. Столкновение ПО с препятствием является недопустимым событием, т.к. в этом случае ПО не сможет достичь цели и не выполнит поставленную перед ним задачу.

В статье рассматривается движение ПО в двумерном пространстве с препятствиями разного вида.

Управление любым объектом происходит при наличии моделей объекта и внешней среды [1].

Если модель ПО и внешней среды будет известна и достаточно полной, то применяются методы теории автоматического управления, а управление ПО на регуляторном уровне выполняется методами теории автоматического управления [2].

Однако условия движения ПО таковы, что в моделях присутствуют и детерминистические и стохастические факторы. Траектория движения ПО к цели определена методами позицинно-траекторного управления [3]. Размещение препятствий и их передвижение являются случайными событиями, следовательно, траектория движения ПО также будет случайной. Случайной величиной является время достижения ПО поставленной цели

Цель для ПО определена оператором. Подвижной объект имеет модуль планирования траекторий и может определять координаты и углы собственной ориентации [4, 5], а также обладает техническим зрением для обнаружения препятствий. Заданы такие параметры ПО, как скорость, ускорение, габариты и параметры системы технического зрения. При исследовании эффективности функционирования ПО следует учитывать большое число детерминированных и случайных факторов и характеристик. Исследование эффективности можно выполнять с применением методов имитационного моделирования [5].

Имитационное моделирование движения ПО в случайных средах рассматривалось во многих работах, например [1, 6 - 8]. В силу того, что определение вероятности зависит от условий решения поставленной задачи, нельзя говорить о том, что известные исследования являются достаточными. Поэтому тема данной статьи является актуальной.

II. Структура имитационной модели

Для исследований разработана имитационная модель в среде MatLab. Имитационная модель моделирует движение ПО в среде с препятствиями и обеспечивает сбор статистических данных и дальнейшую их обработку. Программное обеспечение имитационной модели состоит из логически и последовательно связанных программных модулей.

При моделировании применен Δt–способ моделирования [5]. Шаг моделирования определен идентификатором T, а моделирование выполняется $T_{зад}$ тактов. Применение данного способа моделирования

This work was supported by a grant from the Russian Science Foundation 16-19-00001 executed by Southern Federal University.

©2019 ИПУСС РАН, СамГТУ, IEEE

позволяет «просматривать» изменения в моделируемой системе за каждый такт моделирования *T*.

Подпрограммы моделирования состояния среды, технического зрения, планирования территорий, управления движением могут иметь разную реализацию и включают в себя процедуры сбора статистических данных. В имитационной модели предусмотрен выбор подпрограмм и параметров задачи. При выполнении моделирования заполняется база статистических данных, содержащая информацию о случайных величинах каждого эксперимента.

III. Модель среды

Исследование движения ПО выполняется в плоской среде, размером 20×20 м. Для случайного определения препятствий применены формулы:

$$N0=]N0_{min}+rand(N0_{max})[, \quad (1)$$

$$V0=V0_{min}+rand(V0_{max}), \quad (2)$$

$$S0=S0_{min}+rand(S0_{max}), \quad (3)$$

$$P0=rand(2\pi), \quad (4)$$

где *N0*, *V0*, *S0*, *P0* – количество препятствий, скорость, размер (окружность с радиусом *S0*) и направление движения препятствий соответственно; *rand* – результат процедуры генерации числа, равномерно распределенного в интервале [0, 1];] . [– операция выделения целой части числа.

IV. Модель системы технического зрения

Рассматривается система технического зрения - лидар. Лидар сканирует перед собой пространство, как показано на рис. 1. Задается величина угла *AL* раскрытия диаграммы от продольной оси ПО и дальность действия *RL* лидара.

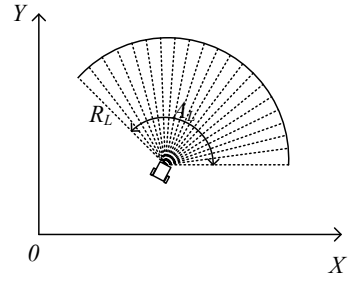


Рис. 1. Схема алгоритма имитационной модели

В подпрограмме моделирования технического зрения задаются случайным образом параметры лидара в соответствии с формулами:

$$AL=[AL_{min}+rand(AL_{max})], \quad (5)$$

$$RL=RL_{min}+rand(RL_{max}), \quad (6)$$

где AL_{min}, AL_{max} – соответственно минимальный и максимальный углы раскрытия диаграммы лидара; RL_{min}, RL_{max} - соответственно минимальная и максимальная дальность действия лидара.

V. Модуль планирования траекторий

Применена модель на основе виртуальных полей [5]. Координаты и угол ориентации ПО рассчитывают из решения уравнения движения, в котором имеются «сила притяжения» к цели и «силы отталкивания» от препятствий [9, 10]. Компоненты силы притяжения ПО к целевой точке определяют по формуле:

$$\begin{pmatrix} F_{ax} \\ F_{ay} \end{pmatrix} = k\left(\begin{pmatrix} x_g \\ y_g \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix}\right) D^{-1}, \quad (7)$$

где x_g, y_g – координаты целевой точки; x, y – текущие координаты ПО; $D = \sqrt{(x_g - x)^2 + (y_g - y)^2}$ – расстояние между целевой точкой и ПО; k – коэффициент.

Компоненты силы отталкивания ПО определяют по формуле:

$$\begin{pmatrix} F_{rx} \\ F_{ry} \end{pmatrix} = -c \times e^{-\beta \times D_r} \begin{pmatrix} cos(\alpha) \\ sin(\alpha) \end{pmatrix}, \quad (8)$$

где $D_r = \sqrt{(x_o - x)^2 + (y_o - y)^2}$ – расстояние между точкой препятствия с координатами x_o, y_o и ПО; $\alpha=\alpha tan2(y_o-y, x_o-x)$ – угол между точкой препятствия и ПО; c, β – коэффициенты.

Планируемые координаты положения и угол ориентации ПО определяют по формуле:

$$\begin{pmatrix} x_p \\ y_p \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} F_{ax} + F_{rx} \\ F_{ay} + F_{ry} \end{pmatrix} \times \Delta t, \quad (9)$$

$$\phi_p=\alpha tan2(y_p, x_p), \quad (10)$$

где x_p, y_p, ϕ_p – полученные в результате планирования координаты и угол ориентации ПО; Δt – шаг времени.

VI. Модель подвижного объекта

В подпрограмме управления движением применены уравнения кинематики и упрощенной динамики ПО:

$$\dot{x} = v\cos\varphi \; ; \; \dot{y} = v\sin\varphi \; ;$$

$$\dot{\varphi} = \omega \; ; \quad (11)$$

$$v = \frac{1}{2a_0}(U_1 + U_2) \; ; \; \omega = \frac{1}{2a_0 l}(U_1 - U_2) \; .$$

где x, y – координаты ПО на плоскости; v, ω – линейная и угловая скорости ПО; φ – угловая ориентация ПО относительно оси ординат, коэффициент $a_0=nc/r$, где n – передаточное число редуктора, c – коэффициент электромеханического взаимодействия, r – радиус колес,

l – половина расстояния между колесами ПО, U_1, U_2 – управляющие воздействия для электродвигателей.

Движение ПО реализуется с применением ПИД регуляторов линейной и угловой скоростей согласно правилам:

$$u_v = k_{pv}\varepsilon_v(k) + \frac{k_{dv}}{\Delta t}\left(\varepsilon_v(k) - \varepsilon_v(k-1)\right) + k_{iv}\Delta t\sum_{j=1}^{k}\varepsilon_v(j), \quad (12)$$

$$u_\omega = k_{p\omega}\varepsilon_\omega(k) + \frac{k_{d\omega}}{\Delta t}\left(\varepsilon_\omega(k) - \varepsilon_\omega(k-1)\right) + k_{i\omega}\Delta t\sum_{j=1}^{k}\varepsilon_\omega(j), \quad (13)$$

где $k_{p\omega}$, $k_{d\omega}$, $k_{i\omega}$, k_{pv}, k_{dv}, k_{iv} – коэффициенты ПИД-регуляторов; ε_v, ε_ω – ошибки регулирования согласно формулам:

$$\varepsilon_\omega = \chi - \phi, \quad (14)$$

$$\varepsilon_v = \sqrt{\left(x_p - x\right)^2 + \left(y_p - y\right)^2} \times cos\left(\varepsilon_\omega\right), \quad (15)$$

$$\chi = atan2(x_g - x,\ y_g - y), \quad (16)$$

где χ – угол между целевой точкой и ПО.

Управляющие напряжения для электродвигателей определяются согласно формулам (12) и (13). В этой модели имеются и случайные параметры, определяемые по формулам:

$$V_r = V_{rmin} + rand(V_{rmin}), \quad (17)$$

$$x_0 = x_{0min} + rand(x_{0min}), \quad (18)$$

$$y_o = y_{omin} + rand(y_{omin}), \quad (19)$$

$$\phi_o = \phi_{omin} + rand(\phi_{omin}), \quad (20)$$

где V_r, x_0, y_o, ϕ_o – начальные скорость, координаты и угол ориентации ПО.

Координаты (x_g, y_{g0}) целевой точки также выбираются случайно по формулам, подобным формулам (18), (19).

VII. Набор статистических данных

В базе статистических данных осуществляется сбор параметров моделирования при заданном времени моделирования и задаваемых случайно числе препятствий (1 – 8), их размерах в диапазоне от 0.25 до 1 метра. Случайно задается скорость препятствий с ограничением, что скорость препятствий меньше скорости ПО. Препятствия при случайном расположении на плоскости не должны располагаться ближе, чем 1.4 метра к точкам старта и финиша ПО.

Для ПО случайно задают координаты точки начала движения (старта) и координаты точки цели (финиша ПО) при условии, что точки старта и финиша расположены на расстоянии не менее 10 метров друг от друга. Стартовый угол ориентации ПО случайно выбирается в диапазоне 0 - 360 градусов. Скорость перемещения ПО случайно выбирается в диапазоне 0.1 - 3 м/с. Дальность действия лидара случайно задается в диапазоне 0.1 – 15.1 метра, а угол его зрения – в диапазоне 1 - 360 градусов.

В базе статистических данных накапливаются значения: длины идеальной траектории между начальной и целевой точками без учета препятствий, а также длины реальной траектории между этими точками, но с учетом препятствий; максимальной скорость ПО; показателя безопасности по данным лидара, т.е., минимального расстояния между ПО и препятствиями, которые замечены ПО; показателя безопасности реального, т.е., минимального расстояния между ПО и незамеченными препятствиями, которые могли быть близко к ПО; дальности действия и угла раскрытия диаграммы лидара; количества, скорости и размера препятствий; координат точек старта и финиша и начального угла ориентации ПО; точности позиционирования ПО в конечной точке.

VIII. Результаты моделирования

Информационное обеспечение для моделирования позволяет автоматически создать Excel файл (stat.xlsx), в котором будут записаны данные по каждому эксперименту. В таблице 1 показан фрагмент полученных результатов моделирования.

Под показателем безопасности понимается минимальное расстояние, на котором проходит ПО мимо препятствия. Данные показатель рассматривался в работах [1, 4, 5, 11, 12]. Эксперимент заканчивается либо при достижении ПО точки цели, либо при истечении 50 секунд времени моделирования. Всего выполнено 62 000 экспериментов.

Между значениями стохастических величин существуют корреляционные связи. Исследовать стохастическую связь между параметрами ПО и среды его перемещения можно с применением модели стохастического регрессионного анализа [13, 14].

Статистические данные в виде частот совместного появления измеряемых случайных величинах сведены в таблицу (см. таблицу 2), где N_{ij} - частота появления событий x_i при условии появления события y_j; N_{yj} - частота появления события y_j; N_{xi} - частота появления события x_i; i=1,2,…,n; j=1,2,…,m.

ТАБЛИЦА I. Фрагмент результатов моделирования

Параметры моделирования	Номер эксперимента			
	1	*2*	*3*	*4*
Максимальная скорость ПО, м/с	1.500	1.341	1.500	1.500
Дальность действия лидара, м	4.698	13.817	13.404	7.202
Угол лидара, град	310	153	358	18
Количество препятствий, шт.	3	6	5	2
Скорости препятствий, м/с	1.388	0.789	0.687	0.131
…				
Показатель безопасности по данным сонара, м	0.434	0.244	0.715	20.000
Показатель безопасности реальный, м	0.209	0.000	0.545	1.307
Точность позиционирования в целевой точке, м	0.011	9.322	0.103	0.110

ТАБЛИЦА II. ЧАСТОТЫ СОВМЕСТНЫХ СОБЫТИЙ

X / Y	x_1	x_2	…	x_i	…	x_n	…
y_1	N_{11}	N_{21}	...	N_{i1}	...	N_{n1}	N_{y1}
y_2	N_{12}	N_{22}	...	N_{i2}	.	N_{n2}	N_{y2}
…	...	...	...	...	...	...	...
y_j	N_{1j}	N_{2j}	...	N_{ij}	...	N_{nj}	N_{yj}
…	...	...	...	...	...	...	...
y_m	N_{1m}	N_{2m}	...	N_{im}	...	N_{nm}	N_{ym}
…	N_{x1}	N_{x2}	...	N_{xi}	...	N_{xn}	...

Разделив каждый элемент j - й строки таблицы 2 на значение частоты N_{yj}, получим значения частостей $p^*(x_1,y_j)$, …, $p^*(x_n,y_j)$. Частость $p^*(x_i,y_j)$ - оценка вероятности появления событий x_i при условии появления события y_j.

Теоретические значения вероятностей появления событий x_i при условии появления события y_j показаны в таблице 3, в которой в клетке с координатами (x_i, y_j) указывается вероятность $p(x_i, y_j)$ того, что случайный параметр X примет значение x_i и одновременно случайный параметр Y примет значение y_j.

Суммируя все вероятности, стоящие в i-м столбце

$$p(x_i y_1) + p(x_i y_2) + ... + p(x_i y_j) + ... + p(x_i y_m) = \sum_j p(x_i y_j) \quad (21)$$

получим вероятность события $X=x_i$, причем, $\sum_j p(x_i y_j) = P(X = x_i) = p(x_i)$.

ТАБЛИЦА III. ДВУМЕРНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ

X / Y	x_1	x_2	…	x_i	…	x_n	…
y_1	$p(x_1,y_1)$	$p(x_2,y_1)$	...	$p(x_i,y_1)$	...	$p(x_n,y_1)$	$p(y_1)$
y_2	$p(x_1,y_2)$	$p(x_2,y_2)$	...	$p(x_i,y_2)$	...	$p(x_n,y_2)$	$p(y_2)$
…	...	...	...	...	...	...	...
y_j	$p(x_1,y_j)$	$p(x_2,y_j)$	...	$p(x_i,y_j)$	...	$p(x_n,y_j)$	$p(y_j)$
…	...	...	...	...	...	...	...
y_m	$p(x_1,y_m)$	$p(x_2,y_m)$	...	$p(x_i,y_m)$	...	$p(x_n,y_m)$	$p(y_m)$
…	$p(x_1)$	$p(x_2)$	...	$p(x_i)$	...	$p(x_n)$	...

Аналогично, суммируя вероятности в j–й строке номер, найдем:

$$p(x_1 y_j) + p(x_2 y_j) + ... + p(x_i y_j) + ... + p(x_n y_j) = \sum_i p(x_i y_j) = P(Y = y_j) = p(y_j) \quad (22)$$

В результате моделирования получена база данных (Excel файл (stat.xlsx)), содержащий результаты всех выполненных экспериментов. Применение операций сортировок данных позволит получить значения частостей для оценки вероятностей совместных событий (см. таблицу 3).

Начальные условия выбирают из диапазонов заданных значений. Выполнено разбиение диапазонов значений на непересекающиеся интервалы. Например, начальные условия «Дальность действия лидара» в диапазоне [0.10 – 15.00 (метры))] разбито на отрезки [0.10 – 1.50; 1.51 – 3.00; 3.01 – 4.50; 4.51 – 6.00; 6.01 – 7.50; 7.51 – 9.00; 9.01 – 10.50; 10.51 – 12.00; 12.01 – 13.50; 13.51 – 15.00].

Более удобным будет представление действия лидара как площади поля зрения, которое при выполнении моделирования имело следующее задание (с результатами округления чисел): [0.37 – 69.82; 69.83 – 139.3; 139.9 – 208.7; 208.7 – 278.2; 278.2– 347.6; 347.6 – 417.1; 417.1 – 486.5; 486.5 – 555.9; 555.9 – 625.4; 625.4– 694.8]. Это задание определим условно: [d_1, d_2, d_3, d_4,…, d_9, d_{10},]. Такое же разбиение можно сделать и для остальных параметров модели. Число препятствий: 1, 2, 3, …, 7 - p_1, p_2, p_3, …, p_8. И так далее.

Исследуем, как влияет действие лидара на показатель безопасности движения ПО, выраженный в расстоянии (метры) при прохождении ПО мимо препятствия. Для диапазона значений показателя безопасности [0.05 – 14.13] зададим разбиение на пять отрезков [0.05 – 2.86; 2.86 – 5.68, 5.68 – 8.49; 8.49 – 11.31; 11.31 – 14.13], соответственно [b_1, b_2, b_3, b_4, b_5].

При скорости перемещения ПО 1.5 м/с, для одного препятствия со скоростью перемещения из диапазона значений [0, 1) м/с частости совместных событий «Показатель безопасности движения ПО/Площадь поля зрения лидара» представлены в таблице 4.

ТАБЛИЦА IV. ДВУМЕРНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ

Площадь поля зрения лидара ($м^2$)	Показатель безопасности движения ПО (м)					Вероятности событий d_j
	b_1	b_2	b_3	b_4	b_5	
d_1	0.166	0.094	0.028	0.006	0.001	0.295
d_2	0.070	0.064	0.029	0.007	0.002	0.172
d_3	0.045	0.052	0.033	0.010	0.000	0.140
…						
d_8	0.006	0.004	0.011	0.004	0.002	0.027
d_9	0.004	0.006	0.004	0.005	0.000	0.019
d_{10}	0.002	0.001	0.003	0.001	0.000	0.007
Вероятности событий b_i	0.387	0.348	0.192	0.065	0,008	-

Если выполнить суммирование всех условных вероятностей в i-м столбце по формуле (21), по получим вероятности события «Показатель безопасности движения ПО - b_i». Выполнение аналогичного суммирования по формуле (22) позволит получить вероятности события «Площадь поля зрения лидара - d_j».

В таблице 5 приведены оценки частостей этих же совместных событий для одного препятствия, движущегося со скоростью из диапазона [1.2) м/с. В таблице 6 приведены оценки частостей также для одного препятствия, но со скоростью движения из диапазона [2.3) м/с, а в таблице 7 – для скорости движения из диапазона [3.4) м/с.

ТАБЛИЦА V.

Площадь поля зрения лидара ($м^2$)	Показатель безопасности движения ПО (м)					Вероятности событий d_j
	b_1	b_2	b_3	b_4	b_5	
d_1	0.172	0.083	0.025	0.005	0.001	0.286
d_2	0.081	0.076	0.036	0.016	0.001	0.210
d_3	0.059	0.045	0.036	0.007	0.001	0.148
…						
d_8	0.009	0.012	0.005	0.002	0.001	0.029
d_9	0.008	0.005	0.003	0.000	0.001	0.017
d_{10}	0.001	0.005	0.001	0.001	0.000	0.008
Вероятности событий b_i	0.432	0.330	0.171	0.056	0,011	-

ТАБЛИЦА VI.

Площадь поля зрения лидара ($м^2$)	Показатель безопасности движения ПО (м)					Вероятности событий d_j
	b_1	b_2	b_3	b_4	b_5	
d_1	0.205	0.093	0.025	0.004	0.002	0.329
d_2	0.086	0.080	0.034	0.007	0.003	0.210
d_3	0.057	0.052	0.023	0.008	0.001	0.141
…						
d_8	0.015	0.009	0.005	0.002	0.000	0.031
d_9	0.006	0.009	0.003	0.003	0.000	0.021
d_{10}	0.002	0.001	0.002	0.000	0.000	0.005
Вероятности событий b_i	0.490	0.330	0.134	0.037	0.009	-

ТАБЛИЦА VII.

Площадь поля зрения лидара ($м^2$)	Показатель безопасности движения ПО (м)					Вероятности событий d_j
	b_1	b_2	b_3	b_4	b_5	
d_1	0.201	0.092	0.027	0.002	0.002	0.324
d_2	0.088	0.072	0.031	0.006	0.001	0.198
d_3	0.073	0.045	0.025	0.006	0.002	0.151
…						
d_8	0.018	0.005	0.002	0.001	0.001	0.027
d_9	0.006	0.006	0.000	0.002	0.001	0.015
d_{10}	0.006	0.003	0.002	0.001	0.000	0.012
Вероятности событий b_i	0.507	0.310	0.135	0.037	0.011	

Выполним графическое представление полученных статистических данных.

На рис. 2 показаны распределения вероятностей значений показателя безопасности b_1 (из диапазона 0.05 – 2.86) от площади поля зрения D лидара при одном препятствии и скорости движения препятствий из диапазона [3,4) м/с. На рис. 3 показано это же распределение, но для показателя безопасности b_3 (из диапазона 5.68 – 8.49).

Распределения вероятностей значений показателя безопасности b_5 (из диапазона 11.31 – 14.13) от площади поля зрения D лидара при тех же условиях близки к нулевым значениям.

Если найти средние значения вероятностей, то можно построить их графические изменения. На рис. 4 показаны изменения средних зависимостей распределения вероятностей показателей безопасности от площади поля зрения D лидара при одном препятствии и разных скоростях движения.

По этому алгоритму обработки статистических данных и построения стохастических распределений получены оценки частостей совместных событий «Показатель безопасности движения ПО/Площадь поля зрения лидара» для четырех и семи препятствий, движущихся с разной скоростью, построены зависимости распределения вероятности показателя безопасности b_1 из разных диапазонов.

На рис. 5 показаны изменения средних зависимостей распределения вероятностей показателей безопасности от площади поля зрения D лидара при четырех движущихся препятствиях с разными скоростями движения.

На рис. 6 показаны такие же зависимости распределения вероятностей показателей безопасности при тех же условиях, но при семи движущихся препятствиях с разными скоростями движения.

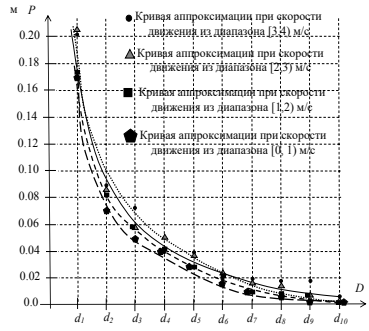


Рис. 2. Зависимость распределения вероятности показателя безопасности b_1 (диапазон 0.05 – 2.86) от площади поля зрения D лидара при одном препятствии и разных скоростях движения

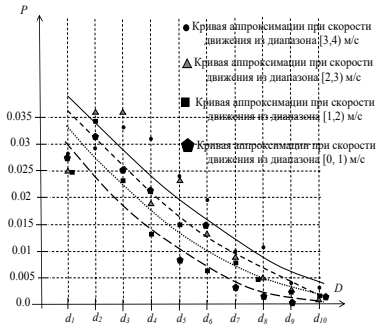


Рис. 3. Зависимость распределения вероятности показателя безопасности b_3 (диапазон 5.68 – 8.49) от площади поля зрения D лидара при одном препятствии и разных скоростях движения

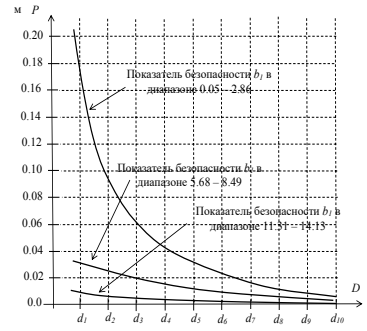


Рис. 4. Средние зависимости распределения вероятностей показателей безопасности от площади поля зрения D лидара при одном препятствии с разными скоростями движения

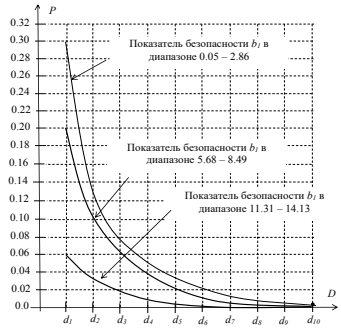


Рис. 5. Средние зависимости распределения вероятностей показателей безопасности от площади поля зрения D лидара при четырех препятствии с разными скоростями движения

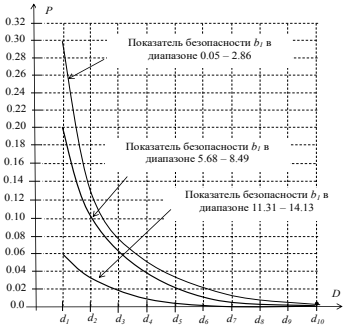


Рис. 6. Средние зависимости распределения вероятностей показателей безопасности от площади поля зрения D лидара при семи препятствиях с разными скоростями движения

Для показателя безопасности b_1 в диапазоне значений 0.05 – 2.86 для площади зрения лидара в диапазонах [0.37 – 69.82 - d_1] - [208.7 – 278.2 – d_4] наблюдались отличия в значениях распределения вероятностей.

При дальнейшем увеличении площади поля обзора лидара разница в значениях распределений вероятности и уменьшается, и незначительна. Т.е. площадь обзора лидара является определяющим фактором, влияющим на значение показателя безопасности движения ПО.

Из результатов имитационного моделирования можно выбрать значение площади обзора лидара, которое будет удовлетворять требованиям по показателю безопасности движения ПО при известном числе препятствий и скорости их движения.

IX. Заключение

В данной работе показана процедура разработки и представлена имитационной модель, позволяющая моделировать перемещение наземного ПО в среде с движущимися препятствиями. Имитационная модель обладает широкими возможностями ввода разных исходных данных из разного диапазона значений. Модель позволяет собирать статистические данные о среде и меняющихся параметрах ПО. Приведено формальное определение программных модулей с моделью среды, с моделью технического зрения, планировщика траекторий и с моделью движения ПО.

Модульная структура позволяет расширять и модифицировать имитационную модель в зависимости от заданных требований.

Показана эффективность применения имитационной модели для исследования такого важного критерия, как показатель безопасности.

Данная имитационная модель позволяет решать, как прямую задачу определения изменения параметров ПО от условий внешней среды, так и обратную задачу, связанную с выбором условий среды, обеспечивающих достижение ПО поставленной цели. Важность и полезность решения прямой и обратной задачи определена во многих работах, как показано в работе [15, 16].

Список литературы

[1] Белоглазов Б.А., Гузик В.Ф., Косенко Е.Ю. и др. Интеллектуальное планирование траекторий подвижных объектов в средах с препятствиями / под ред. В.Х. Пшихопова. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2014. – 300 с.

[2] Красовский А.А. Справочник по теории автоматического управления / под ред. А.А. Красовского. – М.: Наука: Физматгиз, 1987.

[3] Пшихопов В.Х. Позиционно-траекторное управление подвижными объектами. – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2009. – 183 с.

[4] Shapovalov I., Soloviev V., Finaev V., Kosenko E., Zargaryan J. Research of graph-analytical methods for a vehicle motion planning // ICCAS 2015 - 2015 15th International Conference on Control, Automation and Systems, pp. 585-591.

[5] Soloviev V.V, Pshikhopov V.K, Shapovalov I.O, Finaev V.I and Beloglazov D.A Planning of the mobile robot motion in non-deterministic environments with potential fields method // International Journal of Applied Engineering Research ISSN 0973-4562 Volume 10, N. 21 (2015) p. 41954-41961.

[6] Финаев В.И., Павленко Е.Н., Заргарян Е.В. Аналитические и имитационные модели: учебное пособие. Таганрог: Изд-во Технологического института ЮФУ, 2007. - 310 с.

[7] Чернухин Ю.В., Пшихопов В.Х., Писаренко С.Н., Трубачев О.Н. Программная среда для моделирования поведения адаптивных мобильных роботов в двухуровневой системой управления // Мехатроника. 2002. №1. – С 26 - 30

[8] Al Yahmedi A.S., El-Tahir E., Pervez T. Behavior based control of a robotic based navigation aid for the blind // Control & Applications. Conf. «CA-2009», Cambridge, UK, July 13-15, 2009.

[9] Rimon E., Koditschek D.E. The construction on analytic diffeomorphisms for star w0rlds // IEEE Intern. Conf. Rob. and Autom. Proc. V. 1. Waschington ets., 1989. PP. 21 – 26/

[10] Платонов Д.А., Кирильченко А.А., Колганов М.А. Метод потенциальных полей в задаче выбора пути: история и перспективы / ИПМ им. М.В. Кельдыша. – М.: 2001. – 32 с.

[11] Ichikawa Y., Fujie M., Ozaki N. On mobility and autonomous properties of mobile robots // Robot. 1984. – pp. 422 – 436.

[12] Altannar Chinchuluun, Panos M. Pardalos, Rentsen Enkhbat, Ider Tseveendorj. Optimization and Optimal Control: Theory and Applications. Publisher: Springer-Verlag, New York, LLC. 2010. - P. 524.

[13] Pshikhopov V.Kh., Ali A.S. Hybrid motion control of a mobile robot in dynamic environments // 2011, International Conference on Mechatronics, ICM 2011. - PP. 540-545.

[14] Смирнов Б.Я., Дунин-Барковский И.В. Краткий курс математической статистики для технических приложений. М: Физматгиз, 1959.

[15] Финаев В.И. Планирование экспериментов и обработка экспериментальных данных: Учебное пособие. - Таганрог: Изд-во ЮФУ, 2013. - 92 с.

[16] Белоглазов Д.А., Гайдук А.Р., Косенко Е.Ю., Медведев М.Ю, Пшихопов В.Х., Соловьев В.В., Титов А.Е., Финаев В.И., Шаповалов И.О. Групповое управление подвижными объектами в неопределенных средах / Под ред. В.Х. Пшихопова. – М.: ФИЗМАТЛИТ. 2015. – 304 с.

Ситуационное управление при взаимодействии подвижных роботов

Городецкий А.Е.
Институт проблем машиноведения РАН
Санкт-Петербург, Россия
g27764@yandex.ru

Курбанов В.Г.
Институт проблем машиноведения РАН, Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения
Санкт-Петербург, Россия
vugar_borchali@yahoo.com

Тарасова И.Л.
Институт проблем машиноведения РАН, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого
Санкт-Петербург, Россия
g27764@yandex.ru

Abstract — Purpose: **statement of the problem of situational control in the group interaction of mobile robots and analysis of the principles of situational control of a group of robots.** ***Results:*** **the generalized mathematical description of a problem of situational control at group interaction of mobile robots is received; various structural approaches to the organization of situational control of group of robots are analyzed. A generalized mathematical description of the planning of situational control of a group of robots is given.** ***Practical importance:*** **the possibility of using the proposed mathematical formulation of the problem of situational control on the example of the passage of a group of robotic cars through the intersection is shown.**

Ключевые слова — ситуационное управление, группы интеллектуальных роботов, окружение выбора, детерминированные, стохастические и не полностью определенные ограничения, синтез алгоритма поиска оптимального решения.

I. Введение

Проблема управления при групповом взаимодействии объектов - это глобальная проблема, актуальная для многих сфер жизни. Везде, где существует некоторая группа живых или технических объектов, которые должны совместными усилиями выполнять некоторую работу или решать некоторую задачу, возникает данная проблема. В технической области она наиболее актуальна в робототехнике. При этом оптимизация взаимодействия группы роботов при выполнении совместной задачи в настоящее время становится все более сложной. Она требует учета сложности и интеллектуальности технических систем управления роботами, обеспечивающими постоянное расширение сферы деятельности подобных робототехнических систем (РТС). В сложных РТС, строящихся на основе умных электромеханических систем (SEMS) [1] необходимо анализировать не только поведение отдельного робота, но и поведение взаимодействующей с ним группой роботов. Рассматриваемые сложные РТС обладают целесообразным поведением, благодаря наличию у SEMS центральной нервной системы [2]. Группой взаимодействующих роботов могут быть транспортные роботы, осуществляющие согласованные движения, роботы сборщики, выполняющие совместные операции, и др..

При создании подобных групп специалисты, прежде всего, сталкиваются с необходимостью оценки способности группы к правильному принятию решений в условиях неопределенности. При этом необходим учет статических и динамических особенностей каждого робота и учет особенностей принятия решения в центральной нервной системе (ЦНС) отдельных роботов. Для этого обычно используется компьютерное моделирования с идентификацией и оценкой принимаемых решений в сложных динамических системах в условиях не полной определенности [3] окружающей среды, которая со временем будет буквально заполнена роботами и всякими «умными» системами. Естественно, что тогда потребуется, чтобы эти роботы и системы искусственного интеллекта имели «инстинкты», позволяющие им избегать столкновений с препятствиями и друг с другом во время движения. Однако, если эти инстинкты будут чересчур сильны, роботы будут слишком медлительными, что отрицательно скажется на эффективности их действий. Для устранения такой ситуации надо разработать алгоритмы, которые будут постоянно стремится найти оптимальный баланс между скоростью и безопасностью. Это позволит роботам всегда действовать с высокой эффективностью.

Кроме того, задача управления группой роботов обладает дополнительной сложностью из-за необходимости обеспечения координации между роботами. В сложных РТС каждый робот должен удовлетворять своим кинематическим и динамическим уравнениям, а также существующим фазовым ограничениям, включая динамические ограничения, обеспечивающие отсутствие столкновений между роботами.

Необходимость сопоставления различных траекторий взаимодействующих роботов (сценариев развития) между собой, а также ограничений со стороны практической реализуемости алгоритмов обработки данных об объектах и среде приводят к тому, что область определения характеристик состояния тем или иным способом дискретизируется. Например, она переводится в логическую форму за счет фаззификации данных [4]. Затем они анализируется с использованием алгебраизации логических выражений [5,6] и оптимизируются за счет методов математического программирования в порядковых шкалах или обобщенного математического программирования [7].

Создание и развитие систем ситуационного управления требует больших затрат ресурсов на сбор сведений об объектах и среде управления, их динамики, способах управления, а также на систематизацию этих

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ № 16-29-04424, 18-01-00076, 19-08-00079

©2019 ИПУСС РАН, СамГТУ, IEEE

сведений в рамках семиотической модели. Поэтому считается, что метод ситуационного управления целесообразно применять только в случаях, когда другие методы формализации приводят к задаче слишком большой (для практической реализации) размерности.

Следует отметить, что разработанная учеными технология управления в настоящее время не гарантирует абсолютной безопасности движения роботов, что подтверждается несколькими инцидентами, произошедшими во время испытаний. Существующие технологии управления для автомобилей так же не гарантируют этого. Они лишь стремятся свести к минимуму вероятность столкновения.

"Нам не доводилось еще наблюдать скоплений из сотен и тысяч автомобилей-роботов на дорогах» – рассказывает Магнус Эгерштедт, – «Существующие системы управления такими автомобилями весьма консервативны, они не позволят автомобилю сдвинуться с места в случае наличия даже малейшей опасности. Все это приведет к тому, что на дорогах, по которым будут передвигаться автомобили-роботы, постоянно будут возникать заторы и пробки, ликвидировать которые не смогут самостоятельно даже самые высокоинтеллектуальные автоматические системы» [8].

II. Постановка задачи управления движением группы роботов

При решении задач управления групповым взаимодействием роботов большое внимание уделяется вопросам их самоорганизации и поддержания гомеостазиса внутри группы. Например, решению задач формирования формаций [9], отработки согласованных движений [10], совместного поиска и транспортировки объектов [11,12] и др. Однако рассматриваемые в этих задачах механизмы не гарантируют полноту инструментария, который необходим для решения всех задач, которые могут ставиться перед группой. Необходим еще один уровень управления, который являлся бы интерфейсом между группой и оператором, ставящим целевые задачи [13,14], и который можно отнести к оптимизационным задачам ситуационного управления [15,16]. При этом оператором может быть не только человек, но и компьютерная программа, принимающая решения.

Рассматривается задача перевода группы роботов $A = \{a_1, a_2, ..., a_n\}$ размещенных в момент времени t_0 в точках $S = \{s_1, s_2,..., s_n\}$ окружающего ограниченного пространства $L^3 \subset E^3$, (E^3- трехмерное Эвклидово пространство) в целевые точки $F = \{f_1, f_2,..., f_n\}$ этого пространства к моменту времени t_f за минимальное время

$$T = t_f - t_0 \to \min \quad (1),$$

при минимальной вероятности столкновения роботов

$$P_A \to min \quad (2).$$

Обычно при использовании различных математических методов оптимизации условие (2) заменяется неравенством вида

$$\sum_{i,j} m_{ij}(t_k) \le M \quad (3),$$

где: M – максимально допустимое число столкновений, i, j – номера роботов из чисел от 1 до n ($i \ne j$), k – номер момента времени из промежутка времени T, значение $m_{ij}(t_k)$ определяется из логического выражения:

«если в момент времени t_k траектория движения r_i робота a_j пересекается с траекторией движения r_j робота a_j, то есть $r_i \cap r_j \ne 0$, то $m_{ij}(t_k) = 1$, иначе $m_{ij}(t_k) = 0$»

Поиск решения поставленной задачи производиться в окружении выбора, которое меняется в течении времени t, то есть является динамическим $O(t)$. Его можно разбить на слои $O(t_k)$ с некоторым постоянным или переменным шагом h_k :

$$O(t) = \{O(t_0), \ldots, O(t_k), \ldots, O(t_f)\} \quad (4).$$

Каждый слой $O(t_k)$ (k=0, 1,…[t_f / h_k]) содержит окружающее пространство L^3, разбитое на ячейки $e_q(t_k)$ с постоянными, либо переменными шагами h_x, h_y, h_z по осям X, Y, Z. Здесь q – номер ячейки, q = 1,2,…,Q .

$$O(t_k) = \{e_1(t_k), e_2(t_k),\ldots, e_Q(t_k)\} \quad (5).$$

Каждая ячейка $e_q(t_k)$ характеризуется наличием, либо отсутствием роботов a_i, и препятствий $B_i(t_k)$, в виде: запрещающих движения знаков $v_i(t_k)$, указателей светофоров $w_i(t_k)$, дорожной разметки $\gamma(t_k)$ и др..

$$B_i(t_k)=\{ v_i(t_k), w_i(t_k), \gamma(t_k),\ldots.\} \quad (6).$$

Кроме того каждая ячейка характеризуется матрицами взаимодействия робота со средой $G(t_k)=\{G_1(t_k), G_2(t_k),..., G_\iota(t_k)\}$, описывающими влияние среды ячейки на динамическое состояние робота, а совокупность ячеек - правилами движения типа: если – то.

Сложность поставленной задачи, требующей использования методов ситуационного управления, заключается в том, что параметры и функции, характеризующие ячейки $e_q(t_k)$, могут быть детерминированными, стохастическими, либо не полностью определенными.

Примером поставленной задачи может быть задача проезда группы роботов-автомобилей через перекресток.

В этом случае в окрестности перекрестка выделяется окружающее пространство L^3 размерностью L_x, L_y, L_z по осям X, Y, Z, которое разбивается в момента начала управления t_0 на ячейки $e_q(t_o)$ с постоянными шагами h_x, h_y, h_z по осям X, Y, Z . В точках $S=\{s_1, s_2,..., s_n\}$ окружающего пространства L^3 и в соответствующих им ячейках располагаются роботы-автомобили $A=\{a_1,a_2,...,a_n\}$. Каждый из них характеризуется скоростью движения, ускорением и целевыми точками $F=\{f_1, f_2,\ldots, f_n\}$ этого пространства, куда надо прибыть к моменту времени t_f за минимальное время T. Причем

число возможных столкновений роботов-автомобилей должно удовлетворять неравенству (3).

Размеры ячеек (шаги h_x,h_y,h_z) выбираются больше габаритов наибольшего из роботов-автомобилей. Каждая ячейка $e_q(t_k)$ характеризуется наличием, либо отсутствием роботов-автомобилей a_i, и препятствий $B_i(t_k)$. Кроме того каждая ячейка характеризуется взаимодействием робота-автомобиля со средой, которое можно описать матрицами $G(t_k)=\{G_1(t_k)\ G_2(t_k),..., G_v(t_k)\}$, описывающими влияние среды ячейки (дорожное покрытие, влажность, температура и др.) на динамическое состояние робота. В линейной постановке это передаточные функции робота-автомобиля по возмущению. Совокупность ячеек характеризуется правилами движения $R_m(t_k)$ через перекресток типа: если – то. Эти правила определяются типом перекрестка. Например:

При проезде через перекресток

Если: Светофора нет, дополнительных знаков нет, каждая улица имеет 1 полосу движения, надо повернуть неправо, впереди до перекрестка имеется робот-автомобиль и он движется со скоростью больше, чем управляемый,

То: Управляемый робот-автомобиль продолжает движение к перекрестку (переходит в следующую ячейку) без торможения.

Окружение выбора $O(t)$, содержащее ячейки и роботы-автомобили меняется в течении времени t, то есть является динамическим. Его можно разбить на слои $O(t_k)$ с некоторым постоянным или переменным шагом h_k, зависящим от динамических свойств роботов-автомобилей и возмущающих свойств среды ячеек. Тогда оптимизационная задача (1) с ограничениями (3) и другими логическими, логико-вероятностными и логико-лингвистическими ограничениями может решаться последовательно для каждого слоя окружения выбора $O(t)$. Однако такой подход не гарантирует минимизацию времени проезда через перекресток всей группы автомобилей $A=\{a_1, a_2, ..., a_n\}$, так как окружение выбора на каждом последующем шаге зависит от принятых решений на предыдущих шагах и может меняться с течением времени.

III. Принципы ситуационного управления

В рассмотренной постановке задачи возможны следующие структурные подходы к организации ситуационного управления группой роботов: централизованное управление роботами a_i (i=1,2,…,n) с оператором K (рис.1), децентрализованное управления роботами a_i без выделения робота лидера (рис.2), децентрализованное управления роботами a_i с выделением робота лидера $aL \in A$ (рис.3), комбинированное управление роботами a_i с оператором K без выделения робота лидера aL (рис.4) и с выделением робота лидера aL (рис.5).

При централизованном управлении с оператором необходимо осуществление следующих функций [13]:

- интерфейс между группой роботов и оператором;
- создание базы данных и базы правил об окружающей среде и роботах;
- декомпозиция поставленной задачи на подзадачи;
- построение совместного плана действий группы роботов;
- распределение зон ответственности между роботами.

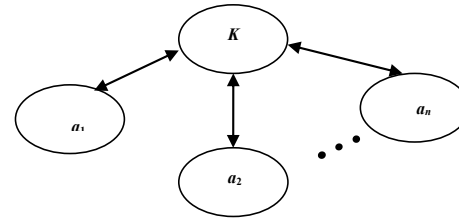


Рис. 1. Централизованное управление

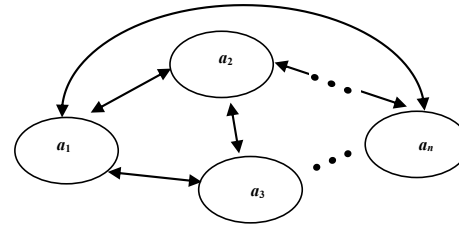


Рис. 2. Децентрализованное управление

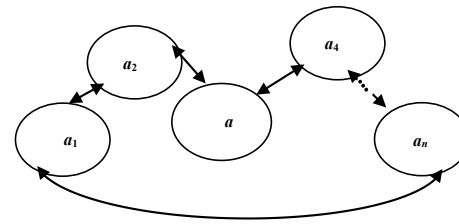


Рис. 3. Децентрализованное управление с лидером

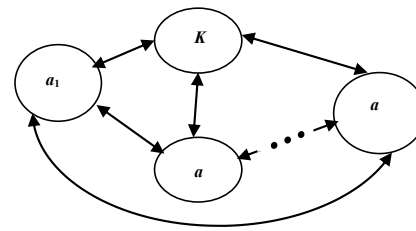


Рис. 4. Комбинированное управление с координатором

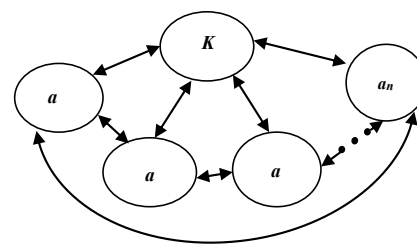


Рис. 5. Комбинированное управление с координатором и лидером

Большинство из этих функций характерны и для любой другой структуры управления. Для того, что бы рассматриваемая структура гарантированно обладала свойством полноты (т.е. если цель достижима, то последовательность действий к цели будет найдена), необходим доступ всех роботов группы к базе данных и знаний оператора. Это накладывает определенные ограничения на время доступа к общей базе каждого члена группы и требует вычисления и динамического перераспределения приоритетов на последовательность управления членами группы роботов.

При децентрализованном управлении без выделения лидера каждый робот занимается логическим выводом [17]. При этом будет затруднен или невозможен доступ к базам данных и знаний других членов группы, что будет приводить к нарушению координации движений членов группы. Кроме того возможно наступление коллизий при независимом принятии решений каждым членом группы.

Равнозначность ролей в группе при децентрализованном управлении устраняется при выборе лидера [18]. В этом случае лидер координирует движения членов группы и устраняет коллизии, а остальные роботы играют вспомогательную роль удаленных баз данных и знаний и ретрансляторов запросов. При этом эффективность управления движением члена группы будет сильно зависеть от степени его удаленности от лидера, а всей группы от количества членов группы.

При комбинированном управлении с оператором и без выделения робота лидера члены группы могут обмениваться информацией о собственном состоянии и планировании движений, что позволяет им анализировать поступающие от оператора команды или планы движений и отвергать недопустимые, приводящие к коллизиям с соседями. Однако равноправие членов группы требует вмешательства оператора при установке приоритетов для устранения конфликтов, что может приводить к замедлению принятия решений в группе.

При комбинированном управлении с оператором и с выделением робота лидера члены группы могут так же обмениваться информацией о собственном состоянии и планировании движений, но наличие лидера позволяет устранять противоречия и устанавливать приоритеты внутри группы с помощью лидера. В этом случае повышается безопасность управления группой, но остается зависимость эффективности управления коллизиями от степени удаленности конфликтующих роботов от лидера.

При любом структурном подходе к организации ситуационного управления группой роботов необходимо роботам совместно собирать информацию о параметрах окружающей среды, о текущем состоянии отдельных роботов группы, о планируемых действиях членов группы роботов и др. После сбора информации в общем случае окружение выбора $O(t_k)$ может быть охарактеризовано в некоторый момент времени t_k следующим кортежем:

$$O(t_k)=<A(t_k),S(t_k),F(t_k),\sum_{i,j} m_{ij}(t_k),M,B_i(t_k),G(t_k),R_m(t_k)> \quad (7).$$

Планирование ситуационного управления группой роботов заключается:

в разделении групповой задачи на подзадачи:

$$O(t_0) \underset{U(t_1)}{\Rightarrow} O(t_1)\dots O(t_{f-1}) \underset{U(t_f)}{\Rightarrow} O(t_f) \quad (8),$$

$$U(t_k)=\{u_{a_1}(t_k),u_{a_2}(t_k),\dots u_{a_n}(t_k)\} \quad (9),$$

где: $u_{a_i}(t_k)$ – управляющее воздействие, подаваемое на a_i робот в момент времени t_k, k=0,1,…f,

в распределении между роботами группы решений подзадач так, что бы решение групповой задачи осуществлялось за минимальное время с учетом имеющихся ограничений, в том числе и на информационное взаимодействие.

В общем виде решением групповой задачи управления будет синтез алгоритма поиска, т.е. упорядоченного множества $\varpi \subset \Omega$ из множества альтернативных комбинаций управлений $U(t_k)$ лучших сочетаний законов управления каждого члена группы роботов $u_{a_i}(t_k) \in U(t_k)$ на основе оценок качества Ψ, построенных с учетом системы предпочтений E и окружения выбора $O(t_k)$.

$$\varpi \subset 2^U x\, \Psi^U \quad (10),$$

где: 2^U – обозначает множество всех подмножеств U, а Ψ^U – множество всех оценок качества (кортежей длиной от 2 до $|U|$), x- знак Декартова произведения.

IV. Заключение

Везде, где существует некоторая группа сложных интеллектуальных технических объектов, которые должны совместными усилиями выполнять некоторую работу или решать определенную задачу, возникает проблема поиска оптимального алгоритма ситуационного управления.

Естественное ограничение на время синтеза алгоритма поиска оптимального решения в режиме реального времени накладывает ограничения на число членов управляемой группы и расстояния между ними, связанные с динамикой окружения выбора и динамикой управляемости самих роботов.

Значительно облегчить и ускорить планирование ситуационного управления группой роботов позволяет классификация ситуаций, которая состоит в отнесении текущей ситуации к одному или нескольким классам, соответствующим некоторому управлению. Если полученное решение задачи классификации единственно и выбранный класс ситуаций требует некоторого определенного воздействия на объекты, то на объекты подаются связанные с этим классом управления. При этом должна соблюдаться одна из предпосылок эффективного применения ситуационного подхода: количество возможных управляющих решений существенно меньше количества возможных ситуаций

[19]. В противном случае требуется решение задачи анализа текущей ситуации в окружении выбора $O(t_k)$, которая превращается в задачу оценки предшествующего управления с целью принятия решения об изменении плана ситуационного управления.

Корректировка плана ситуационного управления на каждом последующем шаге не обязательно приводит к построению оптимального плана, так как в совокупности выбранный пошаговый путь к цели не будет гарантированно оптимальным (процесс управления может быть не Марковским). Поэтому необходимо перед принятием решения о плане ситуационного управления провести моделирование управления группой роботов, например на основе нечеткого математического моделирования плохо формализуемых процессов и систем [4], которое позволяет при пошаговом построении пути возвращаться назад и отбрасывать не эффективные участки пути (см. рис.6, где жирным обозначен оптимальный путь).

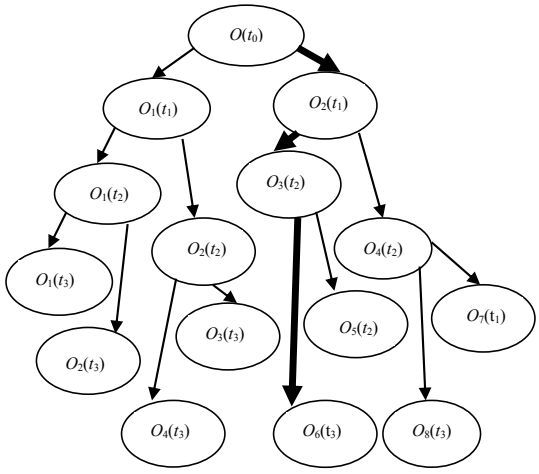


Рис. 6. Пример поиска оптимального решения

Естественно такой поиск оптимального плана ситуационного управления на основе моделирования требует от системы управления дополнительных вычислительных мощностей и затрат времени. Существенный прогресс в этом направлении может обеспечивать распараллеливание вычислении, т.е. одновременный проход всех возможных путей плана ситуационного управления с последующим принятием решения об оптимальности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

[1] Gorodetskiy Andrey E. (Ed.) Smart Electromechanical Systems. In: Studies in Systems, Decision and Control, Vol. 49 Springer International Publishing Switzerland, 2016. 277 p. http://dx.doi/org/ 10.1007/978-3-319-27547-5

[2] Andrey E. Gorodetskiy, Vugar G. Kurbanov. Smart Electromechanical Systems: The Central Nervous Systems. Springer International Publishing, ISBN978-3-319-53326-1, 2017. 270p. http://dx.doi/org/ 10.1007/978-3-319-53327-8

[3] Городецкий А. Е., Курбанов В. Г., Тарасова И. Л. Принятие решений в центральной нервной системе робота// Информационно-управляющие системы. 2018. № 1. С. 21–30. doi:10.15217/issn1684-8853.2018.1.21

[4] Городецкий А. Е., Тарасова И. Л. Нечеткое математическое моделирование плохо формализуемых процессов и систем. / СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2010. 336 с.

[5] Андрей Городецкий Основы теории интеллектуальных систем управления. / LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH@Co. KG, 2011, 313 с.

[6] Kulik B.A., Fridman A.Ya. Logical Analysis of Data and Knowledge with Uncertainties in SEMS. In: Studies in Systems, Decision and Control, Vol. 49, Andrey E. Gorodetskiy (Eds): Smart Electromechanical Systems. Springer International Publishing Switzerland, 2016. 277 pp. Pp. 45-59. http://dx.doi/org/ 10.1007/978-3-319-27547-5

[7] Юдин Д. Б. Вычислительные методы теории принятия решений. М.: Наука, 1989. – 320 с.

[8] Sing G.Lee, Yancy Diaz-Mercado, Magnus Egerstedt. Multirobot Control Using Time-Varying Density Functions. IEEE Transactions on Robotics, 2015, Vol.31, Issue 2, pp.489-493. DOI: 10.1109/TRO.2015.2397771.

[9] Rubenstein M., Ahler C., Nagpal R., Kilobot. A low cost scalable robot system for collective behaviors./ Proc. IEEE Int. Conf. Robot. Autom.2012

[10] Mondada F., Gambardella L. M., Floreano D., Dorigo M. The cooperation of swarm-bots: Physical interactions in collective robotics./ IEEE Robot. Autom. Mag. 2005. Vol. 12, No 2

[11] Dorigo M., Floreano D., Gambardella L. M., Mondada F., Nolffi S., Baaboura T., Birattari M., et al Swarmanoid: a novel concept for the study of heterogeneous robotic swarms./ IEEE Robot. Autom. Mag. 2013. Vol. 20, No. 4

[12] Andrey E. Gorodetskiy and Irina L. Tarasova. Situational Control a Group of Robots Based on SEMS./ In Andrey E. Gorodetskiy, Irina L. Tarasova. Smart Electromechanical Systems: Group Interaction. Studies in Systems, Decision and Control. Volume 174 Springer, 337p. https://doi.org/10.1007/978-3-319-99759-9

[13] Воробьев В. В. Логический вывод и элементы планирования действий в группах роботов./ Труды конф. КИИ-2018, том.1, с.88-96

[14] Иванов Д. Я., Шабанов И. Б. Модель применения коалиций интеллектуальных мобильных роботов при ограниченных коммуникациях. / Труды конф. КИИ-2018, том.1, с.97-105

[15] Поспелов Д. А. Ситуационное управление: Теория и практика.- М.: Наука, 1986. - 286с.

[16] Кунц Г., О'Доннел С. Управление: системный и ситуационный анализ управленческих функций.- М.: Прогресс, 2002.-588 с.

[17] Карпов В. Э. Управление в статических роях. Постановка задачи.// У11–я Международная научно-практическая конференция «Интегрированные модели и мягкие вычисления в искусственном интеллекте». 2013

[18] Воробьев В. В. Алгоритмы выбора лидера и кластеризации в статическом рое роботов./ Механика, автоматизация, управление. 2017. Т. 18, № 3

[19] Fridman A. Ya. SEMS-Based Control in Locally Organized Hierarchical Structures of Robots Collectives./ Gorodetskiy A. E., Kurbanov V. G. (eds) Smart Electromechanical Systems: The Central Nervous System, Studies in Systems, Decision and Control, Vol. 95. Springer International Publishing Switzerland, 2017, p 31-47

Синтез системы управления балансирующим роботом на основе второго метода Ляпунова с адаптивным к величине уставки шагом

Глущенко А.И.
Кафедра автоматизированных и информационных систем управления Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) НИТУ «МИСиС»
Старый Оскол, Россия
a.glushchenko@sf-misis.ru

Петров В.А.
Кафедра автоматизированных и информационных систем управления Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) НИТУ «МИСиС»
Старый Оскол, Россия
79040882508@ya.ru

Ласточкин К.А.
Кафедра автоматизированных и информационных систем управления Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) НИТУ «МИСиС»
Старый Оскол, Россия
lastconst@yandex.ru

***Abstract* — the scope of this research is to develop an adaptive control system of a two-wheeled balancing robot based on a reference model and the second Lyapunov approach. Solving this problem, the following questions are considered: 1) a mathematical model of the robot reference dynamics is developed, 2) using the optimal control theory, a calculation of LQ controller parameters is made, 3) applying the second Lyapunov method, an algorithm to adjust the parameters of such controller is proposed. The learning rate is calculated in accordance with the proposed formula and depends on the current and previous values of the robot state coordinates setpoint. A real balancing robot and its model are used to conduct experiments, over the course of which the mass of the robot is increased by several times. The obtained results show that, despite the robot non-stationarity, the developed adaptive control system is able to follow the reference model output keeping the transient quality close to the desired one.**

Ключевые слова — система адаптивного управления, метод Ляпунова, двухколесный балансирующий робот, LQ-регулятор.

I. Введение

В исследовании рассматривается задача управления двухколесным балансирующим роботом. Объекты данного класса являются неустойчивыми, многомерными, нестационарными и характеризуются наличием нескольких видов нелинейностей [1-3]. При синтезе регуляторов для эффективного управления роботом необходимо учитывать эти особенности. Существующие способы управления указанным объектом, в подавляющем большинстве случаев, предполагают, в первую очередь, получение его линеаризованной модели, а затем – расчет регулятора методами оптимального управления [4, 5]. При этом параметры выбранного алгоритма управления в дальнейшем не корректируются [6]. Подобные методы гарантируют получение требуемых по качеству переходных процессов только в малой окрестности точки, в которой производилась линеаризация (во многих случаях – это точка неустойчивого равновесия) [7]. Более того, подобные регуляторы не могут в полной мере компенсировать нестационарность рассматриваемого объекта (изменение массы, центра масс робота и т.д.). При этом для широкого внедрения балансирующих роботов для решения прикладных задач необходимо гарантировать эффективное управление с точки зрения качества переходных процессов и энергопотребления в широком диапазоне изменения параметров таких объектов [8, 9].

Добиться данной цели можно на основе использования методов адаптивного управления [8]. Исключив из рассмотрения методы, предполагающие, что модель объекта достоверно известна, так как идентификация балансирующего робота в реальном времени представляет собой достаточно сложную задачу, рассмотрим подходы, базирующиеся на применении эталонной модели [10]. Балансирующий робот – это изначально неустойчивый объект, поэтому первичной является задача его стабилизации. В связи с этим, перспективным является применение метода адаптивного управления, основанного на втором методе Ляпунова [11]. В результате анализа существующих исследований были найдены работы, посвященные использованию данного метода для стабилизации летательных аппаратов и решения задачи Wing Rock [12, 13].

В данной работе упомянутый подход предлагается применить на балансирующем роботе, что требует его адаптации и усовершенствования. В частности, полученный в данном исследовании регулятор корректирует свои коэффициенты в обоих режимах функционирования (стабилизация и следование за уставкой), а не только в первом из них, а также способен работать с неустойчивыми объектами.

Синтез такого адаптивного регулятора включает следующие этапы: 1) построение математической модели робота по его известным физическим характеристикам, 2) расчет номинальных параметров LQ-регулятора для такой модели, отражающей номинальное состояние робота, 3) разработка системы настройки упомянутого регулятора с адаптивным относительно величины задания шагом на основе метода Ляпунова, не требующей последующей повторной идентификации робота. Рассмотрим их подробнее.

II. Описание балансирующего робота

Общий вид балансирующего робота, для которого будет синтезирована адаптивная система управления, представлен на Рис.1. Его математическая модель была получена на базе второго метода Эйлера-Лагранжа [14] и после линеаризации в нулевой точке (неустойчивого равновесия) может быть записана в виде (1).

Данное исследование проведено при финансовой поддержке Российского Фонда Фундаментальных Исследований (№ 18-47-310003-р_а).

©2019 ИПУСС РАН, СамГТУ, IEEE

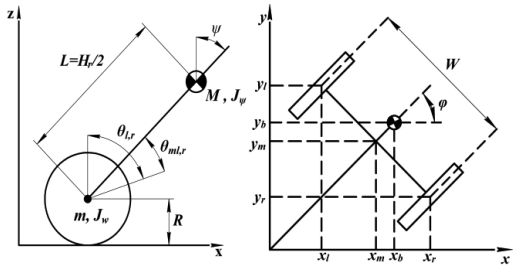


Рис. 1. Схема кинематики робота

$$\begin{cases} ((2m+M)R^2+2J_w+2n^2J_m)\ddot{\theta}+ \\ +(MLR-2n^2J_m)\ddot{\psi}=\alpha(v_l+v_r)-2(\beta+f_w)\dot{\theta}+2\beta\dot{\psi}, \\ (MLR-2n^2J_m)\ddot{\theta}+(ML^2+J_\psi+2n^2J_m)\ddot{\psi}- \\ -MgL\psi=\alpha(v_l+v_r)+2\beta\dot{\theta}-2\beta\dot{\psi}, \\ \left[\frac{1}{2}mW^2+J_\varphi+\frac{W^2}{2R^2}(J_w+n^2J_m)\right]\ddot{\varphi}= \\ =\frac{W}{2R}\alpha(v_l+v_r)-\frac{W^2}{2R^2}(\beta+f_w)\dot{\varphi}. \end{cases} \quad (1)$$

α и β определяются следующим образом: $\alpha = n \cdot K_t / R_m$; $\beta = n \cdot K_t \cdot K_b / R_m + f_m$. Натурные эксперименты будут проведены на базе робота LEGO EV3. Дальнейшее описание параметров содержит численные значения, соответствующие данному роботу. L – расстояние от центра масс до оси колеса, M – масса робота (0.8 кг), R – радиус колеса (0.027 м), H_r – высота объекта (0.21 м), , W – ширина робота (0.105 м), m – вес колеса (0.024 кг), $\theta_{l,r}$– угол поворота колеса (левого / правого), ψ – угол отклонения тела робота от нормали, $\theta_{ml,r}$ – угол поворота электропривода (левого / правого), φ – угол поворота тела робота от нормали $J_\varphi = 0.083M \cdot (W^2 + D^2)$ – момент инерции тела робота; $J_\psi = 0.33ML^2$ – момент инерции тангажа, J_m – момент инерции двигателя постоянного тока (10^{-5} кг·м^2); $J_w = 0.5mR^2$ – момент инерции колеса, n – передаточное число (1); K_t – постоянная момента двигателя постоянного тока (0.317 Н·м/А); K_b – постоянная противо-ЭДС двигателя постоянного тока (0.468 В·с/рад); f_w – коэффициент трения между колесом и поверхностью (ноль); f_m – коэффициент трения между телом и двигателем постоянного тока (0.0022); R_m – сопротивление двигателя постоянного тока (6.69 Ом), v_r, v_l – напряжение на левом и правом электродвигателях.

Математическая модель робота (1) после ряда преобразований может быть записана в форме (2).

$$\begin{cases} \dot{x}=Ax+Bu; \\ y=Cx. \end{cases} \quad (2)$$

где $A \in R^{6\times6}$, $B \in R^{6\times2}$, $C \in R^{6\times}6$ (полностью матрицы представлены в [15]). Координатами состояния, описывающими объект, являются θ *(theta)* и θ' *(theta dot)* – угол и скорость поворота колёс *($\theta = 0.5(\theta_l+\theta_r)$)*, ψ *(psi)* и ψ' *(psi dot)* – угол отклонения и скорость отклонения тела робота от нормали, φ *(phi)* и φ' *(phi dot)* – угол и скорость поворота робота относительно нормали. Целью управления рассматриваемым объектом является стабилизации неустойчивой динамики для ψ и ψ' при одновременном следовании за заданием по θ, θ' и φ, φ'.

III. Синтез адаптивного регулятора

Синтез адаптивного регулятора состоит из следующих основных частей: получение описания эталонной динамики робота, вывод вида закона управления, синтез законов адаптации его параметров и выбор значения шага адаптации.

A. Расчет LQ-регулятора и эталонной модели

Эталонная модель (ЭМ) во многих случаях рассчитывается на основе выбранных желаемых корней характеристического уравнения замкнутого контура, исходя из необходимого качества переходных процессов и запаса устойчивости [10, 16]. Проблема применения такого подхода для балансирующего робота заключается в том, что его описание включат шесть координат состояния, а также два управления. Фактически, указанные выше требования по качеству и устойчивости должны быть определены сразу по всем координатам, что затрудняет применение рассматриваемого метода в данном случае. Поэтому предлагается применить другой подход.

Указанные выше значения для параметров робота, приведенных в (1), являются номинальными и достаточно точно измерены. Эти значения задают номинальное состояние объекта. Переходные процессы, возникающие для объекта в номинальном состоянии, являются эталонными относительно переходных процессов в любом другом его состоянии. Однако рассматриваемый робот изначально неустойчив и требует стабилизации неустойчивой динамики. Поэтому предлагается определить ЭМ для робота как замкнутую систему, включающую модель робота в номинальном состоянии (2) и, например, LQ-регулятор, параметры которого вычислены для решения задачи стабилизации выходов такой модели. Она описывается тремя углами θ, ψ, φ и их производными θ', ψ', φ'. Соответственно, построенный LQ-регулятор является статическим (пропорционально – дифференциальным). С целью увеличения порядка астатизма системы управления в модель робота добавлена интегральная координата θ_{int}. Целевым критерием при расчете матрицы коэффициентов LQ-регулятора является минимизация квадратичного критерия (3). Сам расчет производится на основе модели (2) с номинальными параметрами.

$$J=\frac{1}{2}\int_0^\infty (e^TQe+u^TRu)dt \to min \quad (3)$$

Матрицы $Q(7,7)$ и $R(2,2)$ являются единичными. Вектор e – это вектор из семи элементов, содержащий рассогласования между заданиями и координатами состояния. Тогда закон управления определяется как (4).

$$u=-R^{-1}B^TPe=Ke, \quad (4)$$

Для нахождения значений элементов матрицы P производится решение уравнения Риккати (5).

$$PA + A^T P + Q - PBR^{-1}B^T P = 0 \qquad (5)$$

В результате расчета получена следующая матрица коэффициентов регулятора $K \in R^{2\times 7}$:

$$K = \begin{bmatrix} 0.6437 & 1.2418 & 59.3784 & 1.3906 & 7.1009 & 0.6770 & 0.1790 \\ 0.6437 & 1.2418 & 59.3784 & 1.3906 & 7.1009 & -0.6770 & -0.1790 \end{bmatrix}$$

ЭМ представляет собой систему (6) для замкнутого контура «объект + регулятор». y_m – выходы ЭМ.

$$\begin{cases} \dot{x}_m = Ax_m + Bu \\ y_m = Cx_m \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \dot{x}_m = Ax_m + BKe \\ y_m = Cx_m \end{cases}$$
$$\Rightarrow \begin{cases} \dot{x}_m = (A - BK)x_m + BKr \\ y_m = Cx_m \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \dot{x}_m = A_m x_m + B_m r \\ y_m = Cx_m \end{cases} \qquad (6)$$

Здесь $r \in R^7$ – вектор задающих воздействий по всем семи координатам состояния объекта.

B. Вывод вида закона управления и адаптации его параметров

Произведем вычитание уравнения, описывающего робот, (2) из уравнения ЭМ (6). После этого в правой части полученного выражения выполним добавление и вычитание $A_m x$.

$$\dot{e}_m = A_m x_m + B_m r - Ax - Bu + (A_m x - A_m x) \qquad (7)$$

Формулу (7) можно переписать в виде (8).

$$\dot{e}_m = A_m e_m + (A_m - A)x + B_m r - Bu \qquad (8)$$

Задача синтеза закона управления разрешима, если переходные процессы по выходам робота и ЭМ совпадут, т.е. $e_m=0$. С учетом данного условия выразим управляющее воздействие u из (8).

$$Bu = (A_m - A)x + B_m r$$
$$u^* = B^{\dagger}(A_m - A)x + B^{\dagger}B_m r = k_x^* x + k_r^* r \qquad (9)$$

Здесь $B^{\dagger}=(B^TB)^{-1}B^T$ – псевдообратная матрица, $k^*_x=B^{\dagger}(A_m - A)$ и $k^*_r=B^{\dagger}(B_m)$ – идеальные значения коэффициентов для алгоритма управления (9). Однако он нереализуем на практике, поскольку требует знания значений элементов матриц A и B на каждом такте работы системы. Поэтому определим реальный закон управления (10).

$$\hat{u} = \hat{k}_x x + \hat{k}_r r \qquad (10)$$

Получим выражение (11), подставив (10) в (8) и вынеся B за скобки.

$$\dot{e}_m = A_m e_m + B\left(B^{\dagger}(A_m - A)x + B^{\dagger}B_m r - \hat{k}_x x - \hat{k}_r r\right)$$
$$\Updownarrow \qquad (11)$$
$$\dot{e}_m = A_m e_m + B\left(\tilde{k}_x x + \tilde{k}_r r\right)$$

В (11) $\tilde{k}_x = k_x^* - \hat{k}_x$ и $\tilde{k}_r = k_r^* - \hat{k}_r$ – рассогласования между идеальными и реальными значениями параметров закона управления.

Определим функцию Ляпунова в виде (12). Она зависит от параметрического возмущения (рассогласования между y и y_m) e_m, и указанных выше рассогласований по параметрам регулятора $\dot{\tilde{k}}_x$ и $\dot{\tilde{k}}_r$.

$$V = e_m^T H e_m + |B|\left(\frac{1}{2}\tilde{k}_x^T \Gamma_1 \tilde{k}_x + \frac{1}{2}\tilde{k}_r^T \Gamma_2 \tilde{k}_r\right) \qquad (12)$$

В данном выражении $\Gamma_1 > 0$ и $\Gamma_2 > 0$ – диагональные матрицы. Значения элементов матрицы H определяются путем решения уравнения Ляпунова (13). В нем A_m – Гурвицева матрица, определенная в ЭМ (6), а $I > 0$ – единичная матрица.

$$A_m^T H + HA_m = -I \qquad (13)$$

Производная выбранной функции Ляпунова записывается как:

$$\dot{V} = e_m^T\left(HA_m + A_m^T H\right)e_m + 2e_m^T HB\left(\tilde{k}_x x + \tilde{k}_r r\right) +$$
$$+ |B|\left(\tilde{k}_x^T \Gamma_1 \dot{\tilde{k}}_x + \tilde{k}_r^T \Gamma_2 \dot{\tilde{k}}_r\right) \qquad (14)$$

Она будет строго меньше нуля лишь в том случае, если справедливым является выражение (15).

$$2e_m^T HB\left(\tilde{k}_x x + \tilde{k}_r r\right) + |B|\left(\tilde{k}_x^T \Gamma_1 \dot{\tilde{k}}_x + \tilde{k}_r^T \Gamma_2 \dot{\tilde{k}}_r\right) = 0 \qquad (15)$$

Оно включает в себя переменные $\dot{\tilde{k}}_x$ и $\dot{\tilde{k}}_r$. Найти его решение возможно, в частности, если значения указанных переменных совпадают. В этой связи для продолжения синтеза адаптивного регулятора были приняты нижеприведенные допущения:

1) $\Gamma = \Gamma_1 = \Gamma_2$;

2) $k_r^* = -k_x^*$ и $\hat{k}_r = -\hat{k}_x$, а следовательно $\tilde{k}_r = -\tilde{k}_x$.

Учтя указанные допущения, уравнение (15) может быть представлено как (16). При этом закон управления и формулы для настройки его параметров примут вид (17) и (18).

$$-2e_m^T HB\tilde{k}_x e + 2|B|\tilde{k}_x^T \Gamma \dot{\tilde{k}}_x = 0 \qquad (16)$$

$$\hat{u} = \hat{k}_x e \qquad (17)$$

$$\dot{\hat{k}}_x = -sgn(B)\Gamma^{-1} e_m^T HBe \qquad (18)$$

В данном случае $\dot{\tilde{k}}_x = -\dot{\hat{k}}_x$. Основываясь на вышеприведенных преобразованиях, возможно сделать вывод о том, что законы (17) и (18) гарантируют устойчивость балансирующего робота, поскольку

обеспечивается: 1) отрицательность $\dot{V}$, 2) факт того, что $e_m \to 0$ при $t \to \infty$. При этом предполагается, что в начальный момент времени робот находится в номинальном режиме работы. Тогда параметры LQ-регулятора можно инициализировать значениями, полученными при синтезе ЭМ.

C. Адаптация шага к величине уставки

Анализируя алгоритм (18) настройки параметров регулятора, необходимо отметить, что отсутствуют формализованные методы расчета значений элементов положительно определенной матрицы Γ^{-1}, являющейся диагональной и определяющей скорость (величину шага) указанной настройки. Неудачный выбор упомянутых значений может привести: 1) к колебаниям значений координат состояния робота при излишне большом шаге их настройки, 2) длительному времени переходных процессов при слишком малом значении шага. Значения элементов матрицы Γ^{-1} не должны быть постоянными один раз выбранными числами, поэтому в данном исследовании предлагается алгоритм ее перерасчета, учитывающий разницу текущего и прошлого задания по скорости движения робота *theta_dot_ref*. Начальные значения Γ_0^{-1} для элементов матрицы Γ^{-1} были найдены экспериментальными путем (19) для случая, когда цель управления заключается в стабилизации робота с нулевыми заданиями по всем координатам.

$$\Gamma_0^{-1} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0{,}9 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 251000 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0{,}043 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 15 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 4 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 4 \end{bmatrix} \quad (19)$$

Затем была определена зависимость (20) Γ^{-1} от разницы текущего и предшествующего значений задания *theta_dot_ref*.

$$\Gamma^{-1} = \frac{\Gamma_0^{-1}}{\gamma \cdot \left(r - r_{old}\right)^2} \quad (20)$$

где, r – текущее значение задания *theta_dot_ref*; r_{old} – значение *theta_dot_ref* для предшествующего переходного процесса; $\gamma = 5$ – эмпирически определенный коэффициент.

Таким образом, величина шага настройки параметров регулятора вычисляется по следующему алгоритму: если балансирующий робот только что был запущен, и задание по всем координатам равно нулю (происходит его первичная стабилизация), то $\Gamma^{-1} = \Gamma_0^{-1}$, для всех остальных переходных процессов Γ^{-1} рассчитывается по (19). Γ^{-1} рассчитывается один раз в начале переходного процесса и до его завершения не перерасчитывается.

IV. Анализ эффективности работы предложенного адаптивного регулятора

Работоспособность и эффективность предложенного адаптивного регулятора была экспериментально проверена с использованием модели робота в программном пакете Matlab и на реальном роботе, параметры которого приведены в разделе II данной статьи. Для проведения сравнительного анализа эксперименты также были проведены с использованием обычного LQ-регулятора с постоянными коэффициентами, заданными в виде матрицы K, рассчитанной для ЭМ в разделе III данной статьи. Качество управления оценивалось с помощью комплексного критерия Q в виде интеграла от e^2_m за время опыта (для экспериментов на модели робота оно составляло 4 секунды). В течение первых двух из них задания по всем координатам были равны нулю (стабилизация), а для последующих двух секунд задание по координате θ' равнялось единице (слежение).

На модели робота проводился ряд экспериментов, в которых масса робота была увеличена на 0,8 кг (в 2 раза) в четыре раза, в восемь раз, в 14 раз по сравнению с номинальной. Эти опыты должны показать способность разработанной системы сводить переходные процессы объекта к переходным процессам ЭМ и при малых, и при больших изменениях массы объекта.

Таблица 1 содержит значения упомянутого выше критерия качества управления Q для координат θ, θ', ψ, ψ' для опыта на модели робота с использованием LQ-регулятора и предложенного адаптивного регулятора в условиях увеличения массы объекта управления в 2 раза. Критерий Q вычислялся как для режима стабилизации, так и режима отслеживания задания. Амплитудные значения для переходных процессов по координатам φ и φ' составляли порядка 10^{-16}, поэтому сравнение качества работы систем управления по ним не производилось.

ТАБЛИЦА I. Оценка качества управления по интегральному критерию (масса увеличина в 2 раза)

Координата	Значение показателя качества			
	Стабилизация		Слежение	
	LQR	***Адаптивная Система***	***LQR***	***Адаптивная Система***
θ	$9{,}1\cdot10^{-7}$	$8{,}13\cdot10^{-7}$	$5{,}81\cdot10^{-5}$	$2{,}36\cdot10^{-5}$
θ'	$1{,}74\cdot10^{-4}$	$1{,}73\cdot10^{-4}$	$1{,}35\cdot10^{-3}$	$1{,}34\cdot10^{-3}$
ψ	$4{,}1\cdot10^{-9}$	$2{,}87\cdot10^{-9}$	$7{,}2\cdot10^{-8}$	$1{,}8\cdot10^{-8}$
ψ'	$6{,}14\cdot10^{-6}$	$6{,}3\cdot10^{-6}$	$3{,}1\cdot10^{-5}$	$4{,}9\cdot10^{-5}$

По данным, приведенным в таблице, можно сделать вывод, что по большей части координат состояния предложенная адаптивная система позволила снизить значение интегрального критерия Q и при решении задачи стабилизации робота, и для задачи следования за уставкой. Графики изменения координат для данного опыта для обеих систем управления несущественно отличаются друг от друга, поэтому они не приведены в данной работе. Подобные графики будут показаны для случая с более существенным изменением массы робота.

Таблица 2 содержит значения критерия качества управления Q для координат θ, θ', ψ, ψ' для опыта на модели робота с использованием LQ-регулятора и адаптивного регулятора в условиях увеличения массы объекта управления в 14 раз.

ТАБЛИЦА II. ОЦЕНКА КАЧЕСТВА УПРАВЛЕНИЯ ПО ИНТЕГРАЛЬНОМУ КРИТЕРИЮ (МАССА УВЕЛИЧИНА В 14 РАЗ)

Координата	Значение показателя качества			
	Стабилизация		Слежение	
	LQR	*Адаптивная система*	*LQR*	*Адаптивная система*
θ	$1{,}14\cdot10^{-4}$	$8{,}7\cdot10^{-5}$	$5{,}71\cdot10^{-3}$	$5{,}2\cdot10^{-4}$
θ'	$1{,}32\cdot10^{-2}$	$9{,}6\cdot10^{-3}$	$1{,}4\cdot10^{-1}$	$2{,}47\cdot10^{-2}$
ψ	$1{,}1\cdot10^{-6}$	$3{,}2\cdot10^{-7}$	$1{,}51\cdot10^{-5}$	$5{,}9\cdot10^{-7}$
ψ'	$3{,}7\cdot10^{-4}$	$3{,}6\cdot10^{-4}$	$2{,}4\cdot10^{-3}$	$9{,}15\cdot10^{-4}$

Анализируя приведенные результаты можно вновь сделать вывод, что, как и в предыдущем опыте, применив предложенный адаптивный регулятор, удалось снизить значение критерия качества Q для координат состояния.

На Рис.2 показаны графики переходных процессов для ЭМ и модели робота под управлением LQ-регулятора и адаптивного регулятора в условиях увеличения массы объекта управления в 14 раз. Сравнив данные графики, можно заключить, что адаптивная система сводит переходные процессы по координатам робота к выходам ЭМ.

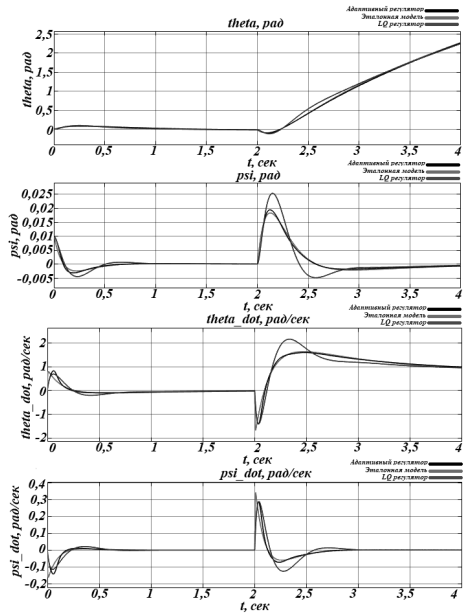


Рис. 2. Результаты эксперимента на модели балансирующего робота для LQ-регулятора и предложенной адаптивной системы.

Качество управления, продемонстрированное системой с LQ-регулятором, ниже относительно предложенного адаптивного регулятора. В частности, амплитуда колебаний графиков переходных процессов относительно выходов ЭМ для системы с LQ-регулятором на 0,07 радиан выше по ψ, на 0,5 рад – по θ' и на 0,07 рад – по ψ' относительно адаптивной системы.

Для остальных экспериментов с измененной массой были получены сходные результаты. Также на модели робота для всех рассматриваемых масс проведены опыты для различных значений уставки по θ', отличных от уже рассмотренного единичного значения, – 2, 5, 10, 15,…,100 радиан в секунду. Для всех опытов результаты аналогичны изображенным на рис.2.

Таким образом, эксперименты на модели робота продемонстрировали работоспособность предложенного подхода к построению адаптивного регулятора при решении задач стабилизации и отслеживания уставки в условиях изменении массы робота. Однако до конца нерешенным остается вопрос, связанный с оптимальным выбором начального приближения для шага настройки Γ_0^{-1}. Правильно подобрав величину шага, можно добиться совпадения переходных процессов ЭМ и самого робота с еще большей точностью.

Далее адаптивная система была испытана на реальном роботе (Рис.3-4) для подтверждения результатов, полученных на его модели. При проведении эксперимента на роботе были закреплены грузы для увеличения его масса в два раза по сравнению с номинальной. Эксперимент продолжался 400 секунд, при этом значения заданий по всем координатам были равны нулю (режим стабилизации).

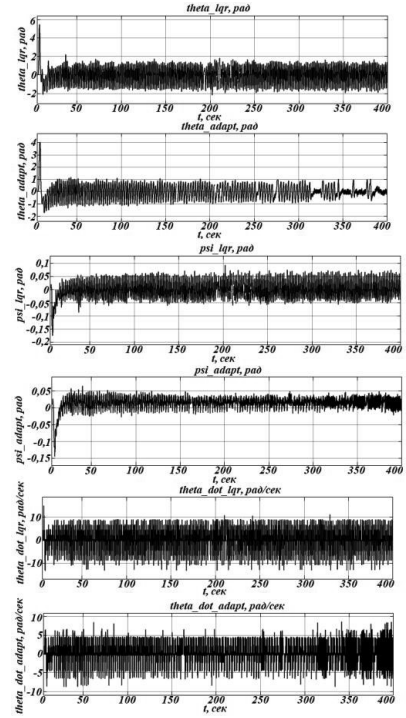


Рис. 3. Результаты опыта на реальном роботе для LQ-регулятора и предложенной адаптивной системы (координаты θ, θ', ψ).

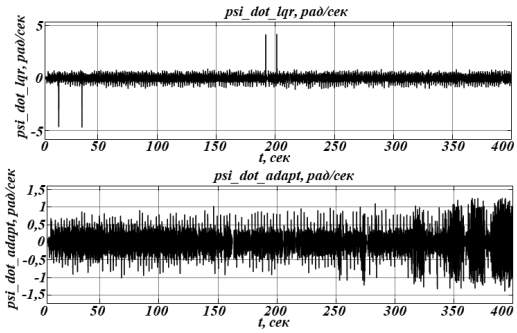


Рис. 4. Результаты опыта на реальном роботе для LQ-регулятора и предложенной адаптивной системы (координата ψ').

Оценка качества регулирования для опытов на реальном балансирующем роботе проводилась с использованием интегрального критерия Q, который применялся в численных экспериментах. В таблице 3 представлены значения данного критерия для опытов, показанных на Рис.3-4.

ТАБЛИЦА III. ОЦЕНКА КАЧЕСТВА УПРАВЛЕНИЯ ПО ИНТЕГРАЛЬНОМУ КРИТЕРИЮ (ДЛЯ РЕАЛЬНОГО РОБОТА)

Координата	**Значение показателя качества**	
	Стабилизация	
	LQR	***Адаптивная система***
θ	415,8	148,7
θ'	6018	1789
ψ	0,4298	0,2096
ψ'	26,74	23,49

Анализ данных, приведенных в таблице 3, позволяет сделать вывод о том, что полученные результаты, в целом, совпадают с результатами моделирования. Так же, как и на модели, удалось улучшить качество управления для рассматриваемых координат. В частности, при применении адаптивного регулятора произошло уменьшение амплитуды колебаний по координате θ (см. Рис.3), что свидетельствует об увеличении стабильности объекта. На Рис.4 аналогично заметно увеличение стабильности и по координате ψ. В дополнение к этому, первые пики переходных процессов по координатам были снижены на: 2,7 рад по θ и на 0,04 рад по ψ. Это свидетельствует о выполнении цели управления, определенной как $e_m \rightarrow 0$.

V. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в работе была реализована система параметрической адаптации по второму методу Ляпунова для балансирующего робота, включающая в себя алгоритм расчета величины шага для режима следования. Ее применение на математической модели и реальном балансирующем роботе в условиях изменения его массы позволило снизить амплитуду переходных процессов в режиме стабилизации и перерегулирование в режиме следования за заданием на 0,04-2,7 рад (в зависимости от координаты) относительно обычного LQ-регулятора. Кроме того, наблюдается снижение интегрального критерия качества управления.

Нерешенным до конца вопросом в работе является проблема выбора начального приближения величины шага алгоритма адаптации. С помощью правильного выбора этого параметра алгоритма возможно добиться компенсации полного спектра параметрических возмущений действующих на объект. Сейчас для подбора величины шага используется метод простого перебора (ручной подстройки), в дальнейшем для решения этой задачи предполагается использование математического аппарата, изложенного в работе [17].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

[1] Li Z., Yang C., Fan L. Advanced control of wheeled inverted pendulum systems. – Springer Science & Business Media, 2012.

[2] Kim Y., Kim S. H., Kwak Y. K. Dynamic analysis of a nonholonomic two-wheeled inverted pendulum robot // Journal of Intelligent and Robotic Systems. – 2005. – Vol. 44. – №. 1. – P. 25-46.

[3] Baloh M., Parent M. Modeling and model verification of an intelligent self-balancing two-wheeled vehicle for an autonomous urban transportation system // The conference on computational intelligence, robotics, and autonomous systems. – 2003. – P. 1-7.

[4] Boubaker O. The inverted pendulum: A fundamental benchmark in control theory and robotics // International conference on education and e-learning innovations. – IEEE, 2012. – P. 1-6.

[5] Prasad L. B., Tyagi B., Gupta H. O. Optimal control of nonlinear inverted pendulum system using PID controller and LQR: performance analysis without and with disturbance input // International Journal of Automation and Computing. – 2014. – Vol. 11. – №. 6. – P. 661-670.

[6] R.P.M. Chan, K.A. Stol, and C.R. Halkyard, Review of modelling and control of two-wheeled robots // Annual Reviews in Control. – 2013. – Vol. 37.1. – P. 89-103.

[7] Sastry S. Nonlinear systems: analysis, stability, and control. – Springer Science & Business Media, 2013. – Vol. 10.

[8] Astrom K.J., Wittenmark B. Adaptive control. – Courier Corporation, 2013.

[9] Khalil H. K. Nonlinear control. – New York : Pearson, 2015. – P. 33-45.

[10] Zhang D., Wei B. A review on model reference adaptive control of robotic manipulators // Annual Reviews in Control. – 2017. – Vol. 43. – P. 188-198.

[11] Parks P. Liapunov redesign of model reference adaptive control systems // IEEE Transactions on Automatic Control. – 1966. – Vol. 11. – №. 3. – P. 362-367.

[12] Calise A. J., Shin Y., Johnson M. D. A Comparison Study of Classical and Neural Network Based Adaptive Control of Wing Rock," AIAA Guidance, Navigation, and Control Conference and Exhibit, AIAA Paper 2004-5320, Aug. 2004

[13] Singh S. N., Yirn W., Wells W. R. Direct adaptive and neural control of wing-rock motion of slender delta wings // Journal of Guidance, Control, and Dynamics. – 1995. – Vol. 18. – №. 1. – P. 25-30.

[14] Y. Yamamoto NXTway-GS Model-Based Design-Control of self-balancing two-wheeled robot built with LEGO Mindstorms NXT. Cybernet Systems Co., Ltd, 2008.

[15] Glushchenko A. I., Petrov V. A., Lastochkin K. A. On Development of Neural Network Controller with Online Training to Control Two-Wheeled Balancing Robot // 2018 International Russian Automation Conference (RusAutoCon). – IEEE, 2018. – P. 1-6.

[16] K. Zhou, J.C. Doyle, K. Glover, Robust and Optimal Control. Prentice Hall, 1996.

[17] Landau I. D. et al. Adaptive control. – New York : Springer, 1998. – Vol. 51.

Модуль распределения задач для коллектива роботов на базе генетических алгоритмов: методика синтеза и тестирование

Даринцев О.В.
Уфимский государственный авиационный технический университет,
Институт механики им. Р.Р.Мавлютова УФИЦ РАН,
Уфа, Россия
ovd.imech@gmail.com

Мигранов А.Б.
Институт механики им. Р.Р.Мавлютова УФИЦ РАН
Уфа, Россия
abm.imech.anrb@mail.ru

***Abstract* - One of the variants of using genetic algorithms for solving the problem of task distribution in teams of mobile robots performing single-syllable operations in a single workspace is considered. There are known solutions to this problem, implemented on the basis of market economy algorithms, neural networks, dynamic programming, potential fields, etc. All these methods assume that the number of tasks to be solved corresponds to the number of robots in a group, and the selection criterion is reduced to finding a minimax solution in accordance with the selected criteria (efficiency, energy or time costs). The algorithm proposed in the article allows solving a multicriteria optimization task taking into account time costs (time spent by a robot on moving from the initial position to the place of the task) and the integral criterion of the effectiveness of robots, taking into account energy costs, functionality of each agent of the team, etc. The specificity of the working space model is considered, the goals of the functioning of robots are formalized, and the method of defining the set of tasks solved by a team is defined. A description of the parameters that determine the effectiveness of the solution using genetic algorithms is given, a form of coding the solution in the form of a chromosome is proposed, and specific fitness functions are composed. Taking into account the class of the problem to be solved, a genetic algorithm was chosen with a sorting by domination and elite selection with integer restrictions. When these are triggered, the mutation operation is excluded from the general algorithm.**

Ключевые слова — распределение задач, группа мобильных роботов, коллектив роботов, эволюционные методы, генетический алгоритм

I. Введение

В настоящее время мобильные робототехнические системы находят широкое применение в промышленности, в освоении космоса, при предотвращении чрезвычайных ситуаций, охране объектов и во многих других сферах. В большинстве случаев такие устройства имеют узкую специализацию и не могут решать сложные многоэтапные задачи [1-3]. Для этих целей целесообразно использовать гетерогенные коллективы роботов-агентов с расширенным спектром выполняемых действий [4-21]. В этом случае эффективность функционирования коллектива зависит от способа организации взаимодействия агентов друг с другом, результативность которого определяется алгоритмами распределения целей и задач.

Работа поддержана грантом РФФИ № 16-29-04165-офи_м и Программой Президиума РАН № I.29П.

©2019 ИПУСС РАН, СамГТУ, IEEE

Наиболее распространены алгоритмы централизованного распределения задач на базе «ценовых» подходов, в которых управляющий центр, согласно «ценовому» алгоритму, распределяет m j-задач в коллективе из n одинаковых i-роботов на базе C_{ij} «стоимости» («цены») выполнения роботом задачи [22-24]. Не менее популярны алгоритмы централизованного управления движением ведомого робота вслед за ведущим роботом, применяемые для перемещения строем («конвой») [25, 26].

Известны также мультиагентные алгоритмы управления робототехническими системами, реализованные на модели переговоров типа «аукцион», когда обмен информацией между отдельными агентами осуществляется с использованием критериев оптимальности: выбирается наименьшая цена выставленной задачи до тех пор, пока все они не будут распределены между роботами коллектива в определенной последовательности [27, 28]. Подобный подход получил большую эффективность в результате модификации, при которой каждый робот получил возможность выставлять на «аукцион» задачу с помощью сообщения-запроса и способность формировать группы с соседними роботами [29]. Схожий по возможностям алгоритм реализован в самоорганизующейся системе управления на основе сетевой модели коллектива роботов [30].

К особым типам алгоритмов мультиагентного управления робототехническими системами, действующим в условиях неопределенности, следует отнести интеллектуальные алгоритмы на базе рекуррентной нейронной сети [31], нечеткой логики [32, 33] и динамического программирования [34], использования технологий расширенной и виртуальной реальностей [35], потенциальных полей [36, 37], когнитивно-адаптивного метода [38], мультиагентных подходов [39] .

Стоит отметить, что алгоритмы распределения задач разрабатываются для управления большими коллективами роботов с достаточно мощными вычислительными средствами, использующих данные глобального позиционирования (GPS), визуальные средства, датчики движения и другие сенсоры. Роботы в таких коллективах могут иметь различное функциональное назначение, при этом каждый из них может выполнять как задачу одного типа, так и целый набор задач. Реализация алгоритмов распределения в

подобных гетерогенных группах роботов является сложной комбинаторной проблемой [40, 41]. В робототехнических системах для быстрого решения задач полного перебора успешно примененются эволюционные методы на основе генетических алгоритмов (ГА) [42]. Из основных характеристик, обеспечивающих преимущества использования ГА в подобных задачах, можно выделить относительно низкую требовательность к производительности бортового компьютера и многопоточность процесса поиска (вовлечение в соответствующую процедуру сразу большего числа потенциальных решений и большое число одновременно исследуемых областей в пространстве поиска) [43].

В настоящей работе показано использование ГА для распределения задач в гетерогенной группе мобильных роботов, функционирующих в общем рабочем пространстве. Распределение целей в группе гетерогенных мобильных роботов – нетривиальный процесс, направленный на определение и оперативную оптимизацию ресурсов группы, обеспечивающих достижение групповой цели. Распределение ресурсов по отдельным роботам группы производится в соответствии с выбранными критериями оптимальности и с учетом имеющихся возможностей аппаратно-программных бортовых систем управления. Предложенный алгоритм позволяет эффективно решить многокритериальную оптимизационную задачу с учетом временных затрат (время, затраченное роботом на движение от исходного положения до места выполнения задачи) и интегрального критерия эффективности роботов, учитывающего энергетические затраты, функциональную насыщенность каждого агента коллектива и т.д. Далее будет рассмотрена специфика модели рабочего пространства, формализованы цели функционирования роботов и определен способ задания множества решаемых коллективом задач. Поскольку такое распределение является классической многокритериальной задачей оптимизации, то основной целью синтезированного алгоритма будет поиск минимума на множестве допустимых комбинаций распределения, а использование ГА с выбранными условиями и критериями оптимальности позволит за приемлемое время получить решение близкое к оптимальному.

II. Постановка задачи

Принимаем, что имеется дискретное рабочее пространство размером $N \times N$, в котором находится n роботов и m заданий ($n = m$), при этом известны текущие координаты роботов (x_i, y_i, $i \in [1, n]$) и координаты заданий (x_j^*, y_j^*, $j \in [1, m]$). Цель коллектива роботов – выполнение всех заданий, расположенных на рабочем поле. Заданиям соответствует вектор-идентификатор, составленный из входящих в него задач (вектор $\mathbf{V}_j$), а каждый робот имеет уникальный идентификатор выполняемых функций (F_i). Вводятся дополнительные условия: робот может выполнить задачу в случае, если задача входит в вектор его функций; задачи односложны и имеют уникальные координаты, задаче может быть назначен только один робот.

Вводится показатель качества выполнения j-й работы i-м роботом $q_{i,j}$ – это коэффициент, который определяет эффективность выполнения j-го задания i-м роботом при текущих условиях. Данный коэффициент рассчитывается с учетом временных затрат (время, затраченное роботом на перемещение в точку расположения задачи) и эффективности выполнения.

Временные затраты можно оценить по данным от системы планирования траекторий или вычислить грубую оценку в виде евклидова расстояния:

$$S_{ij} = \sqrt{\left(x_j^* - x_i\right)^2 + \left(y_j^* - y_i\right)^2}\,. \qquad (1)$$

Коэффициент эффективности для робота, имеющего нужную способность $F_i \cap V_j \neq 0$, задан в виде отношения общего числа функций к числу применяемых для решения задачи:

$$G_{ij} = \frac{length\left(F_i\right)}{length\left(F_i \cap V_j\right)}, \qquad (2)$$

где $length$ – длина вектора.

Средневзвешенную величину эффективности выполнения j-го задания i-м роботом определим, используя весовые функции w:

$$q_{ij} = w_1 \overline{S}_{ij} + w_2 \overline{G}_{ij}, \ \sum_k w_k = 1, \qquad (3)$$

где $\overline{S}_{ij}, \overline{G}_{ij}$ – нормированные к единице величины S_{ij}, G_{ij} соответственно.

Значения весовых коэффициентов могут быть заданы лицом, принимающим решения (ЛПР). В работе рассмотрен вариант равнозначности частных критериев, т.е. w_k=1/2.

Так как в общем случае возможна ситуация отсутствия в рабочем пространстве роботов, способных выполнить какую-либо из задач, то при расчете итогового коэффициента необходимо учитывать долю завершенных задач. Поэтому, если робот не задействован в выполнении задания, его временные затраты и параметр эффективности обнуляются ($S = 0$, $G = 0$). Итоговый коэффициент эффективности решения предлагается рассчитывать следующим образом:

$$Q = D + \sum_{k=1}^{m-D} \frac{q_{kk}}{m - D}, \qquad (4)$$

где D – число невыполненных задач; q_{kk} - коэффициент эффективности выполнения j_k-й задачи k-м роботом.

В этом случае задача оптимизации J будет решаться поиском минимума Q на множестве допустимых комбинаций распределения задач по роботам:

$$J: \min_{i_j \in [1,n]} \left(Q\right). \qquad (5)$$

Отметим, что правый член суммы (4) нормирован и будет всегда меньше единицы, поэтому решение, где выполнены все задачи ($D = 0$), всегда будет эффективнее решения, где не выполнена хотя бы одна из задач ($D \geq 1$).

Найденное решение Q обеспечит минимизацию пройденного расстояния и гарантирует использование роботов с наименьшим функционалом, что повышает общее время функционирования коллектива.

Для поиска решения в соответствии с перечисленными условиями (ограничениями) и критериями оптимальности предлагается синтезировать алгоритм распределения задач на базе ГА, который позволит получить за приемлемое время решение близкое к оптимальному по Парето [25-27].

III. Специфика реализации ГА

Для использования ГА необходимо конкретизировать вид решения поставленной задачи, закодировать это решение в виде хромосомы и составить функцию приспособленности для таких хромосом.

Предлагается получить решение в виде позиционного вектора **Z**, содержащего номера задач, в котором каждый элемент Z_i определяет задачу для i-го робота на следующий шаг. К примеру, для трех задач вектор $\mathbf{Z} = \{1, 3, 2\}$ означает, что первому роботу дается команда проследовать к месту задачи 1 и выполнить ее, второму – к задаче 3, третьему – к задаче 2. Отметим, что вектор **Z** должен состоять из уникальных номеров задач (задачи не должны повторяться для нескольких роботов). Подобная кодировка предполагает возможность использования целочисленного ограничения при реализации ГА. Тогда вектор **Z** будет являться генотипом, а каждый элемент вектора – хромосомой.

Так как при синтезе начальной популяции используется генератор случайных чисел, то высока вероятность появления генотипа, в котором содержатся повторяющиеся значения хромосом, например {1, 1, 3}. Поэтому принято, что максимальное число заданий в каждой последующей хромосоме будет уменьшено на единицу. Если максимальное число первой хромосомы равно m, то восстановление номера задач для (i+1)-го робота будет проводиться исходя из уже известных номеров задач для i-ых роботов.

Пример. Закодированный вектор работ $\mathbf{Z} = \{2, 2, 3\}$ означает, что первый робот выполняет вторую работу (второй элемент в векторе задач {1, 2, 3, 4, 5}), второй робот будет выполнять третью работу (второй элемент в векторе оставшихся задач {1, 3, 4, 5}), третий робот выполняет пятую работу (третий элемент из вектора {1, 4, 5}).

Фитнесс-функция (функция приспособленности) должна обеспечивать оценку каждой особи, поступающей на вход в закодированном виде, с точки зрения применимости к условиям задачи. С учетом вышесказанного был разработан следующий алгоритм:

1) декодирование хромосомы. Производится дешифровка генов с получением номеров задач для каждого робота;
2) подсчет параметра Q для оцениваемого варианта распределения задач согласно (1)-(5);
3) вывод полученного значения фитнесс-функции для рассматриваемой особи.

IV. Выбор и реализация ГА

С учетом особенностей кодирования решения и оценки приспособленности был выбран ГА с сортировкой по доминированию и элитарным отбором (NSGA-II) [44, 45], с целочисленными ограничениями [46]. Поэтому при проявлении целочисленного ограничения операция мутации исключается из общего алгоритма.

Для варианта, когда в рабочем пространстве детектировано m заданий, модуль будет работать следующим образом:

1) при первом запуске модуля создается популяция из $2R$ (R=10m) особей: хромосомы генерируются случайным образом, распределение равномерное. Каждая особь содержит номера заданий для каждого робота;
2) все особи в популяции оцениваются посредством вычисления критерия Q. Затем R наиболее приспособленных особей включается в новое поколение;
3) проводится селекция методом парного турнирного отбора: выбираются группы родителей (особей), которые дадут потомство;
4) проводится операция скрещивания для отобранных особей (родителей) с использованием однородного кроссовера. Операция выполняется на основе бинарного вектора, длина которого равна числу геномов в хромосоме. Каждая позиция этого вектора определяет взаимную замену генома у родительских особей. Если позиция равна 1 – потомку достанется ген от родителя №1, если позиция равна 0 – от родителя №2. В результате скрещивания создается R особей-потомков;
5) повторяются шаги 2-5, если не достигнут критерий выхода из цикла.

Критериями остановки алгоритма служат неизменность лучших особей в течение заданного числа поколений (обычно это 20-50 поколений), либо достижение критического размера числа поколений (к примеру, 500). Используемые критерии выхода позволяют снизить вероятность попадания в локальный экстремум. При этом применение методов NSGA-II и турнирного отбора позволило ускорить процесс нахождения решения (глобального экстремума).

По завершению работы алгоритма среди оставшихся R особей выбираются уникальные (возможно повторение одной из оптимальных особей несколько раз), которые и будут являться оптимальным множеством решений поставленной цели для коллектива роботов.

V. Программная модель и результаты

Описанный выше алгоритм был реализован в среде MATLAB и содержал три модуля:

1) ручной ввод либо импорт данных о расположении роботов и задач в рабочем пространстве, данных о функционале (возможностях) каждого из роботов коллектива;

2) расчет фитнесс-функции;

3) реализация ГА с вызовом фитнесс-функции и проверкой введенных ограничений.

В качестве тестового примера для модуля была задана группа из пяти роботов, действующая в рабочем пространстве 10x10, содержащем пять заданий. Для каждого робота задан набор функций, при этом для части роботов некоторые задачи являются невыполнимыми. Каждая задача имеет уникальные номер и координаты. Выполнение задач тактируется, модулем проводится поиск оптимального распределения (команды) для одного шага. Для каждого последующего шага отдельные операции (задачи) можно повторить, но при измененных условиях.

Исходные данные приведены в таблице I.

ТАБЛИЦА I. ПАРАМЕТРЫ РОБОТОВ И ЗАДАЧ

Робот, №	**Координаты**	**Функции**	**Задача, №**	**Координаты**	**Тип задачи**
1	{10,6}	1,2,3	1	{10,1}	1
2	{7,2}	1,2	2	{5,2}	2
3	{1,2}	2,3	3	{6,9}	1
4	{1,4}	1,3	4	{8,9}	3
5	{5,5}	2	5	{2,2}	3

На рис. 1 в графической форме показана исходная конфигурация рабочего пространства, где $P_k^{(i)}$ – расположение k-го робота с набором функций i; $З_k^{(i)}$ – расположение k-й задачи, в которой необходимо применение робота с функционалом i.

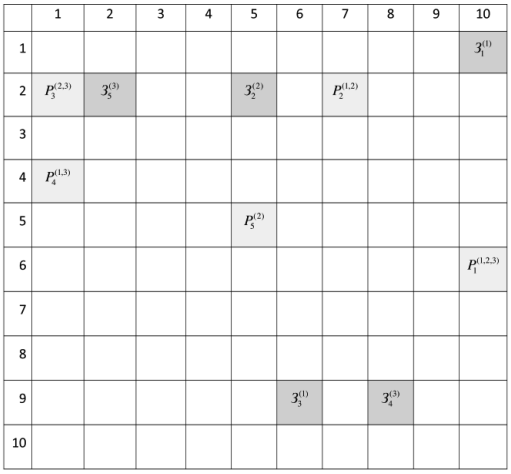


Рис. 1. Расположение роботов и задач

Для поставленной задачи был проведен поиск оптимального решения при помощи синтезированного модуля (ГА). Использовались следующие параметры:

- число параллельных популяций - 1;
- количество особей в популяции - 50;
- максимальное количество итераций - 500;
- число популяций с неизменным минимумом, после которого происходит остановка алгоритма - 30.

Результаты расчета представлены в таблице II. Параллельно получено еще три решения, которые близки к оптимальному (таблица III).

ТАБЛИЦА II. ОПТИМАЛЬНОЕ РЕШЕНИЕ

Робот, №	1	2	3	4	5
Задача, №	4	1	5	3	2
Путь	3,61	3,16	1	7,07	3
Доля использования функционала робота	1	2/3	2/3	2/3	1/3
Число невыполненных задач, *D*	0				
Общий коэффициент эффективности, *Q*	0,474				

ТАБЛИЦА III. РЕШЕНИЯ БЛИЗКИЕ К ОПТИМАЛЬНОМУ

Параметр	**Задача, №**					***D***	***Q***
Робот №	1	2	3	4	5		
Решение 1	2	1	5	4	-	1	1,563
Решение 2	3	1	5	4	2	0	0,497
Решение 3	4	1	5	3	2	0	0,474
Решение 4	5	1	4	3	2	0	0,584

Результаты применения показывают, что разработанный программный модуль эффективно реализует поиск оптимальной стратегии распределения задач между роботами с учетом их функционала и положения для различных входных данных и наборов параметров (критериев).

VI. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье рассмотрена методика синтеза и применения генетического алгоритма для быстрого поиска вариантов распределения задач в коллективе мобильных роботов. Показано использование разработанного модуля на примере малой группы, состоящей из пяти роботов. Но следует отметить, что система управления коллективом способна эффективно работать и в достаточно больших группах роботов, количество агентов в которых ограничено производительностью бортовых компьютеров и доступными объемами запоминающих устройств. Сам предлагаемый алгоритм не ограничивает размер коллектива (количество роботов).

Несомненным преимуществом предлагаемой методики является то, что ЛПР на этапе тестирования может оценить влияние весовых коэффициентов на эффективность применения коллектива, изменить их соотношения с учетом весомости показателя качества для финального распределения задач.

Предлагаемый метод универсален, так как при использовании (добавлении) новых критериев оценки эффективности решения достаточно изменить только фитнесс-функцию, остальная часть алгоритма остается неизменной.

Результаты применения алгоритма показывают, что ГА могут служить эффективным инструментом для поиска вариантов распределения задач в системах планирования-управления коллективами мобильных автономных роботов. В последующем планируется дальнейшая модификация предложенного алгоритма: введение новых комплексных критериев оптимальности; расширение области применения путем включения поиска последовательностей решения комплексных задач (содержащих несколько подзадач с линейным или произвольным порядком выполнения); более глубокая интеграция в распределенную систему управления коллективом роботов с организацией канала обмена информацией между модулем распределения задач и системой планирования траекторий.

Список литературы

[1] Brambilla M., Ferrante E., Birattari M., Dorigo M. Swarm robotics: a review from the swarm engineering perspective // Swarm Intelligence. 2013. №7(1). P. 1–41.

[2] Зенкевич С. Л., Назарова А. В. Система управления мобильного робота. // Вестник МГТУ, серия «Приборостроение». 2006. № 3. С. 31-51.

[3] Каляев И.А., Гайдук А.Р., Капустян С.Г. Методы и модели коллективного управления в группах роботов. М.: Физматлит, 2009. 280 с.

[4] Alami R., Fleury S., Herrb M., Ingred F., Robert F. Milti-Robot Cooperation in the MARTHA Project // IEEE robotics & Automation magazine. 1998. V. 5, No 1. P. 36–47.

[5] Kamada T., Oikawa K. AMADEUS: A Mobile, Autonomous Decentralized Utility System for Indoor Transportation // IEEE Intern. Conf. on Robotics and Automation, Leuven, Belgium, May 16–20, 1998. — V. 4. — P. 2229–2236.

[6] Kawamura K., Peters II R. A., Johnson C., Nilas P., Thongchai S. Supervisory Control of Mobile Robots using Sensory EgoSphere // Proc. of 2001 IEEE Intern. Symposium on Computational Intelligence in Robotics and Automation, Banff, Alberta, Canada, July 29–Aug. 1, 2001. — P. 523–529.

[7] Stoeter S. A., Rybski P. E., Erickson M. D., Wyman M., Gini M., Hougen D. F., Papanikolopoulos N. A Robot Team for Exploration and Surveillance: Design and Architecture // Proc. of the Intern. Conf. on Intelligent Autonomous Systems 6, Venice, Italy, July 2000. — P. 767–774.

[8] Wagner A. R., Arkin R. C. Internalized Plans for Communication-Sensitive Robot Team Behaviors // Proc. of IEEE Intern. Conf. on Intelligent Robotics and Systems, 2003. — P. 2480–2487.

[9] Ali K. S., Arkin R. C. Multiagent Teleautonomous Behavioral Control // Machine Intelligence and Robotic Control. 2000. V. 1, No. 2. P. 3–10.

[10] Dahl T. S., Mataric M. J., Sukhatme G. S. Mylti-Robot Task Allocation through Vacancy Chains // Proc. of the 2003 IEEE Intern. Conf. in Robotics and Automation (ICRA-03), Taipei, Taiwan, 2003. P. 2293–2298.

[11] Goldberg D., Cicirello V., Dias M. B., Simmons R., Smith S., Stentz A. Market-Based Multi-Robot Planning in a Distributed Layered Architecture. Multi-Robot Systems: From Swarms to Intelligent Automata // Proc. from the 2003 Intern. Workshop on Multi-Robot Systems. — Kluwer Academic Publishers, 2003. — V. 2. — P. 27–38.

[12] Veloso M. Autonomous robot soccer teams // The Bridge, National Academy of Engineering. 2003. V. 33(1). P. 8–12.

[13] M. H. Cintuglu, T. Youssef, and O. A. Mohammed. Development and Application of a Real-Time Testbed for Multiagent System Interoperability: A Case Study on Hierarchical Microgrid Control // IEEE Transactions on Smart Grid, vol. 9, no. 3, pp. 1759-1768, 2018.

[14] M. L. Wang, J. R. Wu, L. W. Kao, and H. Y. Lin, Development of a vision system and a strategy simulator for middle size soccer robot // in 2013 International Conference on Advanced Robotics and Intelligent Systems, 2013, pp. 54-58.

[15] Cheng, T.M.; Savkin, A.V. Decentralized control of multi-agent systems for swarming with a given geometric pattern. Comput. Math. Appl. 2011, 61, 731–744.

[16] Amato, C.; Konidaris, G.; Cruz, G.; Maynor, C.A.; How, J.P.; Kaelbling, L.P. Planning for decentralized control of multiple robots under uncertainty. In Proceedings of the 2015 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA), Seattle, WA, USA, 26–30 May 2015; pp. 1241–1248.

[17] Tang, X.L.; Li, L.M.; Jiang, B.J. Mobile robot SLAM method based on multi-agent particle swarm optimized particle filter. J. China Univ. Posts Telecommun. 2014, 21, 78–86.

[18] Xin, B.; Gao, G.Q.; Ding, Y.L.; Zhu, Y.G.; Fang, H. Distributed multi-robot motion planning for cooperative multi-area coverage. In Proceedings of the 2017 13th IEEE International Conference on Control & Automation (ICCA), Ohrid, Macedonia, 3–6 July 2017; pp. 361–366.

[19] Tuna, G.; Gungor, V.C.; Gulez, K. An autonomous wireless sensor network deployment system using mobile robots for human existence detection in case of disasters. Ad Hoc Netw. 2014, 13, 54–68.

[20] Furno, L.; Nielsen, M.C.; Blanke, M. Centralised versus decentralised control reconfiguration for collaborating underwater robots. IFAC-PapersOnLine 2015, 28, 732–739.

[21] Schwager, M.; Rus, D.; Slotine, J.J. Decentralized, adaptive coverage control for networked robots. Int. J. Robot. Res. 2009, 28, 357–375

[22] Reza Olfati-Saber. Flocking for multi-agent dynamic systems: algorithms and theory Technical Report CIT(California Institute of Technology)—CDS(Control and Dynamical Systems). 2006. P. 401-420. URL: http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.121.7027&rep=rep1&type=pdf (дата обращения: 10.03.2019).

[23] Mac Schwager. A Gradient Optimization Approach to Adaptive Multi-Robot Control: 2009, Dissertation, Massachusetts Institute of Technology, 190p.

[24] James Dwight McLurkin. Analysis and Implementation of Distributed Algorithms for Multi-Robot Systems: 2008, Dissertation, Massachusetts Institute of Technology, 166p

[25] Ахтеров А.В. [и др.] Способы управления распределенной мобильной системой в условиях неопределенности // Препринты ИПМ им. М.В. Келдыша, 2012. №67. 32 с. URL: http://library.keldysh.ru/preprint.asp?id=2012-67 (дата обращения: 10.03.2019).

[26] Чжу Хуа Управление движением группы мобильных роботов в строю типа «конвой»: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Чжу Хуа. Москва. 2018. 108 с.

[27] Reza Olfati-Saber. Flocking for multi-agent dynamic systems: algorithms and theory Technical Report CIT(California Institute of Technology)—CDS(Control and Dynamical Systems) 2004-2005 // URL: http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.121.7027&rep=rep1&type=pdf (дата обращения: 10.03.2019).

[28] Guy S.J., Chhugani J., Kim C., Lin M. Clear Path: Highly Parallel Collision Avoidance for Multi-Agent Simulation // Eurographics Symposium on Computer Animation, 2009. P. 200-211.

[29] Назарова А.В. Методы и алгоритмы мультиагентного управления робототехнической системой // Вестник МГТУ им. Баумана. Приборостроение. 2012. № 6. С. 93–105.

[30] Каляев И.А. Самоорганизующиеся распределенные системы управления группами интеллектуальных роботов, построенные на основе сетевой модели / И.А. Каляев, С.Г. Капустян, А.Р. Гайдук // Управление большими системами. Спец. Выпуск «Сетевые модели в управлении». 30.1. С. 605– 639.

[31] Даринцев О.В. Нейросетевой алгоритм планирования траекторий для группы мобильных роботов / О. В. Даринцев, А. Б. Мигранов, Б. С. Юдинцев // «Искусственный интеллект». 2011. Вып. 1. С. 154–160.

[32] Ziemke T. Adaptive behavior in autonomous agents / T. Ziemke // Presence. 2003. № 7(6). P. 564-587.

[33] Glasius R. Neural Network Dynamics for Path Planning and Obstacle Avoidance / R. Glasius, A. Komoda and S. Gielen // Neural Networks. 1995. № 8 (1). P. 125-133.

[34] Kruglikov S.V., Kruglikov A.S. An a priori planning of joint motions for USV as a problem of guaranteed control/estimation // Applied Mechanics and Materials. TransTech Publications, Switzerland. Vols. 494-495, 2014, pp. 1110-1113.

[35] Даринцев О.В. Использование технологий расширенной и виртуальной реальностей при реализации алгоритмов управления коллективом роботов/ О. В. Даринцев // «Штучний інтелект». 2013. № 3. С. 479-487.

[36] Renzaglia A.A. Potential field based approach for coordinate exploration with a multi-robot team / Renzaglia, A. Martinelli // 8th IEEE International Workshop on Safety, Security and Rescue Robotics (SSRR). 10.1109/SSRR.2010.5981557.

[37] Ivic S. Ergodicity - based cooperative multiagent area coverage via a potential field / S. Ivıc, B. Crnkovic, I. Mezic // IEEE Transactions on Cybernetics. 2016. Pp. 1-11.

[38] Renzaglia A. Cognitive-based adaptive control for cooperative multi-robot coverage / A. Renzaglia, L. Doitsidis, A. Martinelli // IEEE International Conference on Robotics and Intelligent System (IROS). 2010. DOI: 10.1109/IROS.2010.5649249.

[39] O.V. Darintsev, B.S. Yudintsev, A.Yu. Alekseev, D.R. Bogdanov, A.B. Migranov Methods of a Heterogeneous Multi-agent Robotic System Group Control // Procedia Computer Science (2019). pp. 687-694 doi: 10.1016/j.procs.2019.02.032.

[40] Даринцев О.В., Мигранов А.Б. Распределенная система управления группами мобильных роботов // Вестник УГАТУ. 2017. Т. 21, № 2(76). С. 88-94.

[41] М. Гэри, Д. Джонсон. Вычислительные машины и труднорешаемые задачи. М.: Мир, 1982, 416 с.

[42] Даринцев О.В., Мигранов А.Б. Система планирования движения группы мобильных микророботов на основе генетических алгоритмов // Известия РАН. Теория и системы управления. 2007. №3. С. 163-173.

[43] Даринцев О.В., Мигранов А.Б. Области применения приближенных и интеллектуальных методов планирования тректорий для групп мобильных роботов // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 6. URL: www.science-education.ru/120-16542 (дата обращения: 10.03.2019).

[44] Лотов А.В. Многокритериальные задачи принятия решений: Учебное пособие/ А.В. Лотов, И.И. Поспелова. М.: МАКС Пресс, 2008. 197 с.

[45] Goldberg D. Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning/ D. Goldberg. Massachusetts: Addison-Wesley, 1989.

[46] Панченко Т.В. Генетические алгоритмы: учебно-методическое пособие/ Т.В. Панченко; под ред. Ю.Ю. Тарасевича. Астрахань: Издательский дом «Астраханский университет», 2007. 87 с.

Особенности управления большой плотной группой БЛА как системой с распределенными параметрами

Миляков Д.А.
АО «Концерн «Вега»
Москва, Россия
from_fn@mail.ru

***Abstract* — The features of control for large dense group of unmanned aerial vehicles (UAVs) are considered on the basis of their representation as a set of individual participants and as a system with distributed parameters. The main difficulties of the theoretical solution of these alternatives are indicated. Examples are given of constructing various variants of topology when considering a group of UAVs as a system with distributed parameters.**

Ключевые слова — беспилотный летательный аппарат, группа БЛА, система с распределенными параметрами, сложная система, групповое управление, требуемая топология.

I. Введение

Массовое применение беспилотных летательных аппаратов (БЛА) различного назначения обеспечивает получение целого ряда преимуществ при решении различных задач [1]. При этом появляется возможность реализовать целый комплекс новых приемов, среди которых можно выделить, например, использование в качестве временных фазированных антенных решеток больших размеров на базе мультикоптеров для реализации больших дальностей действия РЛС [2].

Среди причин появления новых преимуществ группового применения БЛА можно выделить, например, возрастание поведенческой сложности БЛА при решении различных задач за счет использования искусственного интеллекта, что приводит к сложности раздельного наблюдения участников группы и, соответственно, сложности сопровождения и целераспределения.

Новые возможности больших групп БЛА [3] определяются не только количеством участников, но и топологией группы и поведением участников внутри нее. В связи с этим эффективность применения больших групп БЛА определяется способностью систем управления обеспечить построение требуемой топологии группы, ее перемещение в пространстве и поведение участников внутри группы.

В современной отечественной и зарубежной научно-технической литературе отсутствует устоявшаяся терминология группового применения БЛА. В большинстве случаев используются такие определения как «большая группа», «плотная группа», «рой», «стая», «многоагентная группа», «сеть» и т.д. Такое многообразие связано, прежде всего, с различием рассматриваемых вариантов применения, используемых видов группового управления и информационного взаимодействия внутри группы. Разновидности группового управления (централизованное, с лидером, иерархическое, децентрализованное, стайное и т.д.) рассмотрены в [4], а способы их реализации – в [5-22].

Несмотря на терминологические различия, общим для всех видов больших групп является необходимость решения следующих задач:

- сбора группы с формированием требуемой топологии;
- обеспечения управления пространственным положением как всей группы, так и отдельными участниками внутри нее при незначительных расстояниях между ними;
- информационного обеспечения алгоритмов управления отдельными участниками.

Наибольшую сложность представляет формирование требуемых законов управления и их информационного обеспечения для плотных групп БЛА, расстояние между которыми сравнимо с разрешающей способностью средств обнаружения противоборствующей стороны. Законы управления такими группами должны обеспечивать не только реализацию целевого назначения группы, но и предотвращение столкновений участников между собой.

Задача согласованного управления плотной группой может быть решена в рамках двух подходов.

Первый подход является классическим и заключается в рассмотрении группы как совокупности отдельных объектов, для каждого из которых как объекта управления формируются свои модель состояния и сигналы управления. Однако в приложении к очень большим и плотным группам объектов возникает проблема обеспечения их управляемости. Ее решение достигается за счет различных упрощений, например, разбиений и обобщений. В [4] проблема управляемости в больших группах роботов решается различными вариантами декомпозиции.

В качестве второго подхода предлагается рассматривать группу объектов как систему с распределенными во времени и пространстве параметрами.

Далее будут рассмотрены преимущества и недостатки обоих подходов при решении задачи управления многочисленной плотной группой БЛА.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект №18-38-00967-мол_а)

©2019 ИПУСС РАН, СамГТУ, IEEE

II. Стратегии группового управления БЛА как совокупностью отдельных объектов управления

Характерной особенностью известных способов управления группами БЛА при решении различных задач является рассмотрение их как систем, состоящих из отдельных объектов с сосредоточенными параметрами, в общем случае являющимися функциями времени. Такой подход наиболее очевиден и достаточно хорошо проработан.

В настоящее время выделяют три стратегии группового управления [4] БЛА при решении ими различных задач.

Первая стратегия – стратегия централизованного (командного) управления [5], в рамках которой можно выделить два класса: единоначальное (с лидером) [6] и иерархическое [7] управление. Данная стратегия характеризуется низкой живучестью соответствующих систем управления при возникновении различных нештатных ситуаций (сбоев). Способы снижения риска возникновения таких ситуаций связаны с различными видами резервирования и дублирования, что может приводить к значительным затратам на организацию системы управления и усложнению ее структуры.

Вторая стратегия – стратегия децентрализованного (распределенного) управления [8,9]. Эта стратегия характеризуется простотой задачи управления, решаемой каждым БЛА группы, вследствие чего решение может осуществляться быстро (в реальном масштабе времени). Кроме того, стратегия обеспечивает высокую живучесть системы управления. В случае возникновения нештатных ситуаций выход из строя участников группы не нарушает структуру системы управления. Выделяют два класса данной стратегии: коллективное [10,11] и стайное управление [12]. Коллективное управление реализуется для каждого БЛА с учетом поведения других участников при наличии каналов обмена информацией по принципу «каждый с каждым».

При коллективном управлении предъявляются повышенные требования к каналам связи, в том числе к их надежности и пропускной способности, т.к. выход из строя канала связи приводит к потере возможности группового взаимодействия.

При стайном управлении каждый БЛА реализует свои действия на основе общей целевой установки группы, не принимая во внимание поведение других участников. Стайное управление в этом плане имеет определенное преимущество, т.к. реализуется в отсутствие каналов информационного взаимодействия между БЛА группы.

В рамках класса коллективного управления выделяют коллективное управление с сетевым взаимодействием [13], а также мультиагентное управление [14,15] на основе сетецентрического подхода [16] как наиболее перспективное и активно развивающееся направление интеллектуального управления в группах БЛА. Особо выделяется концепция FANET (Flying Ad Hoc Network) [17] развития беспроводных самоорганизующихся сетей на основе БЛА как одна из самых перспективных и бурно развивающуюся за рубежом. Организация такого вида сетей с мультиагентным управлением позволяет решать широкий перечень задач [13].

Третья стратегия – смешанная стратегия управления, при которой группа разбивается на подгруппы, в каждой из которых лидером (из центра) централизованно ставится своя подзадача, решение которой осуществляется в децентрализованном режиме [18,19].

Коллективное управление группировкой БЛА с сетевым взаимодействием связано с рассмотрением этого процесса как итерационной процедуры оптимизации коллективных действий, которая состоит в последовательном выборе каждым БЛА группы такого текущего действия, которое вносит максимальный вклад в достижение общей (групповой) цели с учетом текущих действий всех остальных БЛА, и передаче информации о выбранном управлении другим БЛА группы.

При реализации коллективного управления большими группами БЛА возникает проблема функционирования системы в реальном масштабе времени.

Для преодоления этой проблемы применяют подход, основанный на разбиении больших групп на подгруппы, численность которых не превышает граничного значения, при котором выполняется условие их управляемости. Такие группы принято называть кластерами.

После проведения кластеризации задача управления действиями большой группы БЛА может выполняться в каждом отдельном кластере с учетом некоторых координирующих условий.

Независимо от выбранного способа управления приходится решать целый ряд теоретических проблем, к которым прежде всего относятся:

- сложность формализации описания большой группы как объекта коллективного и индивидуального управления с формулировкой коллективного функционала качества;
- высокую размерность решаемых задач управления и информационного обеспечения, делающую практически невозможным применение классического аппарата оптимального управления и оценивания;
- сложности адаптации общих решений к конкретным задачам (мониторинг, приманка, ложные цели, ударные задачи);
- трудности управления информационными потоками внутри группы.

В качестве примеров решения этих задач можно привести законы управления, полученные в [13], которые обеспечивают групповое управление с предотвращением столкновений внутри группы на основе локальной оптимизации с использованием индивидуальных моделей состояния.

Необходимо отметить, что устойчивая тенденция увеличения числа БЛА в группе предопределяет дальнейшее возрастание сложности формирования управления.

III. Стратегия группового управления БЛА как системой с распределенными параметрами

Принципиально новым подходом к управлению большими группами БЛА является использование математического аппарата управления системами с распределенными параметрами [21,22], являющимися функциями времени и пространственных координат. В основе подход лежит рассмотрение задач кинематики и динамики для системы невзаимодействующих близко расположенных частиц [21].

В связи с этим предлагается рассмотреть многочисленную группу плотно расположенных БЛА как сложную систему, состоящую из совокупности физически невзаимодействующих элементов, которую можно назвать средой БЛА. Состояние этой среды характеризуется функцией состояния, параметрами которой являются координаты и время. При этом используется аналогия с различными типами сплошных сред, для описания состояния которых применяются известные виды дифференциальных (интегро-диференциальных) уравнений в частных производных.

Такая неклассическая постановка задачи предопределяет необходимость использования положений математической и статической физики для получения уравнений, характеризующих соотношения между макроскопическими и микроскопическими характеристиками среды БЛА. В рамках такого подхода для среды БЛА в [23] были введены следующие функции координат и времени:

- внутренний потенциал среды как функцию координат, определяющий взаимодействие БЛА между собой;
- плотность среды как функцию времени и координат;
- давление в среде как функцию ее плотности, определяющее связность элементов среды и их взаимодействие в отсутствие внешнего воздействия.

Соотношения, описывающие законы сохранения, получаются при рассмотрении всех найденных сил, действующих на элемент среды, ограниченный элементарным объемом. Использование элементов теории управления системами с распределенными параметрами позволяет получить для такой системы решение конкретной задачи управления с соответствующим алгоритмом управления не для отдельных элементов, а всей средой БЛА.

В отличие от классического индивидуального управления оператором каждым БЛА, предполагающего наличие каналов связи (линии передачи команд управления) «оператор-БЛА», при таком подходе реализуется унифицированное управление всей средой БЛА целиком. При этом каждый БЛА самостоятельно формирует свой сигнал управления, чем исключается необходимость организации дополнительного канала связи для управления.

Сложность формирования управления такой системой обусловлена следующими причинами:

- сложностью решения нелинейных уравнений в частных производных для выполнения прогноза состояния;
- сложностью задания функционала качества;
- невозможностью аналитического получения выражения для сигналов управления, предопределяющей невозможность их анализа;
- невозможностью использования хорошо отработанных методов классической оптимизации;
- необходимостью определения критерия «сплошности», т.е. условий, например, аналогичных условиям теоремы Котельникова [24], при которых требуется соблюдать максимально допустимые расстояния между БЛА для адекватности дискретной системы аналоговой.

Далее в качестве иллюстрации возможности управления группой БЛА как системой с распределенными параметрами будут рассмотрены варианты построения топологий, заданных неподвижным и подвижным отрезками, кольцом и сферой.

Суть задачи сводится к формированию с использованием положений статистической физики и механики сплошной среды алгоритма, позволяющего [23]:

1) сформировать закон описания требуемой топологии аналитическими уравнениями (системой уравнений), позволяющими разрешить их относительно координат;
2) сформировать внутренний потенциал среды;
3) сформировать плотность среды;
4) сформировать давление в среде;
5) определить силы, действующие на элемент среды;
6) сформировать соотношение для элемента среды, описывающее закон сохранения импульса ;
7) сформировать закон управления средой при решении заданной задачи.

IV. Пример

Рассматривая малый объем ΔV элемента среды линейными размерами Δx, Δy, Δz, плотностью ρ и массой Δm=const, на который действует внешняя сила $\mathbf{F}$ и внешнее давление $P(\rho)$, можно записать соотношение для движения этого объема в пространстве со скоростью $\mathbf{v}(t)$:

$$d\left(\Delta m\mathbf{v}\right)=\left(\mathbf{F}+\begin{bmatrix}\left(P(x)-P(x+\Delta x)\right)\Delta y\Delta z\\ \left(P(y)-P(y+\Delta y)\right)\Delta x\Delta z\\ \left(P(z)-P(z+\Delta z)\right)\Delta x\Delta y\end{bmatrix}\right)dt. \quad (1)$$

После представления внешней силы $\mathbf{F}$, приложенной к элементу, в виде

$$\mathbf{F} = \Delta m \nabla U + \Delta m \mathbf{u} \qquad (2)$$

как суммы потенциальной составляющей, представленной градиентом ∇U внутреннего потенциала и обусловленной взаимодействием с соседними элементами среды, и управляющей составляющей, обусловленной реализацией искомого вектора управления $\mathbf{u}$ при решении поставленной задачи, и дальнейших преобразований (1) принимает вид:

$$\mathbf{a} = \nabla U - \frac{1}{\rho} \nabla P + \mathbf{u}, \qquad (3)$$

где $\mathbf{a}$ – вектор полного ускорения элемента среды БЛА, а его масса Δm определяется соотношением

$$\Delta m = m_{\text{БЛА}} \cdot \Delta N, \qquad (4)$$

где $m_{\text{БЛА}}$ – условная масса единичного БЛА, ΔN – их количество в элементе среды с центром в точке с координатами (x,y,z); ∇P – вектор градиента давления в элементе среды; ρ – плотность элемента среды, определяемая соотношением

$$\rho = \frac{\Delta m}{\Delta V} = \frac{m_{\text{БЛА}} \cdot \Delta N}{\Delta x \cdot \Delta y \cdot \Delta z}. \qquad (5)$$

Таким образом, для среды БЛА в момент времени t в точке с координатами (x,y,z), состояние которой характеризуется функциями плотности $\rho(t,x,y,z)$, внутреннего потенциала $U(x,y,z)$, давления $P(\rho)$, закон движения малого элемента среды можно представить в форме (3).

Отличительной особенностью (3) по сравнению с аналогичным соотношением, полученным в [23], является его «удельность» относительно массы элемента среды БЛА, а также отрицательная обратная связь по градиенту давления в среде, что потенциально повышает управляемость ею при наложении соответствующих требований.

Соотношение (3) может быть представлено системой дифференциальных уравнений:

$$\begin{cases} \dot{\mathbf{p}} = \mathbf{v}; \\ \dot{\mathbf{v}} = \nabla U - \dfrac{1}{\rho} \nabla P + \mathbf{u}, \end{cases} \qquad (6)$$

где $\mathbf{p}=[x\ y\ z]^{\mathrm{T}}$ - вектор координат, $\mathbf{v}=[v_x\ v_y\ v_z]^{\mathrm{T}}$ - вектор скорости их изменения;

$$\nabla U = \left[\frac{\partial U}{\partial x} \quad \frac{\partial U}{\partial y} \quad \frac{\partial U}{\partial z} \right]^T,$$
$$\nabla P = \left[\frac{\partial P}{\partial x} \quad \frac{\partial P}{\partial y} \quad \frac{\partial P}{\partial z} \right]^T, \qquad (7)$$
$$\mathbf{u} = \left[u_1 \quad u_2 \quad u_3 \right]^T.$$

Тогда для декартовой системы координат с ортами $(\mathbf{i},\mathbf{j},\mathbf{k})$ с учетом (7) система (6) может быть представлена в виде:

$$\begin{cases} \dfrac{d\mathbf{p}}{dt} = \mathbf{v}, \\ \dfrac{d\mathbf{v}}{dt} = \left(\dfrac{\partial U}{\partial x} - \dfrac{1}{\rho} \dfrac{\partial P}{\partial x} + u_x \right) \mathbf{i} + \\ \quad + \left(\dfrac{\partial U}{\partial y} - \dfrac{1}{\rho} \dfrac{\partial P}{\partial y} + u_y \right) \mathbf{j} + \\ \quad + \left(\dfrac{\partial U}{\partial x} - \dfrac{1}{\rho} \dfrac{\partial P}{\partial z} + u_z \right) \mathbf{k}. \end{cases} \qquad (8)$$

Таким образом, задача управления группой БЛА может быть сформулирована в следующем виде: для группы БЛА, состояние которой задается системой (8), необходимо найти закон управления, обеспечивающий построение требуемой топологии и ее целенаправленное перемещение в пространстве без столкновений при условии, что выполняются заданные ограничения на сигналы управления и расстояния между БЛА.

Внутренний потенциал U в (8) может быть выбран эмпирически, исходя из желаемого типа внутреннего взаимодействия в среде. В качестве таких потенциалов могут выступать многочастичные потенциалы [25], применяемые для адекватного представления взаимодействия частниц в различных средах. В работе использован парный (двухчастичный) потенциал Леннард-Джонса (потенциал «6-12») [26,27], в простейшем случае имеющей вид

$$U(r) = \frac{A}{r^{12}} - \frac{B}{r^{6}}, \qquad (9)$$

где r – расстояние между центрами частиц, имитирующий взаимодействие в режиме «притяжение-отталкивание» несталкивающихся молекул идеального газа без учета влияния остальных молекул; A – коэффициент, характеризующий отталкивание частиц на малых расстояниях; B – коэффициент, характеризующий притяжение частиц на больших расстояниях.

Потенциал вида (9) широко используется в расчетах и компьютерном моделировании различных многосоставных систем и является адекватным при решении рассматриваемой задачи.

В связи с этим ниже будет рассмотрена техника молекулярной динамики (МД), позволяющей получать достоверные результаты за приемлемое время при моделировании в дискретном времени систем и процессов с характерным временем, определяющим возможность применения механистического подхода, порядка 2 пикосекунды (10^{-12} с) и более. Применение молекулярной динамики [28] позволяет проследить эволюцию системы взаимосвязанных частиц и в классическом случае заключается в численной реализации решения системы (8) уравнений движения для множества частиц. При этом считается, что известны координаты центров всех частиц и суммарная сила, действующая на каждую частицу, а между собой они взаимодействуют по известному закону, который может

быть задан, например, с помощью потенциала взаимодействия (9).

Часто при компьютерном моделировании решения системы уравнений (8) в реальном времени в силу ограниченности вычислительных ресурсов применяют алгоритмы высокой устойчивости счета, например алгоритмы Верле [29,30] и Бимана [29], которые не требуют вычислений текущих скоростей частиц, но для которых требуется знания координат с предыдущих двух итераций. При этом начальные данные с первых двух итераций можно получить методом Эйлера [31].

При исследовании управления средой БЛА в рамках решения задачи вывода исходной конфигурации группы БЛА в топологию типа «отрезок», «круг» и «сфера» было проведено моделирование соотношений (3)-(5), (7), (9). При этом задавалась некоторая ε-окрестность топологии, определяющая качество решения задачи. Нахождение всех БЛА в пределах этой ε-окрестности свидетельствует о том, что задача решена.

Зависимость давления $P(\rho)$ была выбрана в виде линейной функции, аналогично среде идеального газа.

В качестве примера управлением $\mathbf{u}$ каждым элементом среды был выбран градиентный закон

$$\mathbf{u}(r) = \nabla \left\| \mathbf{p} - \mathbf{r}_{\text{топ}} \right\|, \qquad (10)$$

оптимальный по критерию минимума времени выхода среды на требуемую топологию, заданную радиус-вектором $\mathbf{r}_{\text{топ}}$.

Некоторые результаты исследований представлены на рис. 1-4: «статический отрезок» (рис. 1,I), «подвижный отрезок» (рис. 1,II), «кольцо» (рис. 2,3), «сфера» (рис. 4,5).

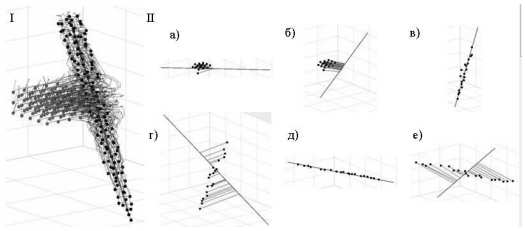


Рис. 1. Вывод группы из 125 БЛА на отрезок:
(I) статический отрезок, (II) вращающийся отрезок

Рис. 1, I иллюстрирует решение задачи вывода группы БЛА на статический отрезок группы из 125 БЛА при начальном разбросе по скоростям и направлениям полета внутри группы относительно «генерального» направления полета. Здесь красным цветом обозначены начальные положения БЛА, черным – конечные, а фиолетовым – траектории движения БЛА. Рис. 1,II иллюстрирует результаты исследования влияния переходных процессов в группе БЛА на решение задачи с различными промежуточными положениями отрезка, вращающегося и перемещающегося по заданному закону, и конфигурациями группы БЛА (см. рис. 1,II,а),б),в),г),д),е)). На рисунке отрезками обозначены текущие расстояния от каждого БЛА группы до требуемой топологии.

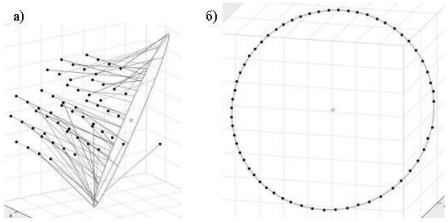


Рис. 2. Вывод группы из 60 БЛА на кольцо «снаружи»:
а) начальная конфигурация, б) конечная конфигурация

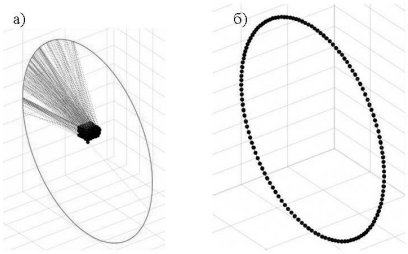


Рис. 3. Вывод группы из 250 БЛА на кольцо «изнутри»:
а) начальная конфигурация, б) конечная конфигурация

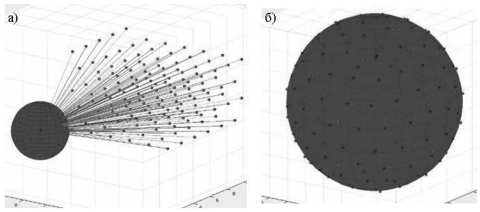


Рис. 4. Вывод группы из 150 БЛА на сферу «снаружи»:
а) начальная конфигурация, б) конечная конфигурация

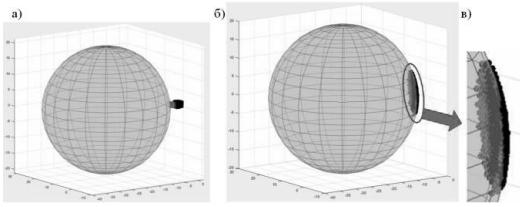


Рис. 5. Вывод группы из 1000 БЛА в «пятно» на сфере:
а) начальная конфигурация, б) конечная конфигурация,
в) «пятно»

Результаты исследований свидетельствуют об успешном решении задачи, демонстрируя при этом проявление детерминированного хаоса [32] динамической системы (8). В процессе полета БЛА внутри группы не сталкиваются между собой и не разлетаются за счет учета в (9) взаимодействия каждого БЛА со своими «соседями».

V. Заключение

Проведенные исследования позволяют сформулировать следующие выводы.

1) Результаты исследований для расширенного набора требуемых топологий свидетельствуют о широкой применимости предлагаемого способа решения задачи управления большими группами БЛА, основанного на рассмотрении группы как системы с распределенными параметрами (среды БЛА).

2) В качестве закона управления такой средой может быть выбран любой, аналогичный (10), в зависимости от требуемого качества решения задачи.

3) Далее будут получены различные критерии "сплошности" среды БЛА, исходя из возможности обеспечения информационного взаимодействия в группе между каждым БЛА и его «соседями».

Список литературы

[1] Современное состояние и перспективы развития беспилотных авиационных систем XXI века. Аналитический обзор по материалам зарубежных информационных источников. / Под ред. Е.А. Федосова. – М.: 2012 г.

[2] Комплексы с беспилотными летательными аппаратами. Книга 1. Принципы построения и особенности применения комплексов с БЛА. / Под ред. В.С. Вербы и Б.Г. Татарского. – М.: Радиотехника, 2016. – 512 с.

[3] Верба В.С., Меркулов В.И. Беспилотные летательные аппараты. Рой: за и против. // Радиоэлектронные технологии. 2017. №5. С. 42-45.

[4] Каляев И.А., Гайдук А.Р., Капустян С.Г. Модели и алгоритмы коллективного управления в группах роботов. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009. – 280 с.

[5] SPH Engineering Centralized Drone Management System http://www.sph-engineering.com/, UgCS Centralized drone management https://www.ugcs.com/).

[6] Самодов И.О., Дмитриев Д.А. Синтез алгоритма управления группой беспилотных летательных аппаратов с лидером. // Аэрокосмический научный журнал. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2015. №04. С.15–24. DOI: 10.7463/aersp.0415.0813298.

[7] Харьков В.П., Меркулов В.И. Синтез алгоритма иерархического управления группой БЛА. // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2012. №8. С. 61-67.

[8] Wei Meng, Zhirong He, Rong Su, Ahmad Reza Shehabinia, Liyong Lin, Rodney Teo, Lihua Xie. Decentralized Control of Multi-UAVs for Target Search, Tasking and Tracking. Proceedings of the 19th World Congress The International Federation of Automatic Control, Cape Town, South Africa, 2014, August 24-29, pp. 10048-10053.

[9] Shankarachary Ragi, Edwin K.P. Chong. Decentralized Guidance Control of UAVs with Explicit Optimization of Communication. Journal of Intelligent & Robotic Systems, January 2014, Volume 73, Issue 1-4, pp. 811-822.

[10] Nathan Michael Paczan, Michael John Elzinga, Raphael Hsieh, Luan Khai Nguyen. Collective unmanned aerial vehicle configurations. US20160378108A1. US Application. Current Assignee: Amazon Technologies Inc., Priority date 2015-02-19.

[11] Меркулов В.И., Харьков В.П., Шамаров Н.Н. Оптимизация коллективного управления группой беспилотных летательных аппаратов. // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2012. №7. С. 3-8.

[12] Controlling unmanned aerial vehicles as a flock to synchronize flight in aerial displays. US20140249693A1. US Application. Inventor: James Alexander Stark, Clifford Wong, Robert Scott Trowbridge. Current Assignee: Disney Enterprises Inc. Priority date: 2013-02-15.

[13] Меркулов В.И., Миляков Д.А., Самодов И.О. Оптимизация алгоритма группового управления беспилотными летательными аппаратами в составе локальной сети. // Известия ЮФУ. Технические науки. 2014. №12(161). С. 157-166.

[14] Бурый А.С., Фомичев И.Д. Мультиагентные модели управления группами автономных летательных аппаратов [Электронный ресурс]. // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования: Научный интернет-журнал. 2013. – №2(12).

[15] Амелин К.С., Граничин О.Н. Мультиагентное сетевое управление группой легких БПЛА. // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. 2011. №6. С. 64-72.

[16] В.К. Абросимов. Вопросы формализации траекторий движения стаи и роя объектов управления. XII Всероссийское совещание по проблемам управления (ВСПУ-2014). Москва, 16-19 июня 2014 г. С. 1922-1934.

[17] А.В. Леонов, В.А. Чаплышкин. Сети FANET. Омский научный вестник. 2015. №3(143). С. 297-301.

[18] Yuri K. Lopes, Stefan M. Trenkwalder, André B. Leal, Tony J. Dodd, Roderich Groß. Supervisory control theory applied to swarm robotics. Swarm Intell (2016) 10:65–97. DOI 10.1007/s11721-016-0119-0. http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs11721-016-0119-0.

[19] Barnes, Laura E., A potential field based formation control methodology for robot swarms (2008). Graduate School Theses and Dissertations. http://scholarcommons.usf.edu/etd/131.

[20] Department of Defense Announces Successful Micro-Drone Demonstration. Press Operations. Release No: NR-008-17 Jan. 9, 2017. Available at: https://www.defense.gov/News/News-Releases/News-Release-View/Article/1044811/department-of-defense-announces-successful-micro-drone-demonstration.

[21] Зельдович Я.Б., Мышкис А.Д. Элементы математической физики среды из невзаимодействующих частиц. – М.: Изд-во «Наука», 1973. – 351 с.

[22] Рапопорт Э.Я. Оптимальное управление системами с распределенными параметрами: Учеб. пособие / Э.Я. Рапопорт. – М.: Высш. Шк., 2009. – 677 с.

[23] Миляков Д.А. Об управлении большой группой беспилотных летательных аппаратов как системой с распределенными параметрами. Проблемы управления и моделирования в сложных системах: Труды XX международной конференции (3-6 сентября 2018 г. Самара, Россия). – Самара: ООО «Офорт», 2018. – 576 с. С. 176-181.

[24] Котельников В.А. О пропускной способности эфира и проволоки в электросвязи. Всесоюзный энергетический комитет. // Материалы к I Всесоюзному съезду по вопросам технической реконструкции дела связи и развития слаботочной промышленности, 1933. Репринт статьи в журнале УФН, 176:7 (2006), 762-770.

[25] А.М. Сарры, М.Ф. Сарры. О многочастичном взаимодействии. Журнал технической физики. 2014. Том 84. Вып. 4. С. 8-14.

[26] J. E. Jones. On the Determination of Molecular Fields. – I. From the Variation of the Viscosity of a Gas with Temperature. Proceedings of the Royal Society, 1924, Volume 106, issue 738, p. 441-462. DOI: 10.1098/rspa.1924.0081.

[27] J. E. Jones. On the determination of molecular fields. – II. From the equation of state of a gas. Proceedings of the Royal Society, 1924, Volume 106, issue 738, p. 463-477. DOI: 10.1098/rspa.

[28] Х.Т. Холмуродов, М.В. Алтайский, И.В. Пузынин, Т. Дардин, Ф.П. Филатов. Методы молекулярной динамики для моделирования физических и биологических процессов. Физика элементарных частиц и атомного ядра. 2003. Т. 34. Вып.2. С. 472-515.

[29] Loup Verlett. Computer “Experiments” on Classical Fluids. I. Thermodynamical Properties of Lennard-Jones Molecules. Physical Review. 1967, Vol. 159, №1, pp. 98-103.

[30] А.А. Кураев, А.О. Рак, С.В. Колосов, А.А. Короновский, А.Е. Храмов. Быстрый алгоритм численного интегрирования уравнений движения крупных частиц в приборах СВЧ. Журнал технической физики. 2014. Том 84. Вып. 3. С. 8-13.

[31] Бабенко К.И. Основы численного анализа. М.: Наука. 1986.

[32] Малинецкий Г.Г., Потапов А.Б., Подлазов А.В. Нелинейная динамика: подходы, результаты, надежды. М.: УРСС, 2006.

Интеллектуальная система диагностики агрегатов роботизированного автомобиля КАМАЗ

Орлов С.П.
Самарский государственный технический университет
г. Самара, Россия
orlovsp1946@gmail.com

Сусарев С.В.
Самарский государственный технический университет
г. Самара, Россия
susarev_sergey@mail.ru

Пугачев А.И.
Самарский государственный технический университет
г. Самара, Россия
pugachevai@mail.ru

***Abstract* — The report is devoted to the development of an intelligent system using artificial neural networks to monitor and diagnostic the technical states of a robotic vehicle. An urgent task is the continuous monitoring of the main unit states during operation. The absence of a driver makes it necessary to use smart technology to analyze information about the technical condition for the assessment and management decisions. In the report two approaches to the diagnosis of aggregates are considered. The first approach consists in remote control units for their thermal conditions using comparative infrared thermography. The neural network program analyzer is proposed. The neural network training is conducted both on real thermograms of aggregates and using model thermograms. During the operation of a robotic vehicle, continuous remote monitoring of the units is carried out using one or several thermal imagers. According to the measured thermograms, the neural network classifies states and determines the operability or failures in the aggregates. The second approach is related to the analysis of the history of measurement of the aggregate parameters, including using thermography. The artificial neural network during car operation predicts the behavior of the monitored units based on the evaluation of the time series of the parameters. This makes it possible to prevent failure of the most important units. The developed neural networks are focused on the control of the following systems and components of a robotic vehicle: engine, transmission, and the elements of the internal vehicle motion control system. The proposed solutions using neural networks provide a continuous and remote control of the car KAMAZ, which increases the reliability of agricultural robotic system.**

Ключевые слова — интеллектуальные системы, роботизированные системы, диагностика, искусственные нейронные сети

I. Введение

Современные робототехнические системы представляют собой сложные объекты, к которым предъявляют повышенные требования надежности и безопасности. В докладе рассмотрены вопросы диагностики технических состояний роботизированной системы на базе автомобиля КАМАЗ для сельскохозяйственного применения. Отсутствие водителя усложняет не только процесс управления движением, но влияет на контроль работоспособности важнейших агрегатов. Известные системы контроля в большинстве случаев ориентированы на регистрацию ограниченного числа параметров. При этом, как правило, происходит передача измерительной информации на удаленную систему управления и контроля беспилотным автомобилем [1-3]. Это приводит к задержке в реакции на нештатные ситуации и аварийные режимы.

Известны системы дистанционного контроля с использованием различных методов получения информации о технических состояниях объектов. Одним из эффективных способов является сравнительная инфракрасная термография [3, 4]. В этом случае тепловизор получает инфракрасное изображение (термограмму) температурного поля поверхности объекта. Анализ термограммы позволяет сделать вывод о его состоянии, выявить возможные причины отклонения температуры характерных областей от нормативных значений.

Авторами разработан ряд интеллектуальных информационно-измерительных систем для тепловизионной диагностики с использованием термограмм различных технических объектов: электронных приборов, элементов железнодорожных путей и контактной высоковольтной сети [5 – 7]. Предлагается использовать аналогичный подход к проектированию системы диагностики важнейших агрегатов роботизированного (беспилотного) автомобиля КАМАЗ. Это обеспечит дистанционный контроль, получение достоверной информации о технических состояниях, принятие решений в реальном времени.

II. Интеллектуализация процесса тепловизионной диагностики

Обозначим множество возможных состояний контролируемого агрегата $\{D_k\}, k = \overline{0, K}$, включающее K идентифицируемых неработоспособных состояний и одно состояние D_0, соответствующее нормальному режиму работы объекта. Обозначим $\{\Theta_i^k\}$ - множество термограмм, соответствующих k-му отказу или дефекту.

Следует отметить, что в общем случае задача классификации в такой постановке является некорректной обратной задачей. С целью достижения взаимно-однозначного соответствия между термограммами и состояниями контролируемого агрегата предлагается анализировать одновременно с термограммами поверхности некоторое множество $\{S_l(t)\}$ дополнительно измеряемых величин, L – число таких сигналов. Для этого используются встроенные датчики системы контроля.

©2019 ИПУСС РАН, СамГТУ, IEEE

Совместная обработка термограмм Θ_i^k и сигналов $S_l(t)$ в большинстве случаев регуляризирует обратную задачу классификации.

В статье предложено использовать для выполнения анализа указанной информации искусственные нейронные сети (ИНС). Преимущество такого подхода заключается в следующем:

- используются глубокие конволюционные нейронные сети, которые ориентированы на обработку изображений и с высокой степенью точности классифицируют образы [8];
- использование дополнительно измеряемых сигналов может быть реализовано введением в конволюционную ИНС добавочной ветви, имеющей более простую структуру, например, перцептрона [9];
- возможно использование гибридной нейронной сети, где дополнительной функцией будет анализ временных рядов измеряемых параметров, что позволит прогнозировать развитие аварийных состояний [7].

Структура такой гибридной нейронной сети приведена на рис. 1.

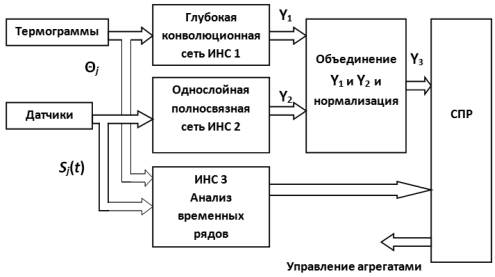


Рис. 1. Гибридная нейронная сеть для диаагностики агрегатов

Нейронные сети ИНС 1 и ИНС 2 формируют карты «черт» термограмм и параметров, и на последнем слое происходит объединение их выходных векторов Y_1 и Y_2 и нормализация. В результате получается вектор $Y_3 = F(\Theta_j, S_j(t))$, где F – дискретная функция на множестве $\{D_0, D_1, ..., D_K\}$, которая интерпретируется как вероятность классификации k-го технического состояния.

Нейронная сеть ИНС 3 используется для экстраполирования данных о тепловом поведении агрегата во времени при изменении внешних воздействующих факторов, приводящих к отказу агрегата. Это позволяет в реальном времени в процессе эксплуатации агрегата сделать прогноз о его работоспособности.

Пусть во время предыдущих N циклов измерений при контроле агрегата было получено множество временных рядов $Z_{nl}(t)$, $n = \overline{1,N}$, $l = \overline{1,L}$, которые хранятся в базе данных диагностики. При прогнозировании с помощью сети ИНС 3 анализируется временной ряд

$$Z_{kn}^M = Z_{kn}^M(t), Z_{kn}^M(t+1), ..., Z_{kn}^M(T-M+1),$$

который лежит внутри исходного наблюдаемого временного ряда. Параметр M – длина выборки с момента начала отсчета t, $M \in \{1, 2, ..., T\}$, $t \in \{1, 2, ..., T-M+1\}$, T - период наблюдения.

Задача прогноза состоит в том, чтобы найти в известных временных рядах участки изменений температуры поверхности агрегата и эксплуатационных параметров, предшествующих аварийному состоянию или отказу контролируемого агрегата.

Важнейшим фактором успешного использования нейронных сетей является наличие репрезентативной обучающей выборки. Она формируется на основе предыдущих данных о состоянии и отказах агрегатов, полученных как во время штатной эксплуатации, так и при стендовых испытаниях. В то же время на начальном этапе обучения таких термограмм может быть недостаточно. Авторами предложена методика создания обучающей выборки на основе использования модельных термограмм агрегатов. В этом случае строятся математические модели тепловых состояний, соответствующих работоспособным и неработоспособным техническим состояниям агрегата.

Модельная термограмма имеет важное преимущество: изменяя параметры модели, можно получить большое число термограмм, что увеличивает репрезентативность обучающей выборки. Затем в процессе работы в базе данных накапливается множество реальных термограмм, дополняющих обучающую выборку. Это дает возможность проводить дообучение нейронных сетей.

Для исследования эффективности обучающей выборки для дальнейшей классификации отказов и дефектов проведен анализ выборок с привлечением методов снижения размерности. Были использованы метод многомерного шкалирования (MDS) и метод T-распределенного стохастического встраивания соседей (t-SNE) [10, 11]. На рис. 2 и рис. 3 для примера в виде диаграмм показаны результаты анализа обучающей выборки для трех классов отказов.

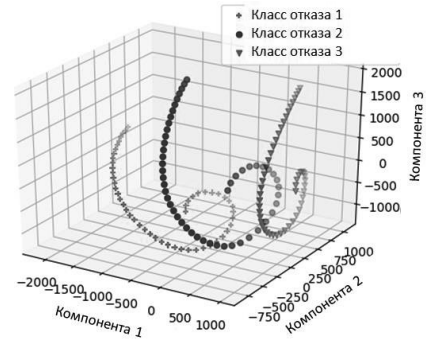


Рис. 2. Диаграмма разделения классов. Метод MDS

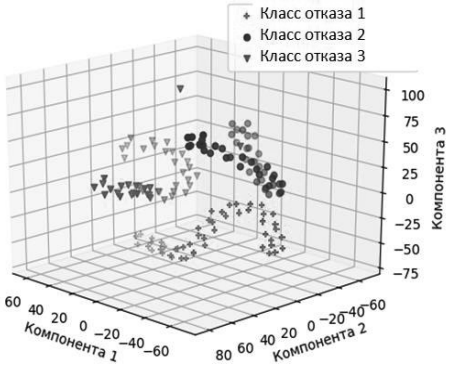


Рис. 3. Диаграмма разделения классов. Метод t-SNE

III. Интеллектуальная система диагностики роботизированного автомобиля

Эффективность применения искусственных нейронных сетей в беспилотных автомобилях находит все большее распространение. В работе [12] описана интегрированная система диагностики с использованием Интернета вещей (IoT) и облачных сервисов. В настоящем докладе развивается аналогичный подход, при котором диагностика автомобиля проводится методом сравнительной термографии с помощью встроенной интеллектуальной системы.

Техническое оснащение автомобиля КАМАЗ, обеспечивающее беспилотный режим, приведено на рис.4.

На рис. 5 показан комплекс агрегатов автомобиля, система управления, информационные сигналы и состав интеллектуальной информационно - измерительной системы технической диагностики агрегатов. Система диагностики располагается непосредственно на автомобиле. Нейронные сети реализованы в программном виде в бортовом компьютере.

Интеллектуальная ИИС технической диагностики включает в себя измерительные каналы с тепловизорами. Миниатюрный тепловизор Optis PI400 жестко фиксируется, и его оптическая ось направлена на конкретный контролируемый агрегат. Тепловизор марки FLIR E8 может менять поле зрения.

Обработку полученных термограмм агрегатов производит нейросетевой программный анализатор. В его состав входят гибридные нейронные сети, структура которых была приведена на рис. 1.

Система управления режимами автомобиля работает в режиме поддержки принятия решений и содержит базу знаний. На вход этой системы поступает выходная информация от нейронных сетей. В результате обнаружение нейросетевым программным анализатором некоторого отказа агрегата или предаварийного состояния запускает продукционный вывод по правилам, заложенным в базе правил с использованием базы фактов. Происходит генерация соответствующих сигналов управления режимами, вплоть до экстренной остановки и выключения агрегатов.

Описанная интеллектуальная система на основе искусственных нейронных сетей использована для создания мобильной диагностической системы в рамках выполнения проекта «Разработка роботизированной системы сельскохозяйственных автомобилей на базе семейства автомобилей «КАМАЗ» по Федеральной целевой программе «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014—2020 годы».

Рис. 4. Техническое оснащение беспилотного роботизированного автомобиля КАМАЗ

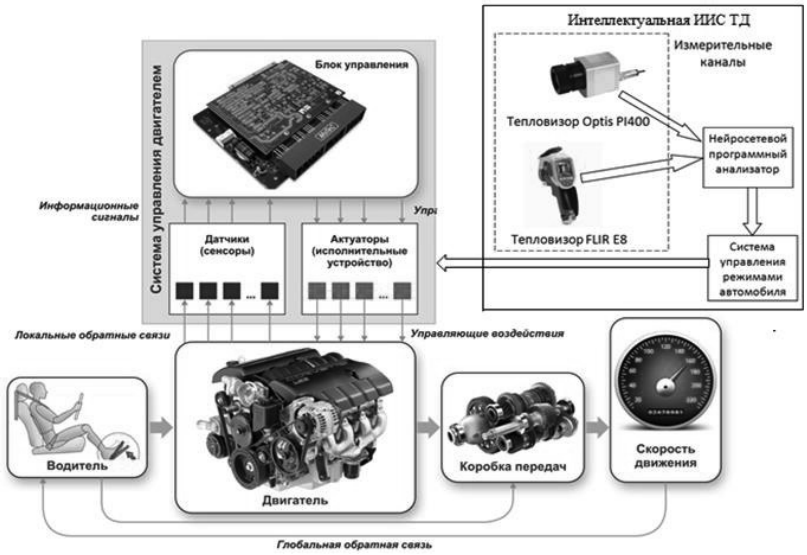


Рис. 5. Интеллектуальная ИИС технической диагностики в составе роботизированного автомобиля КАМАЗ

IV. Заключение

Разрабатываемая автономная диагностическая система с использованием интеллектуальных технологий обеспечивает оперативность в принятии решений и управлении агрегатами беспилотного автомобиля в реальном времени. При этом нет необходимости поддерживать постоянный трафик передачи информации для удаленной обработки и управления. Аналогичные системы на базе анализа термограмм могут быть использованы и в других объектах для автоматизации процесса обнаружения отказов и управления режимами работы.

Список литературы

[1] Хомченко В.Г., Соломин В.Ю. Мехатронные и робототехнические системы. – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2008.- 160 с.

[2] Сырямкин В.И. Информационные устройства и системы в робототехнике и мехатронике. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 2016. – 524 с.

[3] Artificial Intelligence and Autonomous Vehicles. URL: https://medium.com/datadriveninvestor/artificial-intelligence-and-autonomous-vehicles-ae877feb6cd2 (дата обращения 20.02.2019).

[4] Вавилов В.П. Инфракрасная термография и тепловой контроль. - М.: ИД Спектр, 2009.- 544 с.

[5] Maldague X.P.V. Nondestructive Evaluation of Materials by Infrared Thermography. - London: Springer-Verlag, 1993.

[6] Orlov S.P., Vasilchenko A.N. Intelligent measuring system for testing and failure analysis of electronic devices//Proceeding of the 2016 XIX IEEE International Conference on Soft Computing and Measurements, 2016. v.1. - pp.401-403.

[7] Орлов С.П., Гирин Р.В., Уютова О.Ю. Интеллектуализация информационно-измерительных систем контроля и диагностирования на основе нейросетевых технологий//Мягкие измерения и вычисления, 2018. № 4. - С.4-12.

[8] LeCun Y., Bottou L., Bengio Y., Haffner P. Gradient-based learning applied to document recognition//IEEE Press, 1998. - pp. 306-351.

[9] Girin R.V., Orlov S.P. The use of neural networks for testing and failure analysis of electronic devices//Proceeding of the II International Scientific-Practical Conference “Fuzzy Technologies in the Industry (FTI 2018)”. - CEUR-WS.org/Vol – 2258/paper21, 2018. - pp. 160-167.

[10] Borg I., Groenen P. Modern Multidimensional Scaling: Theory and Applications (Second Edition). - New York, NY: Springer, 2005.

[11] Van der Maaten L., Hinton G. Visualizing Data using t-SNE//Journ. of Machine Learning Research, 2008, vol. 9. - pp. 2579 – 2605.

[12] YiNa Jeong, SuRak Son, EunHee Jeong, ByungKwan Lee. An Integrated Self-Diagnosis System for an Autonomous Vehicle Based on an IoT Gateway and Deep Learning//Appl. Sci. 8(7), 2018. - pp.1164; https://doi.org/10.3390/app8071164.

Синергетическое управление мобильным самобалансирующимся роботом

Подвальный С.Л.
Воронежский государственный технический университет
Воронеж, Россия
spodvalny@yandex.ru

Васильев Е.М.
Воронежский государственный технический университет
Воронеж, Россия
vgtu-aits@yandex.ru

***Abstract* — This article is devoted to an automatic motion control of the mobile self-balanced robot installed on a two-wheeled gyroscopic platform. The traditional solution of this task is to generate the control action for the engines of the wheels that would combine the process of stabilization of horizontal position of the platform and its movement along the preset trajectory. Generally, when the frequency division or phase separation of these processes is impossible, then the position control and control of robot's motion interfere and exert the mutual perturbating effect. This influence is caused by kinematic and dynamic interrelations of coordinates of the mechanical system which is balancing freely on the mobile axis: any attempt to start movement or to deviate from the uniform rectilinear motion is accompanied inevitably with the deviation of the robot's longitudinal axis whereas any inclination of the platform leads to the emergence of the torques which move the platform on the surface of rolling. Any intention to suppress the internal interdependence of the coordinates of the system leads to further complication of control algorithms which requires considerable energy resources, viz., the overestimated power of engines and the capacities of storage batteries. To eliminate these fundamental shortcomings the synergetic approach is offered realizing the control of the considered system, i.e., to enter an additional minor operating influence – the position of the center of mass of a system. Working off this influence is carried out by the intrinsic kinematic and dynamic interrelations of the coordinates of a platform. As a result the system movement arises providing the matched solution for both the stabilization of the platform position and its coplanar motion. The two-member return pendulum kinematic scheme with the slowed-down hinge between the links was used for simulation and realization of this control mode. The motion of the system's center of mass is realized in the form of angular deviation of the top link of a pendulum to the required angle. The mathematical model was built basing on the Lagrange's equations for kinetic energy of a system in the generalized coordinates in the form of two nonlinear differential equations of the second order. The center of masses position is entered to these equations in the form of a parameter. Indistinct regulators for each channel of regulation are synthesized and the results of operability test of the offered automatic motion control are presented.**

Ключевые слова — синергетическое управление, мобильные роботы, управление перемещением центра масс

I. Введение

К мобильным самобалансирующимся роботам относятся исполнительные механизмы, установленные на несущей платформе с двумя соосными колёсами или одной шаровой опорой [1-3]. Преимуществом такой кинематической схемы движения является высокая манёвренность робота, необходимая для его перемещения в условиях ограниченного пространства или при совместной работе с несколькими мобильными механизмами.

Однако указанное достоинство неразрывно связано с принципиальным недостатком робота: неустойчивостью его вертикального положения. В связи с этим любое движение платформы включает в себя не только её линейное перемещение на плоскости, но и процесс угловой стабилизации продольной оси робота в вертикальном положении – балансировку [4,5]. Совместная реализация процессов перемещения и стабилизации в большинстве случаев осуществляется одним управляющим воздействием: вращающим моментом двигателей, встроенных в колёса. Анализ физического содержания такого способа управления указывает на его внутреннюю несогласованность: всякая попытка линейного перемещения платформы приводит к нарушению балансировки робота, и в то же время стремление восстановить вертикальное положение неизбежно отразится на характеристиках линейного перемещения платформы.

Такое взаимное влияние указанных процессов обусловлено собственными свойствами робота как объекта управления. Очевидно, что обеспечить согласованное управление этими двумя процессами возможно только в том случае, если в системе будет организовано также два канала регулирования и, соответственно, два управляющих воздействия. Иным словами, необходимо построение многомерной системы управления.

Практическое воплощение такой системы возможно на основе двух подходов:

1) обеспечить автономность регулирования линейными и угловыми координатами робота;
2) обеспечить связанное регулирование этих координат на базе синергетического подхода к управлению, т.е. использовать собственные, внутренних взаимосвязи координат объекта для достижения цели управления.

При этом под синергетическим управлением понимается здесь внутренне непротиворечивое, согласованное изменения этих координат. Вырабатываемое системой управление линейными и угловыми координатами робота должно действовать не вопреки, а в точном соответствии с физическими взаимосвязями между указанными координатами. В качестве положительного эффекта такого синергетического управления следует ожидать значительное упрощение алгоритмов управления и снижение мощности управляющих воздействий.

©2019 ИПУСС РАН, СамГТУ, IEEE

Задача управления на основе первого подхода решена достаточно полно [1-5]. Настоящая работа посвящена менее изученному – синергетическому подходу к управлению самобалансирующимся роботом.

II. Способ реализации синергетического управления

Для реализации синергетического управления рассматриваемым объектом предлагается воспользоваться решением аналогичной задачи в подвижном транспортном средстве – «сегвее». Управление сегвеем осуществляется оператором человеком, располагающимся непосредственно на платформе, рис. 1.

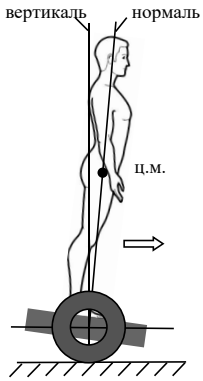


Рис. 1. Схема управления сегвеем (ц.м. – центр масс)

Выделим следующие этапы взаимодействия сегвея и оператора:

- Начальное неподвижное состояние. Продольные оси платформы и оператора совпадают и занимают вертикальное положение. Центр массы оператора не смещён относительно оси колёс.
- Начало движения и набор скорости. Оператор смещает центр масс вперёд. Возникает момент силы тяжести, под действием которого продольная ось оператора вместе с платформой начинает поворачиваться по часовой стрелке, т.е. равновесие нарушается, рис. 1. Возникающее при этом угловое отклонение оси платформы обнаруживается гироскопическими датчиками и начинает работать контур стабилизации положения платформы. Двигатели колёс развивают момент, восстанавливающий равновесие. При этом, если этот момент достаточен для преодоления сил трения покоя, колёса начнут вращаться по ходу часовой стрелки, и платформа будет двигаться направо с постоянным ускорением.
- После достижения нужного значения скорости оператор выпрямляется, но не до исходного вертикального положения, а настолько, чтобы момент силы тяжести сравнялся с моментом сил трения качения. Такое положение центра масс будет соответствовать состоянию равновесия в системе и равномерному прямолинейному движению стабилизированной платформы.

Рассмотренный способ управления полностью отвечает концепции синергетического управления [6,7]:

1) обеспечивает декомпозицию системы на два канала управления верхнего и нижнего уровня: канал перемещения центра масс и канал управления вращением колёс;
2) управление верхнего уровня обладает малой мощностью и вызывает движение системы, обусловленное исключительное её собственными кинематическими свойствами;
3) согласование управляющих воздействий каждого уровня происходит не в результате организации соответствующих перекрёстных связей в регуляторе, а вследствие существования перекрёстных связей внутри самого объекта управления.

Формальная постановка изложенной задачи может быть представлена в виде: для многосвязного объекта $y(s) = W(s)\cdot u(s)+F(s)\cdot f(s)$ с недиагональной передаточной матрицей $W(s)$ найти автономное управление $u_i(s) = R_i(s)\cdot\varepsilon_i(s)$, $i = 1,2$ с передаточными матрицами $R_i(s)$. Найденное управление должно обеспечить нулевые установившиеся отклонения $\varepsilon_i(s)$ регулируемых величин $y_i(s)$ от задающих воздействий $g_i(s)$ при наличии возмущений $f(s)$, действующих на объект в соответствии с передаточной матрицей $F(s)$.

Перейдём к реализации описанного способа управления и последующей его численной проверке на имитационной модели.

III. Модель робота как объекта управления

A. Кинематическая схема

Кинематическая схема робота показана на рис. 2 и представляет собою двухзвенный перевёрнутый маятник, звенья которого соединены заторможенным шарниром, рис. 2.

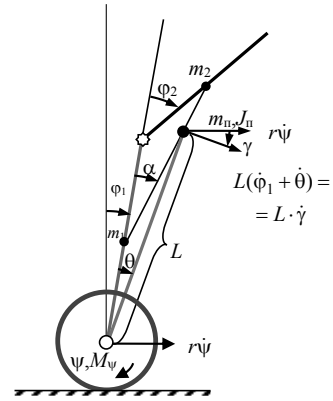


Рис. 2. Кинематическая схема робота как объекта управления

Нижнее звено 1 связано с колесами через свободно вращающуюся ось. Вращающие моменты $M_{дв}$ электродвигателей действует на соответствующие колеса и в обратном направлении на звено 1. Угловое отклонение φ_2 звена 2 от продольной оси звена 1 может изменяться переносом центра масс звена 2 вперед или назад, имитируя, тем самым, действия оператора, описанные в п. II.

Рассматриваемая система имеет две регулируемых величины: угловое отклонение φ_1 продольной оси от вертикали и угол ψ поворота колёс; два управляющих воздействия: угловое отклонение φ_2 звена 2 от продольной оси звена 1, создающее вращающий момент силы тяжести, и напряжение питания двигателей U (вращающий момент двигателей). Возмущающее воздействие – момент $M_{т.к.}$ трения качения колес.

B. Динамическая модель

Для составления уравнений движения рассматриваемой механической системы необходимо ввести в рассмотрение следующие параметры её элементов: m_1 и m_2 – массы звеньев; L_1 и L_2 – расстояния центров масс m_1 до оси колес и m_2 до шарнира; J_1 и J_2 – моменты инерции звеньев относительно центров их масс; g – ускорение свободного падения; $m_к$ – масса колеса; r – радиус колеса; $J_к$ – момент инерции колеса; $k_{тр}$ – коэффициент трения качения колеса; R – сопротивление якорной обмотки двигателя постоянного тока; C_e, $C_м$ – постоянные по противоЭДС и моменту двигателя.

Модель полученной системы составлялась на основе уравнений Лагранжа (1) для координат ψ и $\varphi_1 + \theta = \gamma$, где θ – угол между продольной осью робота и её расчетной осью, проходящей через приведённый центр масс $m_п = m_1 + m_2$ и ось вращения колес, рис. 2.

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt}\left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\psi}}\right) - \frac{\partial T}{\partial \psi} &= M_\psi; \\ \frac{d}{dt}\left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\gamma}}\right) - \frac{\partial T}{\partial \gamma} &= M_\gamma, \end{aligned} \tag{1}$$

где M_ψ и M_γ – моменты, действующие на колеса и платформу соответственно; T – кинетическая энергия системы [8]:

$$T = 2T_к + T_п, \tag{2}$$

$T_к$ и $T_п$ – кинетические энергии колеса и платформы соответственно:

$$T_к = \frac{J_к \cdot \dot{\psi}^2}{2} + \frac{m_к \cdot (r\dot{\psi})^2}{2}; \tag{3}$$

$$T_п = \frac{J_п(\dot{\varphi}_1 + \dot{\theta})^2}{2} + \frac{m_п v_п^2}{2}, \tag{4}$$

$v_п$ – абсолютная скорость приведённого центра масс:

$$\begin{aligned} v_п^2 &= (r\dot{\psi})^2 + (L(\dot{\varphi}_1 + \dot{\theta}))^2 + \\ &+ 2rL\dot{\psi}(\dot{\varphi}_1 + \dot{\theta}) \cdot \cos(\varphi_1 + \theta). \end{aligned} \tag{5}$$

Подстановка (5) в (3),(4) и, далее, (3) и (4) в (2) даёт выражение для полной кинетической энергии системы:

$$\begin{aligned} T = &\left(m_к \cdot r^2 + J_к + \frac{m_п r^2}{2}\right) \cdot \dot{\psi}^2 + \\ &+ \left(\frac{m_п L^2 + J_п}{2}\right) \cdot \dot{\gamma}^2 + m_п rL\dot{\psi}\dot{\gamma} \cdot \cos(\gamma), \end{aligned} \tag{6}$$

где $J_п$ – момент инерции всей системы относительно центра ее масс:

$$J_п = J_1 + J_2 + m_1 d^2 + m_2 (D - d)^2. \tag{7}$$

Величины $J_п$, L и γ являются функциями от управляющего воздействия φ_2: $J_п(\varphi_2)$ $L(\varphi_2)$ и $\gamma(\varphi_2)$. Найдём выражения для этих функций.

Из рис. 2 определим расстояние D между сосредоточенными массами m_1 и m_2:

$$D = \sqrt{L_1^2 + L_2^2 - 2L_1 L_2 \cos(\pi - \varphi_2)}, \tag{8}$$

расстояние d между центрами m_1 и $m_п$:

$$d = \frac{D \cdot m_2}{m_п}, \tag{9}$$

длину L приведённого однозвенного маятника и угол θ:

$$L = \sqrt{L_1^2 + d^2 - 2L_1 d \cos(\pi - \alpha)}, \tag{10}$$

$$\cos(\alpha) = \frac{L_1^2 + D^2 - L_2^2}{2L_1 D}, \tag{11}$$

$$\cos(\theta) = \frac{L_1^2 + L^2 - d^2}{2L_1 L}. \tag{12}$$

Подставляя (8), (9), (11) в (7), (10) и (12) найдём $J_п(\varphi_2)$ $L(\varphi_2)$ и $\gamma(\varphi_2)$.

$$J_п(\varphi_2) = \frac{\left(L_1^2 + L_2^2 + 2L_1 L_2 \cos(\varphi_2)\right) m_1 m_2}{m_п} + J_1 + J_2, \tag{13}$$

$$\begin{aligned} L(\varphi_2) = &\left(2L_1 L_2 \frac{m_2}{m_п}\left(\frac{m_2}{m_п} + 1\right)\cos(\varphi_2) + \right. \\ &\left. + L_1^2 + \left(L_1^2 + L_2^2\right)\frac{m_2^2}{m_п^2} + 2\frac{m_2}{m_п}L_1^2\right)^{\frac{1}{2}}, \end{aligned} \tag{14}$$

$$\theta(\varphi_2) = \mathrm{a}\cos\left(\frac{L_1^2 + \frac{m_2}{m_\text{п}}\left(L_1^2 + L_1 L_2 \cos(\varphi_2)\right)}{L_1 L(\varphi_2)}\right). \quad (15)$$

Моменты M_ψ и M_γ в правой части (1) определяются выражениями:

$$M_\psi = 2M_\text{дв} - (m_\text{п} + 2m_\text{к}) g k_\text{тр} \cdot \text{sign}(\dot\psi); \quad (16)$$

$$M_\gamma = m_\text{п} g L \cdot \sin(\gamma) - 2M_\text{дв}, \quad (17)$$

где

$$M_\text{дв} = \frac{U - C_e(\dot\psi - \dot\varphi_1)}{R} \cdot C_\text{м}. \quad (18)$$

Вычислим компоненты (1):

$$\frac{\partial T}{\partial \dot\psi} = \left(2m_\text{к} \cdot r^2 + 2J_\text{к} + m_\text{п} r^2\right) \cdot \dot\psi + m_\text{п} r L \dot\gamma \cdot \cos(\gamma);$$

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial T}{\partial \dot\psi}\right) = \left(2m_\text{к} \cdot r^2 + 2J_\text{к} + m_\text{п} r^2\right) \cdot \ddot\psi + \quad (19)$$

$$+ m_\text{п} r L (\ddot\gamma \cdot \cos(\gamma) - \dot\gamma^2 \cdot \sin(\gamma));$$

$$\frac{\partial T}{\partial \psi} = 0; \quad (20)$$

$$\frac{\partial T}{\partial \dot\gamma} = \left(m_\text{п} L^2 + J_\text{п}\right) \cdot \dot\gamma + m_\text{п} r L \dot\psi \cdot \cos(\gamma);$$

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial T}{\partial \dot\gamma}\right) = \left(m_\text{п} L^2 + J_\text{п}\right) \cdot \ddot\gamma + \quad (21)$$

$$+ m_\text{п} r L (\ddot\psi \cdot \cos(\gamma) - \dot\psi \dot\gamma \cdot \sin(\gamma));$$

$$\frac{\partial T}{\partial \gamma} = -m_\text{п} r L \dot\psi \dot\gamma \cdot \sin(\gamma). \quad (22)$$

После подстановки (16)-(22) в (1) получим искомую динамическую модель робота:

$$\left(m_\text{п} L^2 + J_\text{п}\right) \cdot \ddot\gamma + m_\text{п} r L \cdot \cos(\gamma) \cdot \ddot\psi = \\ = m_\text{п} g L \cdot \sin(\gamma) - 2\frac{U - C_e(\dot\psi - \dot\varphi_1)}{R} \cdot C_\text{м}; \quad (23)$$

$$\left(2m_\text{к} \cdot r^2 + 2J_\text{к} + m_\text{п} r^2\right) \cdot \ddot\psi + m_\text{п} r L (\ddot\gamma \cdot \cos(\gamma) - \\ - \dot\gamma^2 \cdot \sin(\gamma)) = 2\frac{U - C_e(\dot\psi - \dot\varphi_1)}{R} \cdot C_\text{м} - \quad (24)$$

$$- (m_\text{п} + 2m_\text{к}) g \cdot k_\text{тр} \cdot \text{sign}(\dot\psi).$$

Полученная модель содержит два нелинейных дифференциальных уравнения второго порядка относительно регулируемых координат ψ и $\varphi_1 = \gamma - \theta$. Напряжение U и угол φ_2 входят в уравнения как внешние управляющие воздействия.

C. Проверка адекватности модели

Проверка адекватности модели (23), (24) проводилась в математическом пакете MatLab для двух режимов движения. На рис. 3а представлено начало движения платформы с постоянным угловым смещением $\varphi_2 = 10{,}6$ град ($\approx 0{,}184$ рад) верхнего звена 2 относительно нижнего звена 1. При этом платформа теряет равновесие и её положение стремится к устойчивому, но нерабочему значению $\varphi_1 = \pi$ рад. Если в момент $t = 1{,}5$ с (рис. 3б) значение φ_2 незначительно уменьшить (примерно до 0,183 рад), то платформа продолжает движение без потери равновесия. Таким образом, модель адекватно воспроизводит физические особенности движения, робота, рассмотренные выше.

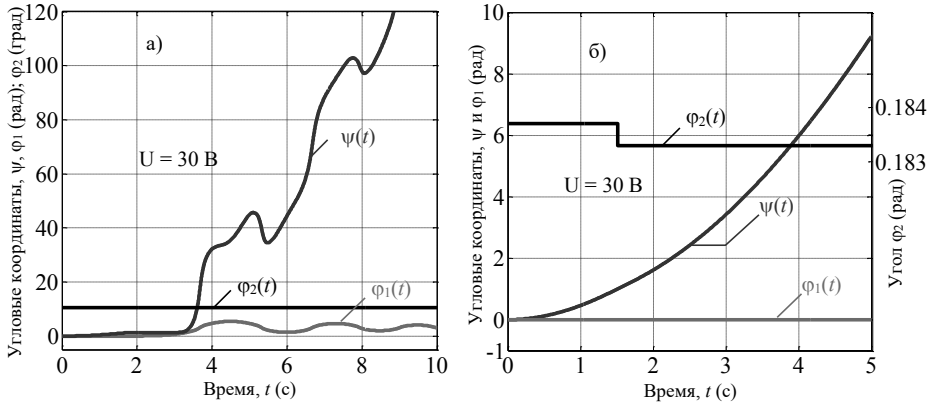


Рис. 3. Результаты проверки адекватности модели: а) движение с постоянным наклоном $\varphi_2 = \text{const}$; б) движение с переменным значением φ_2, уменьшенным в момент времени $t = 1{,}5$ с.

IV. Система управления

A. Структура системы

Приведённый в разделе II содержательный анализ выбранного способа управления роботом указывает на необходимость реализации в системе двух контуров регулирования: контура регулирования линейного перемещения, или угловой скорости $\dot{\psi}$ вращения колёс, и контура стабилизации углового положения продольной оси робота, т.е. её отклонения φ_1 от вертикали, рис. 4.

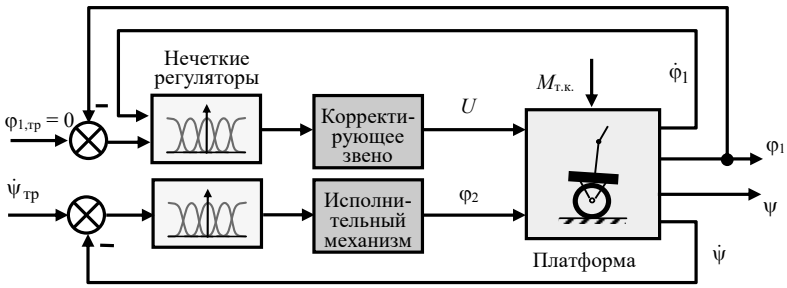


Рис. 4. Общий состав системы управления

Поскольку контур стабилизации не должен допускать возникновения колебаний в положении платформы, то с целью демпфирования возможных колебаний введём в этот контур производную координаты φ_1 – скорость $\dot{\varphi}_1$. Кроме того, учитывая антропогенные истоки описанного выше синергетического алгоритма управления и существенную нелинейность системы (см. модель (23), (24)), применим в системе нечёткие регуляторы, хорошо приспособленные для управления нелинейными объектами [9-11].

Кроме перечисленных узлов на рис. 4 отражены исполнительный механизм, представляющий собою малоинерционный линейный двигатель, перемещающий «управляющий» груз малой массы, а также корректирующее звено, содержащее интегратор для обеспечения астатизма контура регулирования φ_1.

B. Регуляторы

Нечёткий регулятор контура стабилизации использует лингвистические переменные $\alpha = \widetilde{\varphi}_1$ и $\beta = \widetilde{\dot{\varphi}}_1$ с пятью соответствующими значениями:

$$\alpha = \{\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4, \alpha_5\}, \quad (25)$$

$$\beta = \{\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, \beta_5\}, \quad (26)$$

например: α_1 – отклонение углового положения платформы от вертикали отрицательное и значительное;… α_3 – отклонение близко к нулю;…; α_5 – значительное положительное отклонение. Используемые функции принадлежности $\mu_{\alpha 1}(\varphi_1),\ldots, \mu_{\alpha 5}(\varphi_1)$ показаны на рис. 5. Выходная лингвистическая переменная $\gamma = \widetilde{U}$ также содержит пять значений:

$$\gamma = \{\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3, \gamma_4, \gamma_5\}, \quad (27)$$

где γ_1 – существенно уменьшить напряжение U питания;…; γ_3 – практически не изменять и т.д.

Решающие правила $\alpha_i \,\&\, \beta_i \to \gamma_i$ $(i = 1,\ldots,5)$ для регулятора контура стабилизации рассматривают 25 сочетаний значений α и β, таблица I (в скобках указаны неединичные весовые коэффициенты значения γ_i).

Регулятор контура линейного перемещения построен аналогично.

ТАБЛИЦА I. Нечёткие значения выходной величины γ регулятора контура стабилизации

Значение величины α	Значение величины β				
	β_1	β_2	β_3	β_4	β_5
α_1	γ_1	γ_1	$\gamma_1(0,1)$	γ_2	γ_3
α_2	γ_1	γ_1	γ_2	γ_3	γ_4
α_3	γ_2	γ_2	γ_3	γ_4	γ_4
α_4	γ_2	γ_3	γ_4	γ_5	γ_5
α_5	γ_3	γ_4	$\gamma_5(0,1)$	γ_5	γ_5

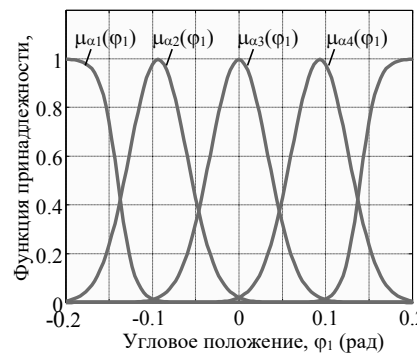


Рис. 5. Функции принадлежности μ_α регулятора

C. Проверка работоспособности системы

Работоспособность предложенного алгоритма управления проверялась для двух режимов работы системы: режима стабилизации вертикального положения робота и режима набора заданной скорости линейного перемещения, рис. 6.

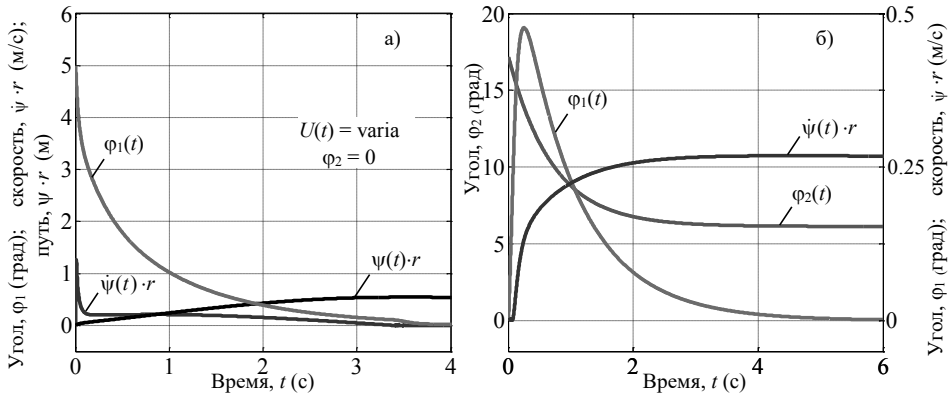


Рис. 6. Проверка работоспособности системы в двух режимах: а) приведение в вертикальное положение при начальном отклонении $\varphi_1(0) = 5$ град; б) разгон платформы из неподвижного состояния до линейной скорости 0,26 м/с

На рис. 6а показано приведение робота в вертикальное положение при начальном наклоне $\varphi_1(0) = 5$ град: платформа быстро начинает двигаться в направлении наметившегося падения и затем плавно восстанавливает равновесие $\varphi_1 = 0$ град, переместившись для этого на 0,5 м вперёд.

Разгон платформы (рис. 6,б) осуществлялся путём первоначального отклонения верхнего звена на угол $\varphi_2(0) = 17$ град. Платформа наклоняется на 0,5 град и постепенно набирает заданную скорость 0,26 м/с. При этом её вертикальное положение восстанавливается $\varphi_1(6) \approx 0$ град, а угол наклона φ_2 стремится к значению примерно 6 град, необходимому для создания момента силы тяжести, равному моменту сил трения качения.

Таким образом, система полностью воспроизводит заданные алгоритмы управления.

V. Заключение

Предложенный способ реализации синергетического подхода к задаче управления самобалансирующимся роботом путём дополнительного перемещения центра его масс позволяет:

1) осуществить связанное управление координатами робота не за счёт создания искусственных перекрёстных связей в регуляторе, а в результате использования собственных, внутренних взаимосвязей между этими координатами в объекте;

2) проектировать автономные, независимые регуляторы для каждого канала управления роботом и, как следствие, упростить алгоритмы их функционирования;

3) использовать маломощные исполнительные механизмы перемещения центра масс, освободив от этой функции основной привод двигателей колёс и снизив, тем самым, энергопотребление от аккумуляторов.

Список литературы

[1] Черноусько Ф.Л., Болотник Н.Н., Градецкий В.Г. Мобильные роботы: проблемы управления и оптимизации движения // XII Всероссийское совещание по проблемам управления. – М.: ИПУ им. В.А. Трапезникова РАН, 2014. – С. 67-78.

[2] Stilman M., Olson J., Gloss W. Golem Krang: Dynamically Stable Humanoid Robot for Mobile Manipulation // Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2010. – P. 3304-3309.

[3] Nagarajan U., Kantor G.A., Hollis R. Integrated Planning and Control for Graceful Navigation of Shape-Accelerated Underactuated Balancing Mobile Robots // Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2012. – P. 136-141.

[4] Белотелов В.Н., Мартыненко Ю.Г. Управление пространственным движением перевернутого маятника, установленного на колесной паре // Известия РАН. Механика твердого тела, 2006. №6. – С. 10-28.

[5] Kolhe P., Dantam N., Stilman M. Dynamic Pushing Strategies for Dynamically Stable Mobile Manipulators // Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2010. – P. 3745-3750.

[6] Podvalny S.L., Vasiljev E.M. A Multi-alternative Approach to Control in Open Systems: Origins, Current State, and Future Prospects // Automation and Remote Control, 2015. Vol. 76, No. 8. – P. 1471-1499.

[7] Podvalny S.L, Vasiljev E.M., Barabanov V.F. Models of Multi-alternative Control and Decision-making in Complex Systems // Automation and Remote Control, 2014. Vol. 75, No. 10. – P. 1886-1890.

[8] Федоров Д.С., Ивойлов А.Ю., Жмудь В.А., Трубин В.Г. Разработка системы стабилизации угла отклонения балансирующего робота // Автоматика и программная инженерия, 2015. №2(12). – С. 16-34.

[9] Васильев Е.М., Прокофьева Д.М. Нечеткое управление структурно неустойчивыми объектами // Вестник Воронежского государственного технического университета, 2012. Т. 8, №10.1. – С. 8-12.

[10] Корнилков А.Н., Липатников Н.Г., Хижняков Ю.Н. Разработка системы управления “сегвей” на базе адаптивного нечеткого регулятора // Вестник Пермского национального исследовательского университета, 2016. №19. – С.69-79.

[11] Васильев Е.М., Скобов Э.А. Управление подвижной платформой с гироскопической стабилизацией // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика, 2018. №6(42). – С. 49-52.

Робоавтомобиль Нива: алгоритмы управления

Подопросветов А. В.
ИПМ им. М. В. Келдыша РАН
Москва, Россия
llecxis@gmail.com

Павловский В.Е.
ИПМ им. М. В. Келдыша РАН
Москва, Россия
vlpavl@mail.ru

Кий К.И.
ИПМ им. М. В. Келдыша РАН
Москва, Россия
kikip_46@mail.ru

Анохин Д. А.
РГГУ, Отделение интеллектуальных систем в гуманитарной сфере
Москва, Россия
anodmitry@rggu.ru

***Abstract* — This research is devoted to the implementation of a multi-level control software package on the autonomous vehicle Niva. The paper focuses on the real-time trajectory planning with the help of computer vision system and low level lane-keeping system that make a vehicle track traveling lane. This work contains the description and results of the experiments and plans for further research.**

Ключевые слова — автономное следование полосы, планирование траектории в реальном времени, машинное зрение.

I. Введение

Технологии автономного вождения имеют огромный потенциал, связанный с повышением безопасности вождения за счет уменьшения количества дорожно-транспортных происшествий и гибели людей, вызванных человеческими ошибками. Кроме того, возможно повышение эффективности вождения за счет сокращения пробок на дорогах и обеспечения мобильности для людей, которые не могут управлять автомобилем. Полностью автономное вождение является конечной целью развития систем помощи водителю [1]. На протяжении последних десятилетий произошло значительное развитие технологий автономного вождения, которые привлекли большое внимание как научных кругов, так и промышленности [2], [3], [4].

В последние годы большое количество работ было посвящено решению проблемы планирования движения для AGV (autonomous ground vehicles). Рассматриваемые подходы условно можно разделить на два класса. Первый основывается на вычислении путей без столкновений с использованием детерминированного поиска по графу, например, Hybrid A * в [5] и [6], подходов с решеткой состояний в [7] и [8], или алгоритмов на основе случайной выборки, Rapidly-exploring random tree (RRT) [9]. Большинство из подходов, основанных на поиске по графу, способны вычислять длительные пути без столкновений в загроможденных средах и предотвращают застревание автомобиля в локальных минимумах. Данные алгоритмы планирования движения на основе траектории подходят для AGV, ориентирующихся в сложных неизвестных средах на низких скоростях. Однако большинство из этих алгоритмов предполагают, что среды являются статическими в каждом цикле планирования. Кроме того, сгенерированные пути часто состоят из составных кратковременных предварительно вычисленных примитивов движения, не учитывающих изменения скорости. Более того, данные алгоритмы требуют огромных вычислительных мощностей для работы в режиме реального времени. Таким образом, данные алгоритмы поиска по графу не подходят для транспортных средств, движущихся в городских условиях и на шоссе робоавтомобиля АвтоНива.

Вторым подходом является стратегия планирования, основаная на дискретной схеме оптимизации. Когда транспортные средства движутся в структурированной среде, допустимые пути часто строго ограничены геометрией дорог, что значительно сокращает пространство решений. Однако из-за присутствия участников с непредсказуемым движением планирование пути должно учитывать как перестроения, так и движение вдоль дороги. Для прогнозирования возможных траекторий в работе [10] предложена модель планирования движения: управляющими входами являются полиномы кривизны, которые значительно сокращают пространство решений и гарантируют осуществимость генерируемых траекторий. Аналогичный подход в работе [11] порождает конечное множество отклонений от траектории движения с различными боковыми перестроениями. Данный подход используется в работе [12] при рассмотрении как перестроения, так и продольного движения в пределах улицы. Принимая во внимание модель движения транспортного средства и соответствующие законы управления с обратной связью, в работах [13] и [9] строится планирование движения, основанное на выборке, обеспечивающей точное отслеживание сгенерированных траекторий.

Большая часть предыдущих работ не учитывает неопределенности прогноза и взаимодействия с другими участниками дорожного движения. Для оценки безопасности планируемых маршрутов в работах [14] и [15] неопределенности, возникающие из-за измерений и возможного поведения других участников дорожного движения, рассматриваются стохастическим образом. Кроме того, явно учтены взаимодействие с другими участниками дорожного движения и ограничения маневров вождения, связанные с геометрии дороги. В [16] представлено компактное представление для дорожной среды и карта динамической вероятностной управляемости (DPDM) для прогнозируемого изменения полосы движения и помощи водителю во время вождения.

Данное исследование посвящено созданию автономного роботизированного автомобиля Нива, предназначенного для проезда как по реальным дорогам, так и по пересеченной местности. В рамках исследования была создана многоуровневая система управления, решающая задачи планирования траектории, распознавания ряда объектов по периметру автомобиля, управления исполняющими органами.

Робота поддержана Российским фондом фундаментальных исследований, проекты 18-07-00127, 19-08-01159.

©2019 ИПУСС РАН, СамГТУ, IEEE

В данной работе описан алгоритм построения и исполнения программной траектории в условиях реального времени. Алгоритм построения получает на вход последовательности предобработанных данных с камер по периметру автомобиля, целевой вектор локального направления движения, ограничения, вводимые знаками дорожного движения. Далее локальное прогнозирование траектории передаёт одну из пяти команд исполняющим органам: поддержание полосы, перестроение направо, налево, поворот направо, налево. В рамках данной работы будет рассматриваться самый простой случай поддержания полосы.

II. Описания окружения

Для робоавтомобиля рис 1. разработана архитектура многоуровневой системы управления, представленной на рис. 2.

Рис. 1. Общий вид робоавтомобиля Нива

Система состоит из множества модулей, таких как датчики, локальная система координат - карта, системы картирования и локализации, планировщик задач, планировщик маршрутов, планировщик действий, планировщик траекторий, а также контроллеры слежения и управления исполнительными механизмами низкого уровня. Датчики, такие как LiDAR, радары, камеры, предоставляют информацию об окружающей среде в режиме реального времени. Кроме того, другие датчики, такие как GPS в сочетании с инерциальным измерительным блоком (IMU) и датчиками угловых скоростей, используются для получения приблизительной информации о местонахождении автомобиля. Сенсорная информация в основном применяется для двух целей: во-первых, для системы восприятия, такой, как обнаружение разметки полос движения, светофоров, а также статических и динамических объектов (например, пешеходов, велосипедистов и транспортных средств); во-вторых, для реализации точной и надежной локализации. Многие исследователи также используют преимущества технологий картографирования и локализации, основанных на GPS и IMU в сочетании с данными реального времени, полученных с лазерных сканеров [17], [18], [19], или данными с камер [20], [21], [22].

III. Основные модули системы компьютерного зрения

Система компьютерного зрения построена на основе глобального анализа кадров, применяющего метод геометризованных гистограмм для сегментации и описания цветных изображений [23].

Рис. 2. Архитектура системы управления

Данный метод позволяет строить в реальном времени специальное сжатое содержательное описание каждого кадра видеопоследовательности, которое позволяет решать задачи понимания изображений без дальнейшего обращения к пиксельным массивам. Глобальный анализ кадра делает возможным построение систем понимания изображений для поиска больших и малых объектов. Опишем коротко основные идеи метода.

A. Метод геометризованных гистограмм

Метод основан на приблизительном описании распределения значений векторной функции, задающей цветное изображение. В отличие от методов, применяющих обычные гистограммы, и методов, основанных на сегментации образа изображения в пространстве признаков, использование распределения значений дает инварианты изображения, отражающие индивидуальные особенности конкретного изображения.

Для составления приближенного описания цветного изображения, каждое изображение разбивается на полосы одинаковой ширины с образующими параллельными вертикальной или горизонтальной оси плоскости изображения *Os* (*Ox* или *Oy*). Каждая полоса изображения описывается системой цветовых сгустков. Каждый цветовой сгусток b описывается следующими параметрами: интервал геометрической локализации [beg_b, end_b] – начало и конец *b* на оси *Os*, который характеризует расположение цветового сгустка в полосе;

1) $\Delta_H{}^b = [H_{min}{}^b, H_{max}{}^b]$ и $H_{mean}{}^b$ – диапазон и среднее значение цветового оттенка b;
2) $\Delta_S{}^b = [S_{min}{}^b, S_{max}{}^b]$ и $S_{mean}{}^b$ – диапазон и среднее значение цветового насыщения данного сгустка;
3) $\Delta_I{}^b = [I_{min}{}^b, I_{max}{}^b]$ и $I_{mean}{}^b$ – диапазон и среднее значения полутоновой компоненты;
4) мощность сгустка $Card^b$ (это приблизительно число точек полосы, координата которых вдоль полосы ограничена значениями концов интервала геометрической локализации [beg_b, end_b], с цветовыми характеристиками, принадлежащими диапазонам $\Delta_H{}^b$, $\Delta_S{}^b$ и $\Delta_I{}^b$.

Цветовые сгустки являются вершинами графа *STG*. Неформально, каждый сгусток дает описание некоторой части реального объекта в полосе, его проекцию на ось *Os* и описание значений численных цветовых характеристик этой части объекта. *STG* можно интерпретировать геометрически с помощью наложения отрезков его сгустков ([beg_b, end_b]) на центральную линию соответствующей полосы и окрашивания этих отрезков в цвет, определяемый $H_{mean}{}^b$, $S_{mean}{}^b$, $I_{mean}{}^b$. сгустков.

На множестве цветовых сгустков строится “решетка поиска” SearchLat (*STG*) [24], которая позволяет производить глобальный анализ изображения. Также, на множестве цветовых сгустков строятся ростки левых и правых контрастных кривых (ростков глобальных объектов). Таким образом получается большое количество описаний частей реальных объектов изображения. В отличие от стандартных методов сегментации, мы никогда не получаем глобального разбиения изображения на пиксельные более или менее однородные множества. Данное разбиение бессмысленно для сложных изображений, характерных для робототехники.

При нашем подходе, строятся из частей отдельные объекты, задаваемые содержательными описаниями, включающими описание цвета и формы данных объектов, и изучаются связи между ними с помощью глобального анализа кадра. Поиск объектов ведется на основе тех образов, которые они создают при проектировании их пиксельных множеств на *STG*. Совместный анализ выделенных объектов повышает достоверность полученных результатов. В частности, строятся строятся глобальные объекты из набранных частей при условии их частичного заслонения и резких локальных изменениях освещенности (тени, пересветки).

B. Задачи, решаемые в системе компьютерного зрения

Данные методы применяются для анализа дорожных сцен. Таким образом строятся системы понимания изображений для поиска в кадре неба, дороги, растительной окрестности или снежного покрова рядом с дорогой, дорожной разметки (постоянной или временной, цветной, примеры приведены на рис. 3, 4), дорожных знаков, важных небольших характерных объектов, таких как строительные конуса, отмечающие зоны объезда, и аварийные треугольники, предупреждающие об аварийном автомобиле на пути следования. Также разрабатывается модуль для выделения других участников движения и выделения и анализа состояния их сигнальных зон (индикаторы поворота, торможения). При наличии в кадре постоянной и временной разметки за основу для планирования движения выделяется временная.

Рис. 3. Пример выделения проезжей части и неба

Рис. 4. Пример выделения разметки на кадре из видеоряда

C. Программная реализация и результаты экспериментов

Все описанные задачи имеют программную реализацию, написанную на языке C++ и работающую под Windows и Linux. Основу реализации составляет программный комплекс для построения графа *STG*. Он дает основной вклад во время обработки кадра, так как при этом приходится работать с изображением на пиксельном уровне. При этом алгоритмы построения *STG* имеют линейную зависимость от числа пикселов изображения. Так как процессы построения *STG* одни и те же для всех полос, вычисления можно сильно распараллелить. При последовательном решении задач на процессорах Intel I3-I7 система обеспечивает скорость 20 fps для изображений формата 640x480.

Первые эксперименты по распараллеливанию с использованием процессоров с 4 ядрами и hyper-threading technology показали, что время работы может быть легко сокращено в 8 раз. Поэтому скорость более 20 fps достигается на видео высокого разрешения.

IV. Постановка задачи

Задача ставится в рамках пункта “планирование траектории” в архитектуре системы. В качестве входных

сигналов система принимает последовательности предобработанных данных с датчиков по периметру автомобиля рис.5, данные обрабатываются в программном комплексе [23]. После обработки данных на каждом кадре идентифицируются координаты тех пикселей, которые отвечают за возможные края дороги, разметку на дороге, специальный символ на капоте робоавтомобиля, очертания автомобилей по периметру, габаритные огни и др. Также на вход алгоритма подается целевой вектор локального направления движения автомобиля, получаемый из планировщика верхнего уровня (в рамках этой работы он принят константой) и ограничения знаков дорожного движения в реальном времени, основыванные на GPS метках робоавтомобиля и знаков, а также все основные динамические показатели: текущая скорость, обороты двигателя, вектор скорости автомобиля, информация о полосе движения. Цель работы – создать алгоритм построения траектории движения и управления рулевым колесом для его исполнения.

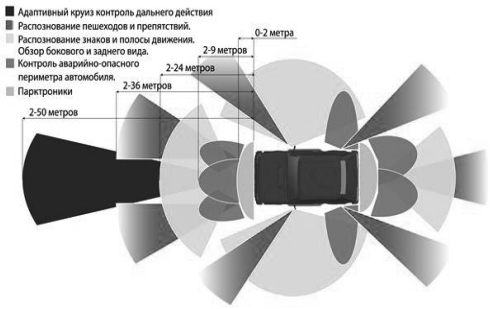


Рис. 5. Схема контроля целевых-зон по периметру автомобиля

V. Построение траектории

Здесь будет описано построение траектории движения в условиях поддержания полосы. Входные данные координат массивов, содержащих правую сторону дороги, преобразуются из соображений начальной нормировки кадра в трехмерные координаты локальной системы, связанной с робоавтомобилем, расстояние измеряется исходя из процедуры начального нормирования кадра [23]. Данная процедура проводится до поездки. Во время поездки происходит коррекция данных с камер, при которой к начальным координатам добавляется смещение при невыполнении (1):

$$\sqrt{x_n^2 + y_n^2} \le N \qquad (1)$$

где x_n, y_n - координаты метки нормирования на капоте робоавтомобиля, получаемые с кадра, N (полагаем равное 5 в данной работе) - расстояние в пикселях от предыдущего положения метки. Как и в случае с массивами со сторонами дорог, проводится преобразование координат правой полосы движения. Далее координаты фильтруются – отбрасываются по порогу и усредняются. Из-за большого количества дискретных точек и погрешности их выделения на кадре ставится задача поиска гладкой опорной траектории и её оптимизации. В качестве опорных вершин берутся точки $x_i = (x_i, y_i)$, $(i=1, ..., N)$, и минимизируется следующая функция:

$$\arg\min\{\omega_1 \sum_{i=1}^{N-1} (\Delta\mathbf{x}_{i+1} - \Delta\mathbf{x}_i)^2 + \omega_2 \sum_{i=1}^{N-1} \left(\frac{\Delta\theta_i}{|\Delta\mathbf{x}_i|}\right)^2 + f(\mathbf{x}_i)\}$$

где $\Delta x_i = x_i - x_{i-1}$, $(i \ge 2)$ - вектор смещения в вершине x_i, и

$$\Delta\theta = \arccos\left(\frac{\Delta\mathbf{x}_{i+1}\Delta\mathbf{x}_i}{|\Delta\mathbf{x}_{i+1}||\Delta\mathbf{x}_i|}\right)$$

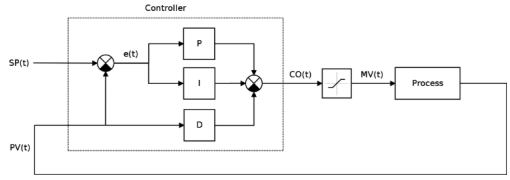
- изменение направления вектора в вершине x_i, ω_1 ,ω_2, - соответствующие веса, $f(x_i)$, - дифференцируемая функция Эйри первого рода. Первое слагаемое минимизирует изменение вектора между соседними векторами, а второе слагаемое минимизирует совокупную кривизну вдоль пути. Данных точек достаточно когда скорость автомобиля не превышает 40 км/ч, в ином случае использует используется интерполяция B-сплайном [25]. Далее выполняется смещение траектории на $D = L_1/2 + Pn + d$, где L_1 – ширина машины, а d – фиксированное заданное расстояние в данной работе принятое 50 см, P – размер, n - номер полосы движения автомобиля. Затем производится проверка траектории на наложение граничных условий дороги. Граничные условия дороги получены из локальной системы координат, при этом проводится проверка на соответствие найденных полос относительно размера дороги для случая, когда разметка дороги не была обнаружена или была обнаружена разметка соседней полосы. Далее проводится проверка на ограничения по правилам дорожного движения, которые агрегируются как из GPS навигации, так и из алгоритма идентификации полос. Веса слагаемых стоимости и итерации влияют на гладкость пути. Как и другие методы нелинейной оптимизации, алгоритм сопряженного градиента возвращает только локальное оптимальное решение. На практике для ω_1 установлено значение 9, а для ω_2 установлено значение 1, которые получены опытным путем.

VI. Исполнение траектории

Управление исполнительными механизмами низкого уровня происходит по обратной связи из видеоряда. В качестве входного параметра берется траектория движения, полученная из пункта 5; в качестве реальной траектории - координата специальной метки на капоте, по которой вычисляется проекция в локальной системе координат. Данная программа исполняет алгоритм ПИД регулятора.

Данная программа исполняет алгоритм ПИД регулятора, схематично представленный на рис 6. Где выход контроллера CO(t), сигнала рассогласования e(t), SP(t) - желаемая траектория, PV(t) - текущая траектория.

Модельный эксперимент показан на рис. 7 Кадр из видео обработанный алгоритмом из параграфа III, применено построение программной траектории и исполнение ПИД регулятором схематично изображенном на кадре.



$$e(t) = SP(t) - PV(t),$$

$$CO(t) = \underbrace{K_p \cdot e(t)}_{P} + \underbrace{K_i \cdot \int_0^t e(\tau)d\tau}_{I} - \underbrace{K_d \cdot \frac{dPV(t)}{dt}}_{D},$$

Рис. 6. Схема реализации ПИД регулятора с обратной связью по видео

Рис. 7. Кадр из видео с выделенной разметкой, построенной траекторией движения и схематичным изображением автомобиля

VII. Заключение

В ходе работы были проведены многочисленные эксперименты, в рамках которых осуществлялось тестирование программной системы с использованием видеозаписей разнообразных российских дорог, полученных с движущегося автомобиля. Проведённые эксперименты подтвердили работоспособность программной системы и всех ее модулей. Проверена робастность алгоритмов управления нижнего уровня и устойчивость работы в реальном времени. На данный момент готовятся эксперименты, в которых будет протестировано самоуправляемое движение робоавтомобиля Нива на основе зрительной информации с камер в реальных условиях (на тестовом полигоне под открытым небом).

Список литературы

[1] K. Bengler, K. Dietmayer, B. Farber, M. Maurer, C. Stiller, and H. Winner, “Three decades of driver assistance systems: Review and future perspectives,” IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine, vol. 6, no. 4, pp. 6–22, 2014.

[2] E. D. Dickmanns, B. Mysliwetz, and T. Christians, “An integrated spatio-temporal approach to automatic visual guidance of autonomous vehicles,” IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, vol. 20, no. 6, pp. 1273–1284, 1990.

[3] C. Thorpe, T. Jochem, and D. Pomerleau, “The 1997 automated highway free agent demonstration,” in IEEE Conference on Intelligent Transportation System, 1997, pp. 496–501.

[4] A. Broggi, M. Bertozzi, A. Fascioli, and G. Conte, the Experience of the ARGO Autonomous Vehicle. World Scientific, 1999.

[5] D. Dolgov, S. Thrun, M. Montemerlo, and J. Diebel, “Path planning for autonomous vehicles in unknown semi-structured environments,” The International Journal of Robotics Research, vol. 29, no. 5, pp. 485– 501, 2010.

[6] D. Fassbender, A. Mueller, and H.-J. Wuensche, “Trajectory planning for car-like robots in unknown, unstructured environments,” in IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, 2014, pp. 3630–3635.

[7] M. Pivtoraiko, R. A. Knepper, and A. Kelly, “Differentially constrained mobile robot motion planning in state lattices,” Journal of Field Robotics, vol. 26, no. 3, pp. 308–333, 2009.

[8] M. Likhachev and D. Ferguson, “Planning long dynamically feasible maneuvers for autonomous vehicles,” The International Journal of Robotics Research, vol. 28, no. 8, pp. 933–945, 2009.

[9] Y. Kuwata, S. Karaman, J. Teo, E. Frazzoli, J. How, and G. Fiore, “Realtime motion planning with applications to autonomous urban driving,” IEEE Transactions on Control Systems Technology, vol. 17, no. 5, pp. 1105–1118, 2009.

[10] C. Urmson, J. Anhalt, D. Bagnell, C. Baker, R. Bittner, M. Clark, J. Dolan, D. Duggins, T. Galatali, and C. Geyer, “Autonomous driving in urban environments: Boss and the urban challenge,” Journal of Field Robotics, vol. 25, no. 8, pp. 425–466, 2008.

[11] S. Thrun, M. Montemerlo, H. Dahlkamp, D. Stavens, A. Aron, J. Diebel, P. Fong, J. Gale, M. Halpenny, and G. Hoffmann, “Stanley: The robot that won the darpa grand challenge,” Journal of Field Robotics, vol. 23, no. 9, pp. 661–692, 2006.

[12] M. Werling, S. Kammel, J. Ziegler, and L. Groll, “Optimal trajectories for time-critical street scenarios using discretized terminal manifolds,” The International Journal of Robotics Research, vol. 31, no. 3, pp. 346– 359, 2012.

[13] U. Schwesinger, M. Rufli, P. Furgale, and R. Siegwart, “a samplingbased partial motion planning framework for system-compliant navigation along a reference path,” in IEEE Intelligent Vehicles Symposium, 2013, pp. 391–396.

[14] M. Althoff, O. Stursberg, and M. Buss, “Model-based probabilistic collision detection in autonomous driving,” IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, vol. 10, no. 2, pp. 299–310, 2009.

[15] M. Althoff and J. M. Dolan, “Online verification of automated road vehicles using reachability analysis,” IEEE Transactions on Robotics, vol. 30, no. 4, pp. 903–918, 2014.

[16] S. Sivaraman and M. M. Trivedi, “Dynamic probabilistic drivability maps for lane change and merge driver assistance,” IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, vol. 15, no. 5, pp. 2063–2073, 2014.

[17] J. Levinson, M. Montemerlo, and S. Thrun, “Map-based precision vehicle localization in urban environments.” in Robotics: Science and Systems, vol. 4, 2007, p. 1.

[18] A. Joshi and M. James, “Generation of accurate lane-level maps from coarse prior maps and lidar,” IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine, vol. 7, no. 1, pp. 19–29, 2015.

[19] H. Choi, K. W. Yang, and E. Kim, “Simultaneous global localization and mapping,” IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, vol. 19, no. 4, pp. 1160–1170, 2014.

[20] J. Ziegler, H. Lategahn, M. Schreiber, C. G. Keller, C. Knoppel, J. Hipp, M. Haueis, and C. Stiller, “Video based localization for bertha,” in IEEE Intelligent Vehicles Symposium, 2014, pp. 1231–1238.

[21] J. Fabian and G. Clayton, “Error analysis for visual odometry on indoor, wheeled mobile robots with 3-d sensors,” IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, vol. 19, no. 6, pp. 1896–1906, Dec 2014.

[22] G. Panahandeh and M. Jansson, “Vision-aided inertial navigation based on ground plane feature detection,” IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, vol. 19, no. 4, pp. 1206–1215, 2014.

[23] Kiy K.I. A new method of global image analysis and its application in understanding road scenes // *Pattern Recognit. Image Anal.*, 2018. №3(28). -c. 483–494.

[24] Dosaev R.V. and Kiy K.I. A new real-time method for finding temporsry and permanent road marking and its applications // в печати.

[25] Li, X., Sun, Z., Cao, D., He, Z., & Zhu, Q. (2016). Real-Time Trajectory Planning for Autonomous Urban Driving: Framework, Algorithms, and Verifications. IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, 21(2), 740–753. doi:10.1109/tmech.2015.2493980

Принципы построения систем управления роботизированных транспортных средств с автономным и дистанционным режимом управления

Сусарев С.В.
ФГБОУ ВО СамГТУ
Самара, Россия
Susarev_sergey@mail.ru

Сидоренко К.В.
ФГБОУ ВО СамГТУ
Самара, Россия

Морев А.С.
ООО «Поволжская инженерная академия»
Самара, Россия
artemmorev@poria.ru

Гашенко Ю.В.
ФГБОУ ВО СамГТУ
Самара, Россия

***Abstract*— The principles of robotic vehicles control systems construction are considered in the article. The article shows the control circuit of the vehicle with different control systems. The functional schemes construction for controlling and automating a vehicle when driving off-road is described. A state vector, control and disturbing influences are described. Certification of existing vehicle control systems is given. Various type models, soil types, and road surfaces are described in order to further simulate off-road driving.**

Ключевые слова — принципы построения, роботизированное транспортное средство, функциональные схемы управления, движение по бездорожью

I. Введение

Современные подходы к построению архитектуры роботизированных транспортных средств концептуально предполагают два взаимосвязанных подхода к проектированию архитектуры конечного изделия – функциональный и структурный.

Функциональный подход предполагает определение функций различных уровней управления исходя из задач, поставленных перед транспортным средством, и разработку детальной функциональной схемы конечного изделия [1,2]. В рамках функционального проектирования системы роботизации транспортных средств рассматриваются подходы, связанные с применением моделеориентированных методов синтеза систем управления, в том числе прямых измерений возмущений с подачей сигнала на адаптивные регуляторы по обратным связям, а также подходы с применением фильтров Калмана и Люенбергера для повышения точности управления в условиях стохастически меняющихся внешних условий и быстрого появления возмущений, которые требуется идентифицировать с высокой точностью [3-7].

Структурное проектирование архитектуры роботизированного транспортного средства возможно при наличии понимания информационных потоков и реализуемых системой функций [8-10].

При разработке архитектуры роботизированных транспортных средств возможно совместное параллельное проектирование функциональной и структурной схем роботизации [2].

Современные подходы предполагают использование в цикле проектирования цифровых и гибридных испытаний [11-13] с моделированием модулей и систем роботизированного транспортного средства с различными уровнями детализации, в том числе с помощью достаточно точной моделью окружающей среды.

II. Системы управления транспортными средствами

С точки зрения системного анализа, управление автомобилем – процесс преобразования результатов анализа окружающей среды и требований к конечному пункту перемещений в управляющие воздействия на исполнительные органы автомобиля (руль, акселератор, тормоза, коробка передач). При этом управляющие воздействия могут быть выбраны как водителем на основании его понимания процесса движения и опыта, так и интеллектуальной системой управления на основании заданных алгоритмов.

Развитие систем автоматизации отдельных узлов и агрегатов привело к появлению систем управления динамикой и систем активной безопасности, реализованных с помощью блоков управления сепаратных систем. Схема управления автомобилем с участием сепаратных систем регулирования приведена на рис. 1.

Рис. 1. Схема управления автомобилем, оборудованного сепаратными системами управления

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России в рамках соглашения № 075-15-2019-1364 Уникальный

©2019 ИПУСС РАН, СамГТУ, IEEE

Сепаратные системы управления определяют на основании алгоритмов их работы наиболее эффективные режимы работы узлов и систем автомобилей и образуют дополнительный внутренний контур управления автомобилем. Данная схема управления автомобилем соответствует уровням 1 и 2 по классификации SAE (Society of Automotive Engineers, стандарт по автоматизированным системам управления движением транспортных средств) [14,15].

Для реализации уровней автоматизации 3 и 4 согласно классификации SAE в систему управления должны быть введены дополнительные контуры, образующие совокупность систем содействия и поддержки водителя (англ. ADAS – Advanced driver assistance systems).

Наличие данных систем позволяет освободить водителя от определенного набора функций и обязанностей. Схема управления автомобилем, оборудованным системами ADAS, приведена на рис.2.

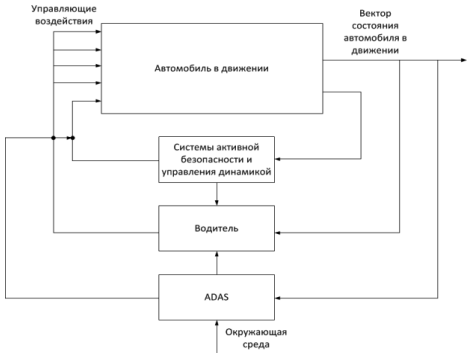


Рис. 2. Схема управления автомобилем, оборудованного сепаратными системами ADAS

Достижение уровня 5 по классификации SAE возможно лишь с применением в автомобиле интеллектуального контроллера или бортового компьютера, позволяющего в режиме реального времени осуществлять управляющие воздействия на основании информации от оператора / навигационной системы и результатов анализа окружающей среды.

Полная автоматизация и автономизация транспортного средства законодательно невозможна с точки зрения безопасности дорожного движения, поэтому в схеме управления обязательно должен присутствовать оператор / водитель, готовый в предаварийный момент взять управление на себя (рис.3).

Вышеописанные принципы построения систем управления позволяют частично или полностью автоматизировать движение автомобиля. Однако большинство из разработок в области систем ADAS и беспилотных систем для автомобилей имеют целью организацию движения в городских условиях и на автострадах.

В системах управления движением по бездорожью, встраиваемых в современные автомобили, есть ряд недостатков:

- отсутствие интеллектуального идентификатора состояния дорожной поверхности;

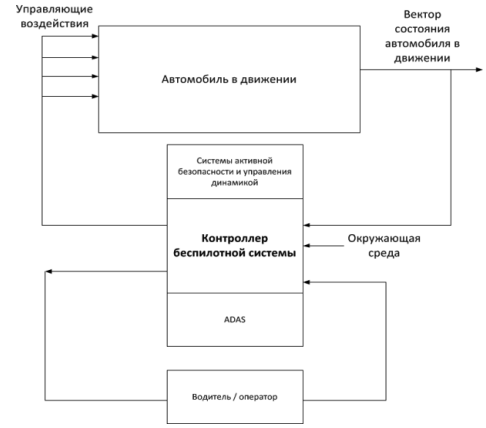


Рис. 3. Схема управления беспилотным автомобилем

- отсутствие возможности в автоматическом режиме изменять настройки при изменении типа и вида встречающихся препятствий;
- высокая стоимость аппаратной и программной части систем;
- неприменимость подходов к управлению движением по бездорожью автомобилями с высокой массой, грузовыми автомобилями с грузом, пассажирской автомобильной техникой;
- отсутствие единого базового алгоритма работы систем и единых протоколов обмена информацией с блоками управления сепаратных систем.

Преодоление данных недостатков является задачей данной работы, предполагающей построение многосвязной адаптивной системы управления движением автомобилей любых видов и типов по бездорожью с использованием продвинутых пакетов имитационного моделирования автомобильной техники.

Моделирование элементов, узлов и систем грузового транспорта производилось исходя из данных, предоставленных ПАО «КАМАЗ» (индустриальным партнером) – ТУ, конструкторской документации, технических описаний и результатов инженерных расчетов.

Моделирование технических и эксплуатационных характеристиках узлов, элементов и систем, проведено с целью идентификации объекта управления всей роботизированной системы сельскохозяйственных автомобилей (РССА) – роботизированного транспортного средства (РТС), построенного на базе шасси КАМАЗ.

Достаточно точная идентификация с помощью имитационного математического моделирования необходима для построения систем управления движением РТС в условиях отсутствия твердого ровного дорожного покрытия, с учетом изменений физико-химических свойств грунтов при работе транспортной техники на сельскохозяйственных предприятиях. При этом учитывалось, что на современном грузовом транспорте в основном

используются два типа подвесок – рессорная, со стабилизаторами продольной и поперечной устойчивости, и пневматическая, с регулированием давления исходя из массы груза. Средства имитационного моделирования, примененные коллективом при реализации исследований, позволяют гибко задавать и в автоматическом режиме изменять коэффициенты жесткости подвески без учета ее типы и структуры. При этом учитывалось также, что при моделировании следует рассматривать любые конструктивные решения ввиду усложнения рынка грузовых автомобилей и ужесточения требований клиентов к транспортным средствам, их специализации и надежности при эксплуатации в различных, в том числе специфических, условиях.

Измерительная подсистема автомобиля является совокупностью чувствительных элементов (датчиков) и систем обработки информации, поступающей с датчиков, для эффективного и адекватного функционирования систем управления автомобилем.

Измерительная система автомобиля имеет два функциональных уровня:

1) уровень получения достоверных данных о параметрах вектора состояния автомобиля в движении, основными функциональными элементами являются датчики;

2) уровень обработки и передачи информации о параметрах вектора состояния автомобиля в движении, основными функциональными элементами которого являются блоки управления узлами и агрегатами и CAN-шина автомобиля.

При движении по бездорожью основными параметрами, необходимыми для регулирования и управления, являются компоненты вектора состояния автомобиля в движении, определяющие динамику транспортного средства и его положение в пространстве в каждый момент времени. Необходимыми для измерения являются параметры, прямо или косвенно характеризующие крутящий момент на колесах (как крутящий момент на коленчатом валу с учетом передаточного числа в коробке передач и потерь в трансмиссии за минусом момента сопротивления, создаваемого дорожным полотном и лобовым сопротивлением при движении), характеристики демпфирования системы адаптивной подвески, характеристики проходимости (углы въезда и съезда, клиренс) системы активной подвески, сопротивление движению колес при движении (ввиду изменения эффективного радиуса колеса и пятна контакта шин с дорожным полотном).

Для эффективного и своевременного использования данных о параметрах движения автомобиля должны передаваться по CAN-шине автомобиля, которую используют блоки управления для коммуникаций и получения информации. Данные с датчиков обрабатываются с использованием программной и аппаратной части электронных блоков управления и передаются в CAN-шину. Сигналы, формируемые чувствительными элементами (датчиками) измерительной подсистемы автомобиля используются для реализации корректной и адекватной работы электронных блоков управления узлами и агрегатами автомобиля. Существующие на автомобиле средства измерений практически полностью обеспечивают измерение вектора состояния автомобиля в движении по бездорожью, при этом требуется введение в систему датчиков, определяющих изменение положения и динамику изменения положения кузова (рамы) автомобиля в пространстве.

Управление движением по бездорожью может быть реализовано с помощью исполнительных механизмов (регулирующих органов) существующих систем, узлов и агрегатов автомобилей как с помощью существующих систем управления супервизорным методом, так и с помощью прямого использования дополнительного блока (модуля) управления, равнозначного существующим системам.

Задача построения системы управления движением по бездорожью существенно упрощается при использовании супервизорного подхода, требующего создания верхнего уровня управления в архитектуре систем управления и регулирования узлов и агрегатов автомобиля.

Все возмущения, действующие на автомобиль в движении, можно свести к 3-м основным влияниям:

- изменение момента сопротивления на колесах при их качении по поверхности дороги, вызывающие снижение заданной скорости, заносы и буксование;
- вибрации кузова при движении по неровностям импульсного характера;
- продольные, поперечные и диагональные перемещения кузова при движении по затяжным неровностям.

На практике при движении по бездорожью и в сложных климатических условиях вектор возмущений предполагает наличие каждого из компонент возмущений с различными характеристиками (частота, амплитуда) и вариациями (импульсное, ступенчатое, гармоническое колебание или воздействие).

Среди составляющих автомобильной дороги для дальнейшего моделирования необходимо выделить дорожное покрытие, а при его отсутствии – верхние слои грунта, по которой проходит дорога. Автомобильные дороги разделяются на две модельные категории: дороги с твердым покрытием и дороги с податливым покрытием. Последняя категория включает движение по бездорожью.

Модель дороги с твердым покрытием включает: 1) модель участка трассы, включающая особенности дороги в плане и продольном профиле; 2) модель локальных неровностей дорожного покрытия в продольном и поперечном профиле; 3) модель сцепных свойств дорожного покрытия;

Модель дороги с податливым покрытием включает: 1) модель участка трассы, включающая особенности дороги в плане и продольном профиле; 2) модель сцепных свойств дорожного покрытия; 3) модель деформирования покрытия или верхних слоев грунта под нагрузкой; 4) модель локальных неровностей дорожного покрытия в продольном и поперечном профиле.

III. Моделирование и цифровые испытания роботизированного шасси

Моделирование и цифровые испытания проводились для различных сценариев. Для примера покажем один из сценариев. В данном сценарии исследована динамика движения грузового автомобиля при разгоне и торможении на ровной дороге. Время моделирования составляет 25 секунд. За 15 секунд автомобиль разгоняется по прямой, после чего начинает торможение до полного останова. При торможении крутящий момент не передается на колеса, а на коробку передач поступает сигнал о переключении на нейтральную передачу (рис.4).

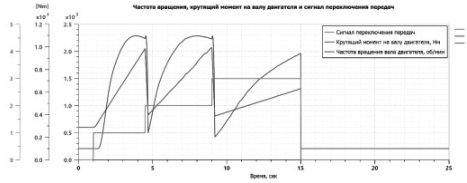


Рис. 4. Графики изменения во времени частоты вращения и крутящего момента вала двигателя, передачи в КПП

Динамика разгона и торможения автомобиля в виде графиков скорости и ускорения автомобиля представлена на рис.5-6.

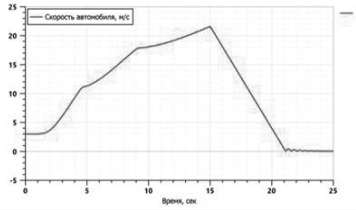


Рис. 5. График изменения во времени скорости автомобиля

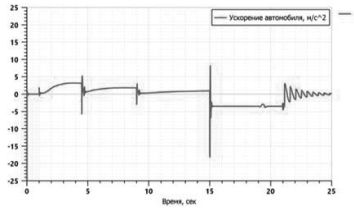


Рис. 6. График изменения во времени ускорения автомобиля

По угловым скоростям вращения колеса можно оценить некоторые параметры, например, проскальзывание, блокирование колеса или оценить работу межколесного дифференциала.

IV. выводы

В статье рассмотрены принципы построения систем управления роботизированных транспортных средств, показаны схемы управления транспортным средством с различными системами управления.

Проведенный анализ характеристик, моделирование технических и эксплуатационных характеристиках узлов, элементов и систем, а также моделирование движения автомобиля по грунтам сельской местности позволили идентифицировать объект управления всей роботизированной системы сельскохозяйственных автомобилей – роботизированного транспортного средства, построенного на базе шасси КАМАЗ. Такая идентификация необходима для построения систем управления движением роботизированных транспортных средствв условиях отсутствия твердого ровного дорожного покрытия, с учетом изменений физико-химических свойств грунтов при работе транспортной техники на сельскохозяйственных предприятиях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

[1] David Gonzalez Bautista. Functional architecture for automated vehicles trajectory planning in complex environments. Automatic. PSL Research University, 2017. English, 2017.

[2] Standard Driven Software Architecture for Fully Autonomous Vehicles, Alexandru Constantin Serban, Radboud University, Nijmegen, The Netherlands, 2018.

[3] Software and control architecture development of an Autonomous vehicle, Keith Yu Kit Leung, MASc Candidate, Christopher M. Clark, Assistant Professor, Lab for Autonomous and Intelligent Robotics Department of Mechanical Engineering University of Waterloo, 2011.

[4] The Architectural Implications of Autonomous Driving: Constraints and Acceleration, Shih-Chieh Lin, Yunqi Zhang, Chang-Hong Hsu, Matt Skach, University of Michigan,2018.

[5] Reference architectures for highly automated Driving, Sagar Behere, doctoral thesis in machine design KTH royal institute of technology. Stockholm, Sweden, 2016.

[6] Controller Architecture for the Autonomous Cars: MadeInGermany and e-Instein. Daniel Gohring, November 2012.

[7] Human Factors in Transportation Cyber-Physical Systems: A Case Study of a Smart Automated Transport and Retrieval System (SmartATRS), Paul Whittington, Huseyin Dogan Department of Computing & Informatics, Faculty of Science & Technology, Bournemouth University, Poole, United Kingdom, 2018.

[8] Real-time control systems, Yunyi Jia, Longxiang Guo, Xin Wang Department of Automotive Engineering, Clemson University, Greenville, SC, United States, 2018.

[9] Review of research on agricultural vehicle autonomous guidance, Ming Li, Kenji Imou, Katsuhiro Wakabayashi, Shinya Yokoyama, Graduate School of Agricultural and Life Sciences, the University of Tokyo, Japan, 2009.

[10] Control Architecture Design for Autonomous Vehicles, Berntorp, K.; Hoang, T.; Quirynen, R.; Di Cairano, STR2018-125 August 25, 2018.

[11] Automated Vehicle System Architecture with Performance Assessment, Stefan Hörmann, Ömer ,Sahin Tas, 2017.

[12] Autonomous Vehicle Architecture Inspired by the Neurocognition of Human Driving, Mauro Da Lio, 1Department of Industrial Engineering, University of Trento, Trento, Italy, 2018.

[13] A functional architecture for autonomous driving, Sagar Behere, Kungliga Tekniska Högskolan, 2015.

[14] SAE J3016. Taxonomy and definitions for terms related to on-road motor vehicle automated driving systems. Warrendale: Society of Automotive Engineers; 2014.

[15] Gordon T.J., Lidberg M. Automated driving and autonomous functions on road vehicles // Vehicle System Dynamics. No7 (53). P.958-994

Импульсный наносекундный излучатель для оптических радаров высокого разрешения

Филимонов А.В.
Санкт – Петербургский политехнический университет Петра Великого
Санкт -Петербург, Россия
filimonov@rphf.spbstu.ru

Вайнштейн С.Н.
Университет Оулу
Оулу, Финляндия
vais@ee.oulu.fi

Фотиади А.Э.
Санкт – Петербургский политехнический университет Петра Великого
Санкт -Петербург, Россия
fotiadi@rphf.spbstu.ru

Земляков В.А.
Московский институт электронной техники
Зеленоград, Москва, Россия
vzml@rambler.ru

Политова Г.А.
Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН
Москва, Россия
gpolitova@gmail.com

***Abstract* — The aim of the work is to create a miniature pulse optical emitter on an infrared laser diode with a pulse duration of the order of 1 ns and a pulse power of more than 30 W based on the effect of high-efficiency avalanche switching in bipolar silicon transistors. An optical emitter has been developed that can improve the accuracy of optical radar operation up to 10 times, which is a record indicator. The ways of increasing the radiation power, increasing the repetition rate of pulses (necessary to improve the accuracy of the radar), and searching for ways to transition to the subnanosecond region are considered.**

Ключевые слова — оптический радар, высокоскоростной переключатель, драйвер тока, миниатюрная сборка, высокая импульсная мощность

I. Введение

В современных оптических лидарах дальнего действия, работающих в ближнем инфракрасном диапазоне, используются передатчики с импульсной модуляцией на лазерных диодах, способные испускать оптические импульсы пиковой мощностью до 40 Вт продолжительностью 3-10 нс. Термин лидар (от англ. Light Detection and Ranging - LIDAR) относится к системам дальнометрии, работающим в оптическом диапазоне и использующим в качестве источника излучения газовый лазер или лазерный диод. Диапазон частот принимающего канала на сегодняшний день, как правило, составляет более 300 МГц, и, следовательно, продолжительность импульсов более 3 нс является существенным ограничением для таких задач, как увеличение точности оптической дальнометрии.

Скорость современных сильноточных драйверов обычно ограничена временем переключения таких компонентов переключателя, как полевые транзисторы и лавинные переключатели. В данной работе показано, что в решении проблемы дальнодействующих лидаров дециметрового разрешения играют важную роль тип транзистора, рабочее напряжение, паразитная индуктивность в миниатюрной компоновке, а также метод монтажа на плату. Подобные устройства находят сегодня широкое применение в автомобиле- и авиастроении, судостроении, в области оптической локации, автоматических системах распознавания, системах технического зрения, различных областях электронной техники.

Для накачки широкополосных лазерных диодов высокой мощности, используемых в лазерных лидарах и прочих системах, есть необходимость генерировать импульсы тока продолжительностью в несколько наносекунд и амплитудой ~ 10 ÷ 100 А [1,2]. На наш взгляд, наилучшее из доступных решений этой проблемы связано с использованием высоковольтных (~ 300 В) лавинных транзисторов [3] для оптических импульсов продолжительностью 3 - 10 нс из лазерных диодов мощностью 10 - 100 Вт. Такая продолжительность оптического импульса становится ограничением для лидаров высокой (дециметровой) точности, если задачей является максимальное увеличение расстояния дальнометрии (до нескольких километров и более) [4,5]. Действительно, диапазон частот принимающих каналов на основе лавинных детекторов на сегодняшний день выходит за пределы 300 МГц, что позволяет обнаруживать оптические импульсы продолжительностью в 1 нс без заметного уменьшения чувствительности детектора и выхода за критический предел уровня шума. Поэтому разработка передатчика на лазерных диодах, способного испускать оптические импульсы продолжительностью около 1 нс с как можно более высокой пиковой мощностью (несколько десятков Вт), становится весьма актуальной для дальнодействующих радаров высокой точности. Главная проблема заключается в наносекундных сильноточных драйверах. Сильноточные (10 - 100 А) драйверы наносекундного, суб-наносекундного и даже пикосекундного диапазона представлены на рынке [6], однако высокая цена и большой размер делает их использование в реальных условиях весьма затруднительным.

II. Эксперимент и обсуждение

Ранее нами была предложена конструкция миниатюрного наносекундного излучателя для оптического радара [7]. Принципиальная схема излучателя представлена на рис. 1. Приведенная

Работа выполнена в рамках госзадания Министерства образования и науки РФ, проект 11.5861.2017/БЧ.

©2019 ИПУСС РАН, СамГТУ, IEEE

простейшая схема позволяет достичь минимальной продолжительности и максимальной амплитуды импульса тока для данного электрического переключателя. Эту схему можно использовать в передатчиках, заменив нагрузочный резистор лазерным диодом.

Следующие простые, но достаточно информативные формулы отражают отношения между пиковой амплитудой тока I_m и полной шириной на половине высоты (FWHM) импульса t_w, рассчитанные для «идеального» переключателя с бесконечно малым временем переключения между уровнями U_0 (максимальное напряжение на переключателе) и U_R (остаточное напряжение на переключателе):

$$t_w = 2.2 \times \sqrt{L_p \times C_0} \quad (1)$$

$$I_m = \frac{U_0 - U_R}{\sqrt{\frac{L_p}{C_0}} + R_L} \quad (2)$$

При условии, что переключатель идеален (U_R=0, бесконечно малое время переключения), а нагрузочный резистор заменен лазерным диодом с нулевым импедансом, можно вывести следующий «критерий качества» передатчика:

$$\frac{I_m}{t_w} = \frac{U_0}{2.2 \times L_p} \quad (3)$$

Очевидно, что для дальнодействующих высокоточных радаров, необходим как можно более высокий критерий качества I_m/t_w, и, следовательно, предпочтительным является наибольшее возможное смещение U_0 и наименьшая возможная индуктивность.

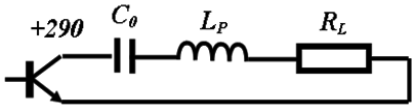


Рис. 1. Простейший и эффективный драйвер тока наименьших размеров, который можно реализовать в миниатюрной компоновке. Переключатель представлен биполярным транзистором, работающим режиме лавинного пробоя; конденсатор C_0 аккумулирует энергию между импульсами (заряжается) и разряжается через нагрузочный резистор R_L и полную паразитную индуктивность контура схемы L_P. В оптическом передатчике нагрузочный резистор заменяется лазерным диодом

Напряжение смещения определяется на основе компромисса между упомянутым критерием, скоростью переключения конкретного транзистора и максимального напряжения, которое допускает для своей системы конкретный пользователь. Паразитную индуктивность L_P во всех случаях следует сокращать, а ее базовый лимит определяется размером компонентов контура, показанного на рис. 1. Естественно, компоновка должна быть реализована в виде трехмерной конструкции минимальных размеров, состоящей из полупроводниковых чипов [7].

При измерении расстояния до объекта, имеется разброс результатов разовых замеров и точное определение расстояния требует усреднения результатов. Точность повышается как квадратный корень из числа измерений. Соответственно, работа радара в реальном времени требует достаточно высокой частоты повторения измерений. Например, при частоте 1 кГц точность измерения улучшается примерно в тридцать раз при времени измерения 1с, а 10 кГц обеспечат стократное улучшение точности измерений. Основным фактором, ограничивающим частоту работы лавинного переключателя, является то, что при переключении имеется сильно локализованная область нагрева и допустимая частота повторения импульсов определяется временем тепловой диффузии от этой микронной области до теплоотвода.

В ранее разработанных модулях [7] это время составляет порядка 1 мс и гарантированная частота работы модуля составляет не более 0.5 кГц. Требовалось решить задачу значительного увеличения частоты, по крайней мере до 10 кГц.

На рис. 2 представлена сборка переключателя, выполненная исходя из вышеизложенных требований с использованием транзисторов FMMT491, лазерных диодов LCC и специально разработанных нами чип конденсаторов для поверхностного монтажа [8]. Сборка выполнена исходя из требований минимально возможного расстояния между эмиттером транзистора и лазерным диодом для обеспечения минимальной паразитной индуктивности, ограничивающей время переключения.

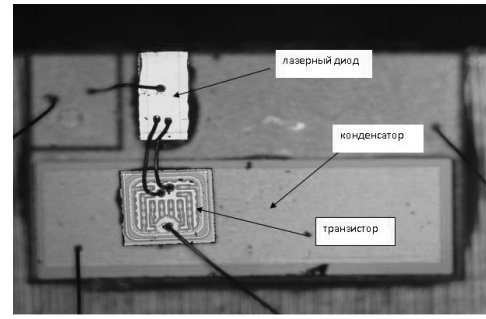


Рис. 2. Исходная сборка переключателя с монтажом транзистора на конденсатор для обеспечения минимальной паразитной индуктивности

Анализ текущей ситуации позволяет утверждать, что ни один из представленных на рынке промышленных конденсаторов не подходит в полной мере для наносекундных лазерных передатчиков высокой мощности вследствие неудовлетворительного качества диэлектрика или высокой паразитной индуктивности, связанной с большими геометрическими размерами, не позволяющими минимизировать паразитную индуктивность конструкции излучателя.

На рис. 3 приведена фотография лабораторного образца полностью собранного тестового модуля.

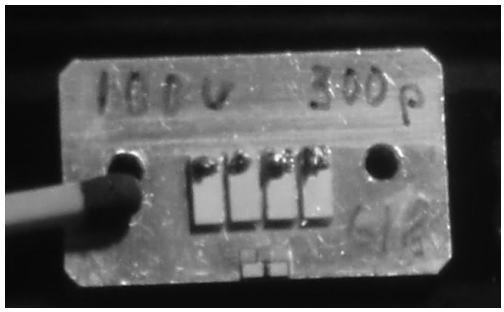


Рис. 3. Лабораторный образец модуля оптического излучателя в сборе

Результаты эксперимента по исследованию возможности уменьшения продолжительности импульса тока и увеличения амплитуды импульса приведены на рис. 4. Графики отражают результаты вычислений, полученные с использованием формул (1) и (2). Пунктирная кривая сравнивается с результатами экспериментов, полученными при измерениях транзистора FMMT415, непрерывная кривая отражает ожидаемые значения для переключателя с бесконечно малым временем переключения, остаточным напряжением 70 В и индуктивностью в 2.5 нГ.

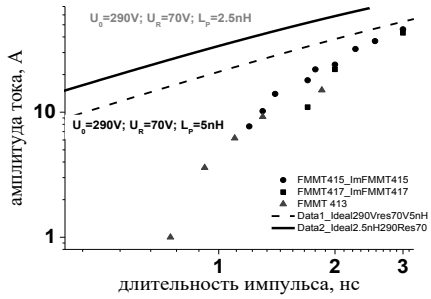


Рис. 4. Зависимость пикового тока от продолжительности импульса, измеренная с помощью многослойных керамических конденсаторов NP_0 различной емкости, контура с суммарной паразитной индуктивностью в 5 нГ и различных промышленных лавинных транзисторов моделей FMMT 415, 413 и 417 (пр-во Zetex Semiconductors)

Эти достаточно приблизительные, но наглядные подсчеты показывают основные ограничения при попытке генерации более коротких импульсов с увеличенной амплитудой. Конечно, в первую очередь требуется уменьшить паразитную индуктивность, внеся изменения в компоновку. Далее главным ограничением становится скорость переключения лавинного транзистора [8].

Кривая вычислений для идеального переключателя (с бесконечно малым временем переключения) при L_P=5нГ отражена пунктирной линией. Она дает несколько большие значения I_m/t_w, но все еще сравнимые с данными эксперимента с FMMT415, а также высокие значения C_0 (с продолжительностью импульса t_w, превышающей 2-3 нс). Это значит, что при времени переключения транзистора, близком к 2 нс, амплитуда и продолжительность импульса тока, приблизительно подсчитанные по формулам (1) и (2), не слишком сильно отличаются от результатов эксперимента, тогда как при более коротких импульсах различия заметно возрастают.

Установлено, что основным фактором, ограничивающим частотный диапазон работы лавинного оптического переключателя, является механизм высокочастотной деградации. Сразу после однократного переключения температура в горячей области (поперечное сечение несколько мкм), находящейся на границе коллектор - субколлектор достигает 700-800 К. Остывание через подложку толщиной 200 мкм происходит с характерным временем тепловой диффузии несколько десятых миллисекунды (~ 0.4 мс). Это означает, что достаточно полное остывание, не допускающее постепенное накопление тепла от импульса к импульсу, требует несколько таких постоянных времени (> 1 мс), а следовательно 1 кГц является верхней границей допустимого диапазона рабочих частот излучателя. Если следующий импульс приходит раньше, чем несколько постоянных времени тепловой диффузии, начинается суммирование тепла в области пробоя, накопление тепла в горячей области, которое через некоторое время (порядка 10^5 импульсов) доведет температуру в этой области до тепловой деструкции кремния вблизи границы коллектор - субколлектор.

Еще раньше деградация прибора возникнет из-за теплового шнура, возникшего вследствие следующего процесса. После переключения прибора напряжение на нем начнет нарастать практически с нуля, стремясь через мс или несколько раньше достичь напряжения источника питания. В результате, на еще неостывшем приборе к «расплывающейся» и постепенно остывающей горячей области начнет прикладываться напряжение, в то время как носители в проводящем канале еще не рекомбинировали. Следовательно, начнется дополнительный нагрев всего канала, препятствующий полному остыванию горячей области. При определенном наборе параметров этот процесс приведет к формированию теплового шнура, а тот, в свою очередь, к деструкции прибора. Заметим, что максимальная температура ожидается вблизи границы n^0-n^+ коллектора, что приведет, прежде всего, к деструкции слоя коллектора, несколько удаленного от p-n перехода, и можно ожидать не полную закоротку транзистора, а снижение напряжения пробоя до значения, определяемого толщиной неповрежденной части n^0-коллекторного слоя.

Поскольку в настоящее время нет возможности получить кристаллы транзистора с утонченной подложкой, в этой работе проблема надежности работы переключателя на частотах до 10 кГц решается другими способами - устраняется дополнительный механизм разогрева горячей зоны и канала переключения между наносекундными импульсами. Так как для заряда емкости транзистор подключается к источнику питания порядка сотен вольт через некоторое сопротивление R (порядка нескольких десятков кОм), и еще не остывшая горячая область и лавинный канал прохождения тока начинают разогреваться мощностью, определяющуюся

произведением тока (снижающимся во времени от V_0/R до нуля, где V_0 напряжение источника питания) на напряжение (возрастающее от нуля до V_0). Ток протекает благодаря тому, что носители в канале переключения еще не вымерли к моменту, когда напряжение на структуре начало нарастать, и дополнительно имеют место носители, созданные тепловой генерацией в горячей зоне. Для устранения этого дополнительного разогрева мы сделали следующее. Схемотехнически транзистор перед моментом переключения отключается от источника напряжения, и после наносекундного токового импульса начинается сферическое растекание тепла от горячей области и вымирание неравновесных носителей. В итоге, перед приходом следующего импульса запуска все носители вымерли, а горячая зона успела существенно остыть (насколько позволила тепловая диффузия через подложку). После этого емкость, подсоединенная к коллектору транзистора, заряжается схемой активной зарядки до напряжения V_0, зарядка отключается, и происходит следующий запуск лавинного транзистора. Этот подход не устраняет, разумеется, проблему остывания горячей области через подложку, но устраняет очень нежелательный механизм дополнительного разогрева, что позволило увеличить рабочую частоту почти на порядок.

III. ВЫВОДЫ

Разработан метод сборки платы переключателя, позволивший резко снизить время тепловой диффузии с сохранением минимальной паразитной индуктивности контура разряда конденсатора.

Экспериментальным путем выбран оптимальный тип транзистора, а также величина его рабочего напряжения.

Установлено, что основным фактором, ограничивающим частотный диапазон работы лавинного оптического переключателя, является механизм высокочастотной деградации.

Применен специальный метод питания лавинного переключателя когда схемотехнически разрешается зарядка емкости только уже остывшего прибора после переключения.

Дальнейшее увеличение частоты возможно при условии уменьшения толщины транзисторного кристалла. Уменьшение толщины приводит к квадратичной зависимости рабочей частоты переключения оптического драйвера, то есть утонение подложки в два - три раза позволило бы увеличить частоту в четыре -девять раз, а уменьшение расстояния от n^0 – n^+ границы коллектора до теплоотвода специальными технологическими способами до ~ 10 мкм могло бы в принципе позволить повысить рабочую частоту по крайней мере до 0.1 – 1 МГц.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

[1] A. Biernat, G. Kompa. Powerful picosecond laser pulses enabling high - resolution pulsed laser radar // J. Optics. 1998. Vol. 29. P. 225-228

[2] A. Kilpela, J. Kostamovaara. Laser pulser for a time-of-flight laser radar // Rev. Sci. Instr. 1997. Vol.68. P. 2253-2258

[3] S. N. Vainshtein, G. Duan, A. V. Filimonov, J. T. Kostamovaara. Switching mechanisms triggered by a collector voltage ramp in avalanche transistors with short-connected base and emitter // IEEE Transactions on Electron Devices. 2016. Vol. 63. Iss. 8. P. 3044 – 3048

[4] W. B. Herden. Application of avalanche transistors to circuits with a long mean time to failure // IEEE Trans. Instrum. Meas. 1976. Vol. IM-25, No. 2, 740 P. 152–160

[5] J.M.T. Huikari, E.A. Avrutin, B.S. Ryvkin, J.J. Nissinen, and J.T. Kostamovaara. High-Energy picosecond pulse generation by gain switching in asymmetric waveguide structure multiple quantum well lasers // IEEE J. Sel. Topics Quantum Electron. 2015. Vol. 21. No. 6. Art. no. 762 1501206

[6] FID GmbH (http://www.fidtechnology.com)

[7] Filimonov A.V., Zemlyakov V.E., Egorkin V.I., Maslevtsov A.V., Wurz M.C., Vainshtein S.N. Nanosecond miniature transmitters for pulsed optical radars // Lecture Notes in Computer Science. 2017. Vol. 10531 LNCS. P. 490-497

[8] S. Vainshtein, V. Zemlyakov, V. Egorkin, A. Maslevtsov, A. Filimonov. Miniature high-power nanosecond laser diode transmitters using the simplest possible avalanche drivers // IEEE Transactions on Power Electronics. 2019. Vol. 34. Iss. 4. P. 3689-3699

Measuring, control and diagnostics under extreme conditions

Измерение, контроль и диагностика в экстремальных условиях

Методы предварительной обработки информации в системе измерения радиальных зазоров с самокомпенсацией температурных воздействий на датчик в проточной части ГТД

Белопухов В.Н.
Институт проблем управления сложными системами Российской академи наук
Самара, РФ
bvnsam@mail.ru

Боровик С.Ю.
Институт проблем управления сложными системами Российской академи наук
Самара, РФ
borovik@iccs.ru

Подлипнов П.Е.
Институт проблем управления сложными системами Российской академи наук
Самара, РФ
pepodlypnov@yandex.ru

Секисов Ю.Н.
Институт проблем управления сложными системами Российской академи наук
Самара, РФ
sekisov@iccs.ru

Скобелев О.П.
Институт проблем управления сложными системами Российской академи наук
Самара, РФ
borovik@iccs.ru

***Abstract* — The descriptions of innovative methods for preliminary data processing in radial clearances' measuring system, including the difference method for average extreme codes detection in interblade gaps, the difference method for extreme codes detection at the output of measuring circuit during one period of impeller rotation that is not dependent on temperature influence on the sensor, and the method for averaging of difference of the extreme codes over several periods of impeller rotation, are considered. The methods provide the increasing of processing speed and measurement accuracy. The quantitative estimates of methods speed and accuracy which confirm their efficiency and the ability to use them in gas-turbine engines' diagnostic systems are given.**

Ключевые слова — система измерения, радиальные зазоры, одновитковый вихретоковый датчик, самокомпенсация температурных воздействий на датчик, методы предварительной обработки информации, экстремальные значения кодов, обработка в реальном времени, уменьшение случайных погрешностей, управление и диагностика.

I. Введение

Известен метод измерения радиальных зазоров (РЗ) между торцами лопаток и статорной оболочкой газотурбинного двигателя (ГТД), который обеспечивает самокомпенсацию температурных воздействий на одновитковый вихретоковый датчик (ОВТД) с чувствительным элементом (ЧЭ) в виде отрезка проводника [1]. ЧЭ датчика безиндуктивными тоководами (ТВ) связан с объемным витком (ОВ) согласующего трансформатора (СТ), эквивалентная индуктивность первичной обмотки которого является информативным параметром, зависящем от РЗ. Через установочное отверстие ЧЭ вводится непосредственно в проточную часть ГТД, где взаимодействует с торцами лопаток при температуре, достигающей 1000 °*C* и выше (в турбине). СТ ОВТД находится вне статорной оболочки в более благоприятных температурных условиях. При этом ЧЭ, равно как и другие элементы конструкции ОВТД (ТВ и ОВ), изготавливаются из тех же жаропрочных сплавов, которые применяются в производстве лопаток [2, 3].

Важное достоинство метода [1] состоит в том, что, благодаря самокомпенсации, нет необходимости применения дополнительного ОВТД-свидетеля, традиционно используемого для уменьшения влияния температурных воздействий на рабочий ОВТД. Как следствие, отсутствует необходимость и в дополнительном установочном отверстии в статорной оболочке [4, 5].

Поскольку РЗ является одним из основных параметров, от которого зависят показатели надежности и экономичности ГТД, а минимизация числа датчиков и установочных отверстий является весьма жестким требованием разработчиков ГТД к средствам сбора и обработки измерительной информации, то открывается реальная перспектива применения метода [1] и средств его реализации в системах управления и диагностики ГТД, используемых в авиации, электроэнергетике и газоперекачке.

В работе [6] проведены исследования преобразования РЗ и температуры в изменения информативного параметра ОВТД и далее в изменения кода АЦП в составе измерительной цепи (ИЦ). Кроме того, по представленным результатам исследований получены семейства функций преобразования (ФП) ИЦ в виде зависимостей кода от РЗ и температуры, подтверждающие неравномерное распределение ресурса АЦП в пользу температуры, обнаруженное в [1] и связанное с этим увеличение приведенной случайной погрешности из-за влияния помех.

В работе [7] рассматриваются принципы построения системы измерения РЗ на уровне структурно-функциональной схемы, которая отражает процесс преобразования РЗ в изменения информативного параметра ОВТД, его последующие преобразования в код АЦП в составе ИЦ и далее предварительную обработку кодов, обеспечивающую самокомпенсацию температурных воздействий на ОВТД, т.е. получение искомых результатов измерения РЗ, не зависящих от температуры. При этом отмечается, что для предварительной обработки может быть использован как микроконтроллер (МК), так и ПЭВМ в составе системы

©2019 ИПУСС РАН, СамГТУ, IEEE

измерения, которая ориентирована на применение в стендовых испытаниях ГТД. В той же работе [7] приведено развернутое описание алгоритмов, в которых реализованы ранее разработанные методы предварительной обработки. Однако в работе [7], как и в работах [1, 6] остались неизученными весьма значимые вопросы, связанные с обработкой измерительной информации в реальном времени.

Настоящая статья призвана устранить существующий пробел. В ней приводится описание методов предварительной обработки измерительной информации (в том числе вновь разработанных), в которых с целью повышения быстродействия все предусмотренные операции выполняются в реальном времени в МК, а повышение точности (уменьшение случайной составляющей погрешности) осуществляется путем усреднения результатов на нескольких периодах вращения рабочего колеса (РК). Приводятся также количественные оценки быстродействия и точности рассматриваемых методов, ориентированных на применение в системах управления и диагностики ГТД.

II. Методы предварительной обработки

Согласно [7] предварительная обработка информации в системе измерения РЗ с самокомпенсацией температурных воздействий на датчик включает множество операций, которые по своему содержанию, значимости, целям и задачам, в отдельности и по совокупности могут быть систематизированы и представлены как три метода определения - усредненного экстремального значения кода в межлопаточных промежутках, экстремальных значений разностных кодов по каждой лопатке за один период вращения РК, усредненных экстремальных значений разности кодов на нескольких периодах вращения РК.

Далее в той же последовательности приводится описание каждого из предлагаемых методов.

A. Метод определения усредненного экстремального значения кода в межлопаточных промежутках[1]

Согласно [1, 6] самокомпенсация температурных воздействий на ОВТД предусматривает определение экстремальных значений кодов (C_{II}^{ext}) в каждом промежутке между контролируемой и одной из соседних лопаток[2]. С высокой степенью вероятности можно утверждать, что температурное поле достаточно равномерно распределено по объему лопаточного венца, а значит можно отказаться от определения экстремума в каждом межлопаточном промежутке и воспользоваться единым усредненным значением ($\bar{C}_{\text{II}}^{ext}$), полученным за один или несколько периодов вращения РК.

Очевидным преимуществом такого подхода является снижение влияния случайных помех на результат преобразования. При этом среднее значение кода $\bar{C}_{\text{II}}^{ext}$ в межлопаточных промежутках можно рассматривать как оценку математического ожидания и вычислять различными методами. Один из них, наиболее очевидный, предусматривает усреднение экстремумов кодов по всем межлопаточным промежуткам РК. Однако получение $\bar{C}_{\text{II}}^{ext}$ этим способом требует предварительного поиска множества локальных экстремумов и эффективность такой оценки ограничена числом лопаток РК.

Более предпочтительным представляется применение метода определения $\bar{C}_{\text{II}}^{ext}$, основанного на построении статистического распределения цифровых кодов (гистограммы) с объемом измерительной выборки не менее чем за полный период вращения РК. При этом не требуется выполнение поиска локальных экстремумов и в расчетах для усреднения доступно множество отсчетов кодов каждого межлопаточного промежутка (при наличии случайных помех), что делает оценку $\bar{C}_{\text{II}}^{ext}$ более эффективной [8].

Статистическое распределение цифровых кодов осуществляется в рабочем режиме функционирования объекта (обычно достаточно одного периода вращения РК). При этом формируется массив $g[C]$, где символ «C» соответствует величине зарегистрированного кода, а значением элемента массива $g[C]$ является частота его появления в выборке. Очевидно, что размер массива $g[C]$ равен диапазону выходных кодов АЦП в составе ИЦ и при использовании 10-ти разрядного АЦП содержит 2^{10} элементов $g[0]\ldots g[1023]$.

Рассматриваемый метод предусматривает использование в качестве искомого экстремума единого усредненного значения кода $\bar{C}_{\text{II}}^{ext}$, которое соответствует глобальному экстремуму гистограммы. Зона глобального экстремума гистограммы с разбивкой на отдельные разряды показана на рис. 1, где выделен глобальный экстремум величиной g_{max}, который локализован в разряде $\bar{C}_{\text{II}}^{ext}$.

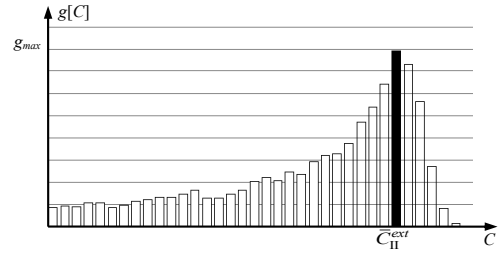


Рис. 1. Выделение на гистограмме единого усредненного кода межлопаточных промежутков ($\bar{C}_{\text{II}}^{ext}$)

Основная операция предельно проста и сводится к фиксации

$$g(\bar{C}_{\text{II}}^{ext}) = \max_{C=1,\ldots,C_{max}} g(C).$$

Нахождение экстремума гистограммы может происходить непосредственно в процессе ее накопления и хорошо сочетается с реальным временем, при этом не требуется каких-либо исходных данных и результирующих вычислений на выходе.

[1] Краткое описание приведено в [7]. Здесь оно представлено в расширенном виде и иллюстрировано гистограммой.

[2] В положении РК I центру ЧЭ соответствует центр контролируемой лопатки, в положении РК II - центр межлопаточного промежутка.

Оценка $\bar{C}_{\text{II}}^{ext}$ представляет собой наиболее часто встречающийся код и его экстремальное значение, полученное на первом периоде вращения РК, используется на следующем периоде вращения колеса.

В. Метод определения экстремальных значений разностных кодов по каждой лопатке за один период вращения РК

В работе [1] отмечалось, что самокомпенсация температурных воздействий на ОВТД осуществляется путем определения экстремальных значений кодов АЦП (ИЦ) в моменты прохождения ЧЭ ОВТД центрами межлопаточных промежутков и контролируемыми лопатками, а затем вычисления их разности. При этом указанные операции выполняются последовательно во времени. В предлагаемом методе, с целью минимизации временных затрат, предусмотрено определение усредненного экстремального значения кодов межлопаточных промежутков $\bar{C}_{\text{II}}^{ext}$ на предыдущем периоде вращения РК, а на текущем периоде производится совмещенное выполнение нескольких операций, в т. ч. определение разности усредненного (на предыдущем периоде вращения РК) значения кодов межлопаточных промежутков $\bar{C}_{\text{II}}^{ext}$ и текущих значений кодов (C) с выхода АЦП (ИЦ) ($\Delta C = \bar{C}_{\text{II}}^{ext} - C$), экстремальных значений найденной разности кодов (ΔC^{ext}) простым перебором, усредненного экстремального значения кодов межлопаточных промежутков $\bar{C}_{\text{II}}^{ext}$, предназначенного для использования на следующем периоде вращения РК.

Все перечисленные операции производятся в реальном времени в рамках предварительной обработки техническими средствами МК.

На рис. 2 представлены временные диаграммы, которые поясняют предусмотренные предлагаемым методом операции.

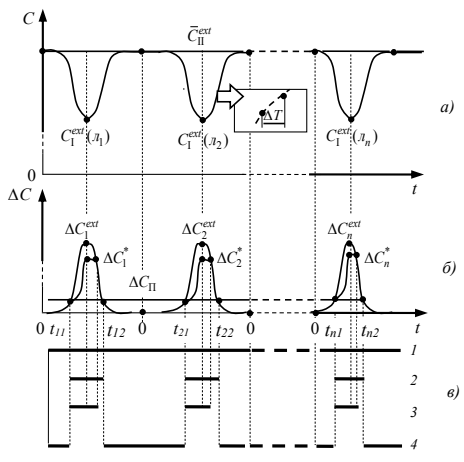


Рис. 2. Временные диаграммы – код $\bar{C}_{\text{II}}^{ext}$, найденный на предыдущем периоде, изменения кода $C(t)$ на выходе ИЦ (*а*), разность кодов $\Delta C(t)$ (*б*), диаграммы длительности операций, совмещенных на текущем периоде вращения РК (*в*)

Сначала определяются разности $\Delta C = \bar{C}_{\text{II}}^{ext} - C$, где $\bar{C}_{\text{II}}^{ext}$ (усредненный код межлопаточных промежутков, найденный на предыдущем периоде вращения РК) – величина постоянная, представленная прямой линией, параллельной оси времени t (*а*).

При этом экстремальные значения кодов C_{I}^{ext}, как и коды C зависят от РЗ, возрастая с их увеличением. В свою очередь C_{I}^{ext} и C_{II}^{ext} возрастают с увеличением температуры (θ) и уменьшаются с ее уменьшением. В этом состоит важная отличительная особенность рассматриваемого варианта ИЦ (по сравнению с вариантом, рассмотренным в [1]), которая проявляется в эргономической привлекательности семейств функций преобразования ИЦ (зависимостей экстремальных значений кодов C_{I} от РЗ и θ, а также C_{II} от θ) [6].

Фрагмент огибающей функции $C(t)$ в увеличенном масштабе представлен на «аппликации» в виде пунктирной линии, проходящей через две точки (два отсчета кода C), интервал времени между которыми определяет шаг дискретизации ΔT. В пределах ΔT осуществляется вычисление разности кодов ΔC и это повторяется многократно (по числу лопаток n) на протяжении полного периода вращения РК (T). Несмотря на дискретный характер операций вычисления ΔC на каждом шаге ΔT, длительность этой операции на диаграмме рис. 2, *в*-1 представлена сплошной линией на протяжении полного периода вращения РК.

Как следует из рис. 2, *б* экстремальные значения ΔC_1^{ext}, ΔC_2^{ext},…, ΔC_n^{ext} находятся между нулевыми значениями разности. Однако их поиск предлагается вести в интервале времени, ограниченным некоторым пороговым значением $\Delta C_{\text{П}}$. На диаграмме рис. 2, *б* временные интервалы, соответствующие порогу $\Delta C_{\text{П}}$, обозначены как t_{11} - t_{12}, t_{21} - t_{22},…, t_{n1} - t_{n2}, для лопаток под номерами 1, 2,…, n. При этом величина порога $\Delta C_{\text{П}}$ выбирается с учетом двух условий. Согласно первому, интервалы времени 0 - t_{11}, t_{12} - t_{21},…, t_{n2} - 0 должны быть достаточными для получения достоверных значений усредненного кода $\bar{C}_{\text{II}}^{ext}$, предназначенного для использования на следующем периоде вращения РК. Согласно второму - пороговое значение $\Delta C_{\text{П}}$ должно быть больше максимально возможного уровня неустранимых помех в ИЦ (обычно $\Delta C_{\text{П}}$ составляет (0,03÷0,05) ΔC_{max}^{ext}, где ΔC_{max}^{ext} - максимально возможное значение ΔC^{ext}).

Вместе с тем необходимо отметить, что поиск экстремальных значений разности ΔC_1^{ext}, ΔC_2^{ext},…, ΔC_n^{ext}, осуществляемый простым перебором, производится быстрее отведенных для него интервалов времени. Это происходит благодаря использованию известного алгоритма детектирования экстремумов [9], предполагающего непрерывное вычисление произведения $\Delta C \cdot \alpha$ - возрастающей разности кодов ΔC (по всем лопаткам) на коэффициент α (адаптивный порог). Обычно величина α выбирается равной 0,5÷0,8. Полученный результат фиксируется при достижении экстремума ΔC^{ext} (ΔC^{*}) и с ним сравниваются значения кода ΔC. В момент равенства (ΔC=ΔC^{*}) процесс перебора кодов останавливается, что свидетельствует о завершении операции поиска экстремальных значений ΔC_1^{ext}, ΔC_2^{ext},…, ΔC_n^{ext} (диаграмма временных интервалов рис. 2, *в*-3).

И, наконец, последняя из числа предусмотренных методом операция предполагает определение усредненного значения кодов $\bar{C}_{\text{II}}^{ext}$ в межлопаточных промежутках на текущем периоде вращения РК для использования его на последующем периоде. В отличие от аналогичной операции, выполняемой на первом по порядку периоде вращения РК, где построение гистограммы осуществлялось на полном периоде его вращения (рис. 1), определение $\bar{C}_{\text{II}}^{ext}$ на текущем периоде происходит в интервалах времени 0 - t_{11}, t_{12} - t_{21},…, t_{n2} - 0, т.е. в окрестностях центров межлопаточных промежутков (рис. 2, *б*, *в*-4). Однако, несмотря на указанные отличительные особенности, количественные оценки наиболее вероятного усредненного значения кодов $\bar{C}_{\text{II}}^{ext}$ практически одинаковы, а их гистограмма идентична фрагменту гистограммы рис. 1 в окрестности $\bar{C}_{\text{II}}^{ext}$.

Завершая описание метода определения экстремальных значений разности кодов по всем (n) лопаткам, необходимо подчеркнуть, что обновление искомых значений ΔC^{ext} по каждой лопатке происходит через временной интервал, равный периоду вращения РК. При скорости вращения 3000 об/мин это время составляет 20 мс, и его достаточно, например, для диагностики предпомпажных состояний, фиксируемых по изменениям ΔC^{ext}, а точнее по характеру изменений РЗ, связанных с началом колебательных процессов в газовоздушном тракте [10, 11] (если $n = 100$, $f = 10^6$ Гц, то экстремумы ΔC^{ext} появляются через 0,2 мс, и число отсчетов кода C составляет 200 на одну лопатку).

C. Метод усреднения экстремальных значений разности кодов на нескольких периодах вращения РК

Представляется очевидным, что шаг дискретизации (ΔT) зависит от частоты импульсного питания ИЦ и скорости вращения РК, причем с увеличением частоты шаг ΔT уменьшается (при постоянной скорости вращения) и возрастает с увеличением скорости вращения РК (при постоянной частоте импульсного питания ИЦ). Изменения шага дискретизации при заданной частоте импульсного питания могут быть причиной погрешности, имеющей случайный характер. В работе [12] предложена методика количественной оценки максимально возможных значений погрешностей для фиксированных значений частоты импульсного питания (f) и различных значений скорости вращения РК в заданном диапазоне. Исследования проводились на модели электромагнитного взаимодействия (ЭМВ) ЧЭ ОВТД с турбинной лопаткой сложной формы. Предложенная методика и аналогичная модель, адаптированная к форме и размерам лопаток, применяемым в компрессоре, были использованы для количественной оценки погрешности дискретизации в системе измерения РЗ с самокомпенсацией температурных воздействий на ОВТД[3].

Вычислительные эксперименты показали, что при $f = 10^6$ Гц и скорости вращения РК 3000 об/мин максимально возможная погрешность дискретизации составляла всего 0,012% (приведенная погрешность определялась как отношение максимально возможной погрешности дискретизации к разности кодов ΔC^{ext}, которая, согласно [6], при использовании в ИЦ 10-разрядного АЦП составляет около 300 единиц в диапазоне изменений РЗ от 2,5 мм до 0,5 мм). С увеличением скорости погрешность возрастает и при 10000 об/мин составляет 0,13%, 20000 об/мин - 0,58%, 30000 об/мин - 1,02%. Полученные результаты показывают, что при $f = 10^6$ Гц и на малой скорости вращения РК (3000 об/мин) максимально возможная погрешность дискретизации незначительна и ею можно пренебречь (тем более с увеличением частоты (f) импульсного питания ИЦ).

Однако при этом сохраняется случайная составляющая погрешности, связанная с неустранимыми помехами в ИЦ. По экспериментальным данным, приведенным в [1], она достигает 0,4% в компрессоре, что более чем на порядок больше максимально возможной погрешности дискретизации на скорости 3000 об/мин (0,012%).

Для уменьшения этой погрешности предварительная обработка предусматривает операцию усреднения экстремальных значений разности кодов ΔC^{ext} по каждой лопатке на нескольких периодах вращения РК. Согласно [14] эта операция обеспечивает уменьшение случайной погрешности в $\sqrt{N}$ раз, где N – число периодов вращения РК. Если предположить, что измерение РЗ производится в компрессоре ГТД при скорости вращения 3000 об/мин и N=25, то погрешность 0,4% уменьшается в 5 раз и составляет менее 0,1% (0,08%), причем для достижения такой точности требуется всего лишь 0,5 с.

Как отмечалось выше, с ростом скорости вращения РК увеличивается погрешность дискретизации (при постоянстве частоты импульсного питания ИЦ), которая также имеет случайный характер. Представляется очевидным, что рассматриваемый метод усреднения разностных значений кодов на нескольких периодах вращения РК обеспечивает снижение и этой составляющей погрешности, но возрастают как число периодов вращения РК, так и соответствующие временные затраты, а их количественные оценки требуют проведения дополнительных исследований.

D. О вычислении физических значений РЗ

Из описания структурно-функциональной схемы системы измерения РЗ с самокомпенсацией температурных воздействий на ОВТД [7] следует, что расчет физических значений РЗ производится в ПЭВМ. Для системы отсчета 0*XYZ*, начало которой (точка 0) расположено на внутренней поверхности статорной оболочки, координатные оси X и Z направлены вдоль оси РК и в направлении его вращения соответственно, а текущим значениям РЗ соответствуют значения координаты y, вычисление РЗ (y-координаты) производится с помощью градуировочных характеристик (ГХ) в виде зависимости экстремальных значений разности кодов от координаты y и температуры θ ($\Delta C^{ext}(y, \theta)$). Описание оборудования для экспериментальных исследований ГХ, методики их получения, а также применения ГХ в расчетах РЗ (у) можно найти в работах [4, 5]. Как было показано еще в работах [1, 6], самокомпенсация обеспечивает устранение влияния температурных воздействий только на ОВТД. При этом, благодаря использованию ГХ и текущей информации о температуре θ в проточной части со встроенной в ОВТД термопары, значительно уменьшается и влияние воздействия температуры непосредственно на

[3] В работе [6] адаптированная модель использована для получения семейств ФП ОВТД и ИЦ, а подробные сведения об изменениях в исходных данных, связанных с заменой турбинных лопаток на компрессорные можно найти в работе [13].

лопатки. Вместе с тем, необходимо отметить, что расчет РЗ (y) и коррекция температурных воздействий на лопатки в ПЭВМ – это скорее дань сложившимся традициям, чем необходимость, поскольку вычислительных ресурсов современных МК вполне достаточно для выполнения как предварительной обработки измерительной информации, так и расчетных операций с использованием ГХ в реальном времени.

III. Заключение

С целью повышения быстродействия, а также точности измерения РЗ за счет снижения случайной составляющей погрешности предложены:

1) метод определения усредненного экстремального значения кода по всем межлопаточным промежуткам за полный, причем первый, период вращения РК, предусматривающий построение статистического распределения (гистограммы) кодов ИЦ, фиксацию найденного по гистограмме наиболее вероятного значения кода для использования его на следующем периоде вращения РК,

2) метод, предусматривающий совмещение нескольких операций на одном полном периоде вращения РК, включая вычисление разности усредненного экстремального значения кода межлопаточных промежутков, найденного на предыдущем периоде вращения РК и кодов ИЦ, получаемых на текущем периоде, определение экстремальных значений разности кодов по всем лопаткам, определение усредненного экстремального значения кода межлопаточных промежутков для использования его на следующем периоде вращения РК,

3) метод, обеспечивающий уменьшение случайных погрешностей, предусматривающий усреднение разностных кодов по каждой лопатке за фиксированное число полных периодов вращения РК.

Приведены примеры количественных оценок быстродействия и точности предложенных методов, подтверждающих возможность их применения в системах управления и диагностики ГТД.

Список литературы

[1] Белопухов В.Н., Боровик С.Ю., Кутейникова М.М, Подлипнов П.Е., Секисов Ю.Н., Скобелев О.П. Способ измерения радиальных зазоров в газотурбинном двигателе с самокомпенсацией температурных воздействий на датчик // Датчики и системы. –2018. – №4, -с.53-59.

[2] Боровик С.Ю., Кутейникова М.М, Подлипнов П.Е., Райков Б.К., Секисов Ю.Н., Скобелев О.П. Эквивалентные параметры одновиткового вихретокового датчика в измерительной цепи с импульсным питанием // Датчики и системы. –2016. –№2, -с.27-35.

[3] Кутейникова М.М., Райков Б.К., Скобелев О.П. Конструктивные разновидности высокотемпературных одновитковых вихретоковых датчиков // Проблемы управления и моделирования в сложных системах. Труды XIV Международной конференции. – Самара: Изд-во СамНЦ РАН, 2012, -с.595-601.

[4] Методы и средства измерения многомерных перемещений элементов конструкций силовых установок / Под ред. Ю.Н. Секисова, О.П. Скобелева – Самара: Изд-во СамНЦ РАН, 2001.

[5] Кластерные методы и средства измерения деформаций статора и координат смещений торцов лопаток и лопастей в газотурбинных двигателях / под общ. ред. О.П. Скобелева – М.: Машиностроение, 2011.

[6] Белопухов В.Н., Боровик С.Ю., Кутейникова М.М, Подлипнов П.Е., Секисов Ю.Н., Скобелев О.П. Измерение радиальных зазоров в газотурбинном двигателе с самокомпенсацией температурных воздействий на датчик. Семейства функций преобразования датчика и измерительной цепи. // Датчики и системы. – 2019 (в печати).

[7] Белопухов В.Н., Боровик С.Ю., Кутейникова М.М, Подлипнов П.Е. Структура и алгоритмы функционирования систем измерения радиальных зазоров с самокомпенсацией температурных воздействий // Вестник СамГТУ, Серия «Технические науки», №4 (60), 2018. –с. 52-65.

[8] Патент РФ №2651622 RU, МПК G01B 7/14. Способ измерения радиальных зазоров между торцами лопаток рабочего колеса и статорной оболочкой турбомашины / Белопухов В.Н., Подлипнов П.Е., Секисов Ю.Н. – Опубл. 23.04.18, Бюл. №12.

[9] А.с. 1550608 SU, МКИ Н 03 К 5/153. Устройство для фиксации момента прохождения задним фронтом импульса заданного уровня / Белопухов В.Н., Малов А.Н., Подвигин В.Н. -№ 4332427/24-21; Заяв. 24.11.87; Опубл. 15.03.90, бюл. № 10.

[10] Боровик С.Ю., Райков Б.К., Секисов Ю.Н., Скобелев О.П. Способ измерения и обнаружения колебаний лопаток в экспериментальных исследованиях и диагностике срывных и помпажных явлений в компрессорах газотурбинных двигателей // Проблемы управления и моделирования в сложных системах. Труды IV Международной конференции. – Самара: Изд-во СамНЦ РАН, 2002, - с.539-545.

[11] Белкин В.М., Данильченко В.П., Райков Б.К., Секисов Ю.Н., Скобелев О.П. Экспериментальное подтверждение метода обнаружения срывных и помпажных явлений по колебаниям лопаток // Проблемы управления и моделирования в сложных системах. Труды VI Международной конференции. – Самара: Изд-во СамНЦ РАН, 2004- с.431-437.

[12] Боровик С.Ю., Кутейникова М.М, Секисов Ю.Н., Скобелев О.П. Погрешности дискретизации в системах измерения радиальных и осевых смещений торцов лопаток рабочего колеса турбины // Вестник СамГТУ, Серия «Технические науки», №2 (50), 2016. – с.83-90.

[13] Кутейникова М.М., Подлипнов П.Е. Влияние осевых смещений рабочего колеса турбомашины на результаты измерения радиальных зазоров при использовании самокомпенсации температурных воздействий на датчик //Вестник СамГТУ. Серия «Технические науки». – 2017. – №4 (56). – с.76-84.

[14] Вентцель Е.С. Теория вероятностей. -М.: Физматгиз, 1962.

Анализ влияния работы бортовой аппаратуры на измерительную погрешность датчиков

Белоусов А.И.
Кафедра конструкции и проектирования двигателей летательных аппаратов
Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева
г. Самара, Россия
aibelousov@mail.ru

Седельников А.В.
Кафедра космического машиностроения
Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева
г. Самара, Россия
axe_backdraft@inbox.ru

***Abstract* — In this paper, the influence of purpose designed and support equipment on the accuracy of the measurement data of the induction vector of the Earth's magnetic field components by onboard three-component magnetometer sensors was investigated. Considered small spacecraft: flight and prototypes of the Aist small spacecraft. They are identical in design and internal layout. The adequacy of the operation of the magnetometer sensors on the middle-class Foton-M No. 2 spacecraft is analyzed. Based on studies of a large amount of data, estimates are obtained of real errors of direct measurements of components and indirect measurements of the modulus of the induction vector of the Earth's magnetic field using spacecraft magnetometer sensors. The research results can be used in the design of information-measuring and control systems of spacecraft, as well as in optimizing the layout of measuring instruments in the internal environment of the spacecraft.**

Ключевые слова — измерительная погрешность, бортовые средства измерений, магнитометр, космический аппарат

I. Введение

Оценка угловой скорости вращательного движения космического аппарата (КА) вокруг центра масс является важной задачей как для ориентированного, так и для неориентированного полёта КА. В случае ориентированного полёта КА имеет полноценную систему ориентации и управления орбитальным движением, необходимую для решения задачи стабилизации, например, панелей солнечных батарей относительно направления на Солнце [1, 2].

Для неориентированного полёта оценка и снижение значения модуля угловой скорости вращения КА вокруг центра масс необходима для повышения качества телеметрической информации с борта КА, а также эффективности работы магнитных исполнительных органов, за счёт которых осуществляется снижение угловой скорости [3]. Так, в работе [4] приводятся данные о неудачных попытках снижения угловой скорости на опытном образце (ОО) малого космического аппарата (МКА) «Аист». Предполагается, что такой исход связан с влиянием целевой и обеспечивающей аппаратуры МКА на точность измерений компонентов вектора индукции магнитного поля Земли бортовыми магнитометрическими датчиками. Угловая скорость оценивалась по этим измерениям [5].

Проблема влияния целевой и обеспечивающей аппаратуры на измерения магнитометрических датчиков особенно актуальна для МКА: внутренний объём для размещения научной аппаратуры КА среднего класса «Бион–М» № 1 составляет около 5,63 м^3, а весь внутренний объём ОО МКА «Аист» – 0,13 м^3 [3]. Для МКА возможности размещения магнитометрических датчиков вдали от источников собственного магнитного поля практически нет. Поэтому даже их оптимальная компоновка с точки зрения минимизации влияния бортовых источников магнитных возмущений не позволит сделать это влияние пренебрежимо малым.

Таким образом, анализ влияния целевой и обеспечивающей аппаратуры является важной и актуальной задачей, обеспечивающей эффективное функционирование МКА.

II. Исследование влияния работы бортовой аппаратуры на измерительную погрешность магнитометров ОО МКА «Аист»

ОО МКА «Аист» был выведен на орбиту с космодрома Плесецк 28.12.2013 ракетой-носителем «Союз-1-2в» [6]. В состав научной аппаратуры МАГКОМ, разработанной в институте космического приборостроения Самарского национального исследовательского университета входили два трёхкомпонентных магнитометрических датчика [4].

Для оценки влияния работы целевой и обеспечивающей аппаратуры на измерительную погрешность магнитометрических датчиков был использован тест, предложенный в работе [7] и заключающийся в оценке среднеорбитального значения модуля вектора индукции магнитного поля Земли и его дисперсии. При этом для корректно работающих средств измерений должны выполняться условия [7]:

$$\begin{cases} \lim\limits_{n\to\infty}\left(\left|\vec{\bar{B}}\right| - \left|\hat{\vec{B}}\right|\right) = 0 \\ \lim\limits_{n\to\infty} D\left|\hat{\vec{B}}\right| = 0 \end{cases}, \quad (1)$$

где $\left|\vec{\bar{B}}\right|$ – среднее значение модуля магнитной индукции на орбите КА; $\left|\hat{\vec{B}}\right|$ – выборочное среднее значение модуля индукции; n – число измерений.

©2019 ИПУСС РАН, СамГТУ, IEEE

Для ОО МКА «Аист» при анализе влияния целевой и обеспечивающей аппаратуры было использовано около 70 витков и 52400 измерений. При этом минимальные значения дисперсий выборочного среднего значения модуля индукции магнитного поля Земли составляют для первого и второго магнитометров приблизительно 0.666 мкТл^2 и 0.433 мкТл^2. Динамика изменения дисперсии представлена на рис. 1.

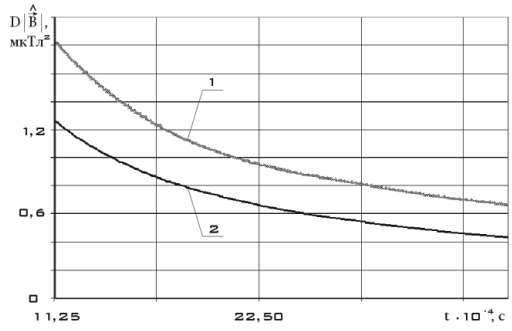


Рис. 1. Зависимость дисперсии выборочного среднего значения модуля индукции магнитного поля Земли от времени: 1 – первый магнитометр; 2 – второй магнитометр

Анализ структуры дисперсии выборочного среднего значения модуля индукции магнитного поля Земли показывает, что она содержит постоянную и переменную составляющие. Первая связана, прежде всего, с исследуемым влиянием работы целевой и обеспечивающей аппаратуры. Действительно, при корректно работающих средствах измерений среднее значение измерительной погрешности равно нулю, поэтому она не будет оказывать значимого влияния на постоянную составляющую дисперсии. Поэтому в первом приближении можно вообще считать, что постоянная составляющая является количественным параметром, характеризующим влияние работы целевой и обеспечивающей аппаратуры на средства измерений.

Переменная составляющая дисперсии интегрирует в себе множество факторов:

- дисперсия измерительной погрешности;
- нестационарность влияния работы целевой и обеспечивающей аппаратуры;
- ограниченность рассматриваемого объёма выборки данных;
- случайные воздействия и т.д.

Для оценки и анализа влияния целевой и обеспечивающей аппаратуры аппроксимируем корреляционные зависимости, представленные на рис. 1, следующей функциональной зависимостью:

$$D\left|\hat{\vec{B}}\right| = a + \frac{b}{i}, \qquad (2)$$

где a и b – константы, а i – количество измерений, учитываемых при оценке дисперсии D.

В этом случае:

$$\lim_{i\to\infty} D\left|\hat{\vec{B}}\right| = a. \qquad (3)$$

При этом оценку (3) можно считать параметром интенсивности влияния работы целевой и обеспечивающей аппаратуры при бесконечном количестве измерений: чем больше её отличие от нуля, тем интенсивней влияние испытывают средства измерений.

Подберём коэффициенты a и b с помощью метода наименьших квадратов:

$$\begin{cases} b = \dfrac{\sum_{i=1}^{n}\left|\vec{B}_i\right| \cdot \sum_{i=1}^{n}\frac{1}{i} - n\sum_{i=1}^{n}\frac{\left|\vec{B}_i\right|}{i}}{\left(\sum_{i=1}^{n}\frac{1}{i}\right)^2 - n\sum_{i=1}^{n}\frac{1}{i^2}}, \\ a = \dfrac{\sum_{i=1}^{n}\frac{\left|\vec{B}_i\right|}{i} - b\sum_{i=1}^{n}\frac{1}{i^2}}{\sum_{i=1}^{n}\frac{1}{i}} \end{cases} \qquad (4)$$

где $\left|\vec{B}_i\right|$ – i-е измерение модуля вектора индукции магнитного поля Земли.

Для исключения стохастичности первые 15000 измерений в оценке (4) не учитывались. Стохастичность в этом случае проявляется в значимой зависимости динамики изменения дисперсии на начальном отрезке данных от порядка формирования общей выборки из отдельных сеансов измерений. Для двух магнитометров ОО МКА «Аист» аппроксимирующие зависимости (2) имеют вид:

$$\begin{cases} D_1\left|\hat{\vec{B}}\right| = 0{,}134 + \dfrac{25057}{i} \\ D_2\left|\hat{\vec{B}}\right| = 0{,}062 + \dfrac{18006}{i} \end{cases}.$$

Тогда

$$\begin{cases} \lim_{i\to\infty} D_1\left|\hat{\vec{B}}\right| = 0{,}134 \\ \lim_{i\to\infty} D_2\left|\hat{\vec{B}}\right| = 0{,}062 \end{cases}. \qquad (5)$$

Анализ оценок (5) показывает, что интенсивность магнитных полей, возникающих при работе целевой и обеспечивающей аппаратуры, в месте размещения первого магнитометра было существенно выше, чем в зоне размещения второго. Этот вывод подтверждается и

другими исследованиями. Так, в работах [6, 7] при реконструкции вращательного движения идентичных по конструкции и компоновке лётного и опытного образцов МКА «Аист» использовались измерения только второго магнитометра. При этом был проведён тест соответствия измерений модели стандартной магнитосферы. Этот тест показал, что измерения второго магнитометра более корректны, чем первого. Оценка (5) объясняет такую ситуацию более высоким значением дисперсии первой оценки. К сожалению, для анализа влияния работы целевой и обеспечивающей аппаратуры на лётном образце МКА «Аист» нет достаточного количества данных, поскольку после 10 полных витков и примерно 8400 измерений телеметрические данные с МКА длительное время не поступали [8, 9].

III. Исследование влияния работы бортовой аппаратуры на измерительную погрешность магнитометров КА «Фотон – М» № 2

КА среднего класса «Фотон – М» № 2 был запущен 31.05.2005 г с космодрома Байконур [10]. Данные измерений магнитометров записывались непрерывно с интервалом 5 с, а затем были извлечены после возврата спускаемой части КА. Всего накоплено около 155000 измерений, что соответствует примерно 144 виткам [11]. Для оценки влияния работы целевой и обеспечивающей аппаратуры были использованы данные измерений трёх магнитометров из шести, которые входили в состав научной аппаратуры МИРАЖ. Динамика изменения дисперсии выборочного среднего значения модуля индукции магнитного поля Земли составляют для первого, второго и третьего магнитометров приблизительно 0.382 мкТл^2, 0.820 мкТл^2 и 1.271 мкТл^2. Зависимость дисперсии от времени для трёх магнитометров КА «Фотон – М» № 2 приведены на рис. 2.

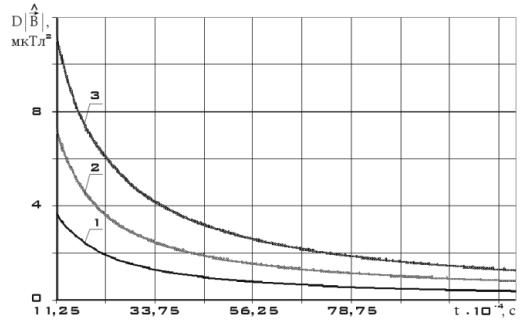


Рис. 2. Зависимость дисперсии выборочного среднего значения модуля индукции магнитного поля Земли от времени: 1 – первый; 2 – второй; 3 – третий магнитометры

Оценка корреляционных зависимостей функциональной зависимостью (2) даёт следующие результаты, аналогичные (5):

$$\begin{cases} \lim\limits_{i\to\infty} D_1\left|\hat{\bar{B}}\right| = 0{,}033 \\ \lim\limits_{i\to\infty} D_2\left|\hat{\bar{B}}\right| = 0{,}145 \\ \lim\limits_{i\to\infty} D_3\left|\hat{\bar{B}}\right| = 0{,}287 \end{cases}, \qquad (6)$$

Таким образом, сравнивая (5) и (6), можно утверждать, что на КА среднего класса существенно больше возможностей избежать влияния целевой и обеспечивающей аппаратуры на точность оценки компонентов вектора индукции магнитного поля Земли бортовыми средствами измерений. Однако только первый магнитометр КА «Фотон – М» № 2 был скомпонован оптимально. На остальные работа целевой и обеспечивающей аппаратуры оказывала существенное влияние.

Для анализа полученных результатов воспользуемся материалами работы [12], в которой проводится реконструкция вращательного движения КА «Фотон – М» № 2 по данным измерений магнитного поля Земли бортовыми магнитометрами. Авторы [12] отмечают хорошее совпадение измерений первого и третьего магнитометров второго контроллера (которые анализируются в данной работе) с расчётными данными по модели стандартной магнитосферы Земли. Из оценки (6) следует, что только первый магнитометр не подвергался существенному воздействию работы целевой и обеспечивающей аппаратуры. Объяснить такую разницу в результатах можно следующим образом. Оценка (6) является интегральной за весь период работы средств измерений, в то время как авторы [12] использовали для анализа четыре интервала, взятые из общего массива данных. Поскольку интенсивность влияния зависит от режима работы целевой и обеспечивающей аппаратуры, то, вполне возможно, что именно в выбранных в [12] отрезках эта интенсивность была минимальной по отношению к третьему магнитометру. Такая же картина наблюдалась при анализе данных на лётном и опытном образцах МКА «Аист». В режиме работы научной аппаратуры «компенсация микроускорений» включались электромагниты для снижения модуля угловой скорости вращения МКА [4]. При этом существенно изменялись погрешности оценки компонентов вектора индукции магнитного поля Земли различными магнитометрами по сравнению с другими режимами работы научной аппаратуры [13, 14].

Авторы [12] объясняют различия результатов измерений второго магнитометра с расчётными данными возможной неверной его калибровкой. Однако в свете оценки (6) появляется и другое возможное объяснение причины таких различий, поскольку влияние работы целевой и обеспечивающей аппаратуры на точность измерений в [12] не рассматривалось. В целом можно сделать выводы о хорошем совпадении результатов настоящей работы с [12] с учётом представленных объяснений.

IV. Заключение

Проведённый анализ позволяет сделать ряд выводов.

- Дисперсия среднего выборочного значения модуля вектора индукции магнитного поля Земли позволяет проводить количественный анализ влияния работы бортовой аппаратуры на измерительную погрешность магнитометров.
- Для КА среднего класса с помощью оптимальной компоновки средств измерений возможно добиться пренебрежимо малого влияния работы бортовой аппаратуры на точность оценки компонентов вектора индукции магнитного поля Земли, для МКА это влияние необходимо обязательно учитывать.
- В целом результаты проведённого анализа совпадают с исследованиями других авторов в части оценок корректности работы бортовых средств измерения, а отдельные расхождения объясняются особенностями анализа.

Полученные результаты могут быть использованы при разработке новых бортовых информационно-измерительных систем, а также поиске оптимального варианта их компоновки внутри КА.

Список литературы

[1] Абрашкин В.И., Воронов К.Е., Пияков А.В., Дорофеев А.С., Пузин Ю.Я., Сазонов В.В., Семкин Н.Д., Филиппов А.С., Чебуков С.Ю., Определение вращательного движения малого космического аппарата «АИСТ-2Д» по данным научной аппаратуры КМУ–1 // Препринты ИПМ им. М.В. Келдыша, 2017. № 57. – С. 1–37.

[2] Седельников А.В., Серпухова А.А., Моделирование движения упругого космического аппарата в целях оценки микроускорений // Известия вузов. Авиационная техника, 2009. № 4. С. 71–72.

[3] Sedelnikov A.V., Fast Analysis of Onboard Measurements of the Earth Magnetic Field for the Purpose of Microaccelerations Decrement on Board of the “AIST” Small Spacecraft During its Uncontrolled Orbital Flight // International Review of Aerospace Engineering, 2018. Vol. 11. № 2. – P. 76–83.

[4] Белоусов А.И., Сёмкин Н.Д., Седельников А.В., Пузин Ю.Я., Воронов К.Е., Пияков А.В., Филиппов А.С., Анализ вращательного движения малых космических аппаратов серии «Аист» // Авиакосмическое приборостроение, 2017. № 8. – С. 3–10.

[5] Sedelnikov A.V., Khnyryova E.S., Ivashova T.A., Checking the correct operation of main measuring instruments on the flight model and prototype of AIST small spacecraft // MATEC Web of Conferences. 2018. Vol. 234. 01007.

[6] Абрашкин В.И., Воронов К.Е., Пияков А.В., Пузин Ю.Я., Сазонов В.В., Сёмкин Н.Д., Филиппов А.С., Чебуков С.Ю. Неуправляемое вращательное движение опытного образца малого космического аппарата АИСТ // Космические исследования, 2017. Т. 55. № 2. – С. 135–149.

[7] Абрашкин, В.И., Воронов К.Е., Пияков А.В., Пузин Ю.Я., Сазонов В.В., Сёмкин Н.Д., Филиппов А.С., Чебуков С.Ю., Неуправляемое вращательное движение малого спутника АИСТ // Космические исследования, 2015. Т. 53. № 5. – С. 395–408.

[8] Sedelnikov A.V., Modeling of microaccelerations caused by running of attitude-control engines of spacecraft with elastic structural elements // Microgravity Science and Technology, 2016. Vol. 28. № 5. P. 491–498.

[9] Аншаков Г.П., Белоусов А.И., Седельников А.В., Проблема оценки микроускорений на космическом аппарате «Фотон – М» № 4 // Известия вузов. Авиационная техника, 2017. № 1. С. 80–86.

[10] Бойзелинк Т., Ван Бавинхов К., Сазонов В.В., Чебуков С.Ю., Определение вращательного движения спутника ФОТОН М-2 по данным измерений микроускорения // Космические исследования, 2009. Т. 47. № 6. – С. 537–549.

[11] Аншаков Г.П., Белоусов А.И., Седельников А.В., Пузин Ю.Я., Исследование влияния целевой и обеспечивающей аппаратуры на работу датчиков магнитометра ка «ФОТОН–М» № 2 // Известия вузов. Авиационная техника, 2019 (в печати).

[12] Абрашкин В.И., Богоявленский Н.Л., Воронов К.Е., Казакова А.Е., Пузин Ю.Я., Сазонов В.В., Семкин Н.Д., Чебуков С.Ю., Неуправляемое движение спутника ФОТОН М–2 и квазистатические микроускорения на его борту // Космические исследования, 2007. Т. 45. № 5. – С. 450–470.

[13] Sedelnikov A.V., Filippov A.S., Gorozhakina A.S., Evaluation of calibration accuracy of magnetometer sensors of Aist small spacecraft // Journal of Physics: Conference Series, 2018. Vol. 1015. 032045.

[14] Sedelnikov A.V., Khnyryova E.S., Filippov A.S., Ivashova T.A., Measurements Analysis of the Earth’s Magnetic Field Data Obtained from the Flight Model of AIST Small Spacecraft // International Journal of Mechanical Engineering and Robotic Research, 2019. Vol. 8. № 4. – P. 542–546.

Аппаратные и программные методы восстановления входных сигналов динамических систем с распределенными параметрами. Редукция к идеальному прибору

Бойков И. В.
Кафедра «Высшая и прикладная математика»
Пензенский государственный университет
Пенза, Россия
i.v.boykov@gmail.com

Кривулин Н. П.
Кафедра «Высшая и прикладная математика»
Пензенский государственный университет
Пенза, Россия
krivulin@bk.ru

***Abstract*— The paper presents a brief review of the authors' results on methods for reconstructing input signals of dynamic systems. Continuous and discrete systems with distributed and lumped parameters are considered. Mathematical models of these systems are differential and difference equations, as well as integral equations. The main focus of the work is on methods for reconstructing input signals based on the results of preliminary parametric identification of systems. In this regard, a separate section is devoted to a review of the authors' results on the methods of parametric identification of dynamic systems. Methods for the precise determination of the impulse response functions of continuous and discrete stationary systems using two input signals are considered. A number of approximate methods are presented. Methods of identification of parameters and restoration of input signals in systems modeled by Volterra series are investigated. A separate section is devoted to the application of the results to the modeling of specific technical systems.**

Ключевые слова — Нестационарные системы, динамические системы с распределенными параметрами, нелинейные системы, импульсная переходная функция, восстановление входных сигналов.

I. Введение

В данной работе представлен краткий обзор результатов авторов по методам восстановления входных сигналов нестационарных динамических систем (линейных и нелинейных) и систем с распределенными параметрами. Предлагаемые методы восстановления входных сигналов опираются на результаты авторов по методам идентификации параметров динамических систем. В связи с этим отдельный раздел посвящен обзору работ авторов по методам идентификации параметров динамических систем.

Работа построена следующим образом.

Первый раздел посвящен методам определения импульсных переходных функций. Раздел состоит из трех пунктов, в которых соответственно рассматриваются методы идентификации параметров стационарных динамических систем со сосредоточенными параметрами, нестационарных линейных динамических систем, нестационарных нелинейных динамических систем.

Второй раздел посвящен методам восстановления входных сигналов нестационарных динамических систем. Раздел состоит из трех пунктов, в которых соответственно рассматриваются методы восстановления входных сигналов нестационарных динамических систем по результатам параметрической идентификации, по коррекции выходного сигнала, по результатам моделирования динамической системы отрезком ряда Вольтерра.

Третий раздел посвящен приложениям полученных теоретических результатов к моделированию систем, функционирующих при термоударе.

II. Методы восстановления импульсных переходных функций динамических систем

В этом разделе представлены методы определения импульсных переходных функции линейных и нелинейных динамических систем.

Известно большое число работ посвященных методам идентификации параметров динамических систем, библиография которых содержится в монографиях и обзорах [1 - 14].

A. Идентификация параметров стационарных динамических систем

Большое число работ посвящено исследованию стационарных динамических систем со сосредоточенными параметрами, математические модели которых описываются уравнениями вида

$$Kx \equiv \int_0^t g(t-\tau)x(\tau)d\tau = f(t), \qquad (1)$$

где $x(t)$ и $f(t)$ -- соответственно входной и выходной сигналы; $g(t)$-- импульсная переходная функция.

Точные методы определения динамических характеристик линейных стационарных систем, использующих два реальных входных сигнала, предложены в работах И.В. Бойкова, И.В. Бойкова и Т.В. Черушевой, опубликованных в период 1991 –

Работа поддержана Российским фондом фундаментальных исследований. Грант 16-01-00594.

©2019 ИПУСС РАН, СамГТУ, IEEE

1995 гг. в журналах «Измерительная техника» и «Метрология». Эти результаты приведены в [1].

В монографии [1] приведен метод восстановления импульсных переходных функций стационарных динамических систем, описываемых уравнениями вида (1). Для его реализации используются два тестовых сигнала вида $x_1(t)$ и $x_2(t)=\int_t^T x_1(\tau)d\tau$, $t\in[0,T]$.

Аналогичные результаты получены для многомерных систем, моделируемых уравнением

$$\int_0^{t_1}\ldots\int_0^{t_l} g(t_1-\tau_1,..,t_l-\tau_l)x(\tau_1,..,\tau_l)d\tau_1..d\tau_l = f(t_1,..,t_l).$$

Определение импульсной переходной функции $g(t_1,\ldots,t_l)$ объекта (для краткости положим l=2) проводится по двум сигналам $x_1(t_1,t_2)$ и

$$x_2(t_1,t_2)=\int_{t_1}^{\infty}\int_0^{\infty}x_1(\tau_1,\tau_2)d\tau_1d\tau_2+$$
$$+\int_0^{\infty}\int_{t_2}^{\infty}x_1(\tau_1,\tau_2)d\tau_1d\tau_2-\int_{t_1}^{\infty}\int_{t_2}^{\infty}x_1(\tau_1,\tau_2)d\tau_1d\tau_2.$$

Аналогичные результаты получены для дискретных систем, функционирование которых описывается уравнениями $\sum_{k=0}^{\infty}g(l-k)x(k)=f(l),\ l=0,1,..$. Здесь $x(k)$ и $f(k)$ - входной и выходной сигналы; $g(k)$ - импульсная переходная функция, причем она физически реализуема, т. е. $g(k)=0$ при $k\le 0$.

При восстановлении импульсной переходной функции $g(k)$ используются входные сигналы $x_1(k)$, $k=0,1,\ldots$ и $x_2(l)=\sum_{k=l}^{\infty}x_1(k)$, $l=0,1,\ldots$. Детально данный метод изложен в работе [1].

A. Идентификация нестационарных линейных динамических систем

Разработаны методы определения импульсных переходных функций нестационарных динамических систем с распределенными параметрами [1], описываемых уравнениями

$$y(t,x_1,..,x_n)=$$
$$=\int_0^t\int_0^{x_1}\ldots\int_0^{x_n}g(t,\tau,x_1,\xi_1,..,x_n,\xi_n)\omega(\tau,\xi_1,\ldots,\xi_n)d\tau d\xi_1..d\xi_n, \quad (2)$$

где $\omega(t,x_1,\ldots,x_n)$, $y(t,x_1,\ldots,x_n)$ - входной и выходной сигналы системы; $g(t,\tau,x_1,\xi_1,\ldots,x_n,\ \xi_n)$ - импульсная переходная функция, подлежащая восстановлению.

Методы идентификации основаны на следующем общем утверждении.

Пусть преобразование Лапласа функции $g(t_1,\tau_1,\ldots,t_n,\tau_n)$ по переменным $t_1,\ldots,t_n$ удовлетворяет условию

$$G(p_1,\ldots,p_n,\tau_1,\ldots,\tau_n)=$$
$$=\int_0^{\infty}\ldots\int_0^{\infty}g(t_1,\tau_1,..,t_n,\tau_n)e^{-\left(p_1t_1+..+p_nt_n\right)}dt_1..dt_n=$$
$$=\hat{G}(p_1,..,p_n)e^{-\left(\tau_1q_1(p_1)+..+\tau_nq_n(p_n)\right)},$$

где $\hat{G}(p_1,..,p_n)$, $q_1(p_1),\ldots$, $q_n(p_n)$ - функции аналитические в полуплоскостях $\mathrm{Re}p_k>\sigma$ комплексных переменных p_k, k=1, 2,…, n, σ=*const.*

Тогда преобразование Лапласа уравнения

$$y(t_1,..,t_n)=\int_0^{\infty}\ldots\int_0^{\infty}g(t_1,\tau_1,..,t_n,\tau_n)x(\tau_1,..,\tau_n)d\tau_1..d\tau_n$$

имеет вид

$$Y(p_1,\ldots,p_n)=\hat{G}(p_1,\ldots,p_n)X(q_1(p_1),\ldots,q_n(p_n)). \quad (3)$$

Здесь $Y(p_{1,\ldots}p_n)$, $X(p_{1,\ldots}p_n)$ - изображение Лапласа функций $y(t_1,\ldots,t_n)$, $x(t_1,\ldots,t_n)$.

Функции $\hat{G}(p_1,\ldots,p_n)$, $q_1(p_1),\ldots,q_n(p_n)$ определяются из решения системы из n+1 нелинейных алгебраических уравнений, составленных по результатам n+1 тестового испытания. Располагая найденными функциями $\hat{G}(p_1,\ldots,p_n)$, $q_1(p_1),\ldots,q_n(p_n)$, импульсную переходную функцию $g(t_1,\tau_1,\ldots,t_n,\tau_n)$ системы (2) находим обратным преобразованием Лапласа.

Данный поход был реализован для дискретных систем, описываемых уравнениями

$$y(k_1,..k_n)=$$
$$=\sum_{m_1=0}^{k_1}\ldots\sum_{m_n=0}^{k_n}g(k_1,\ldots,k_n,m_1,\ldots,m_n)\,x(m_1,\ldots,m_n),$$
$$k_1,\ldots,k_n=0,1,2,\ldots,$$

где $x(k_1,\ldots,k_n)$ и $y(k_1,\ldots,k_n)$ - входной и выходной сигналы системы; $g(k_1,\ m_1,\ldots,\ k_n,\ m_n)$, m_i=0, 1,…, k_i, i=1, 2,…, n, k_i=0, 1,…, i=1, 2,…, n, - импульсная переходная функция.

Методы идентификации основаны на следующем общем утверждении.

Пусть для импульсной переходной функции $g(k_1,\ m_1,\ldots,\ k_n,\ m_n)$ Z-преобразование по переменным $k_1,\ldots,\ k_n$ удовлетворяет условию

$$G(z_1,\ldots,z_n,m_1,\ldots,m_n)=$$
$$=\hat{G}(z_1,..,z_n)\left[q_1(z_1)\right]^{-m_1}..\left[q_n(z_n)\right]^{-m_n},$$
$$m_1,\ldots,m_n=0,1,2,\ldots,$$

где $\hat{G}(z_1,..,z_n)$, $q_1(z_1),\ldots, q_1(z_n)$ -- функции аналитические в полуплоскостях Re$z_k>\sigma$ комплексных переменных z_k, k=1, 2,…, n, σ=*const.*

Тогда *Z*-преобразование уравнения

$$\neg y(k_1,..k_n) = \sum_{m_1=0}^{\infty} \ldots \sum_{m_n=0}^{\infty} g(k_1,\ldots,k_n,m_1,\ldots,m_n)\times \times x(m_1,\ldots,m_n), k_1,\ldots,k_n = 0,1,2,\ldots \quad (4)$$

будет иметь вид

$$Y(z_1,..,z_n) = \hat{G}(z_1,..,z_n)X(q_1(z_1),\ldots,q_n(z_n)), \quad (5)$$

где функции $Y(z_1,\ldots, z_n)$ и $X(z_1,\ldots, z_n)$ - *Z*-преобразования последовательностей $y(k_1,\ldots, k_n)$ и $x(k_1,\ldots, k_n)$, $k_1,\ldots, k_n$=0, 1,…, соответственно.

Восстановление импульсной переходной функции системы (4) проводится по серии из n+1 -го тестового испытания. В результате обработки входных $x_k(k_1,\ldots, k_n)$ и соответствующих выходных $y_k(k_1,\ldots, k_n)$, k=1, 2,…, n+1, сигналов составляется система из n+1 нелинейного уравнения с неизвестными $\hat{G}(z_1,..,z_n)$, $q_1(z_1),\ldots, q_n(z_n)$. Определив эти неизвестные, находим импульсную переходную функцию обратным *Z*-преобразованием.

B. Идентификация нестационарных динамических нелинейных систем

Разработаны [14] методы идентификации непрерывных нелинейных динамических систем с распределенными параметрами, описываемых уравнениями вида

$$y(t,x) = \int_0^t \int_D g_1(t,\tau_1,x,\xi)\omega(\tau_1,\xi)d\xi d\tau_1 + \ldots . + \int_0^t \ldots \int_0^t \int_D g_N(t,\tau_1,\ldots,\tau_N,x,\xi)\omega(\tau_1,\xi)..\omega(\tau_N,\xi)d\xi d\tau_1..d\tau_N, \quad (6)$$

где $D \in R_n$ - область в которой наблюдаются входной и выходной сигналы системы, $x=(x_1,\ldots, x_n)\in D$, $\xi=(\xi_1,\ldots, \xi_n)\in D$, $d\xi=d\xi_1\ldots d\xi_n$, $\omega(t, x)$ - входной сигнал; $y(t, x)$ - выходной сигнал; $g_1(t, \tau_1, x, \xi)$, …, $g_n(t, \tau_1,\ldots, \tau_n, x, \xi)$ - ядра Вольтерра, подлежащие восстановлению.

Будем считать, что ядра Вольтерра $g_1(t, \tau_1, x, \xi),\ldots,g_n(t, \tau_1,\ldots, \tau_n, x, \xi)$ удовлетворяют следующему условию физической реализуемости:

$$g_k(t, \tau_1,\ldots, \tau_k, x, \xi)=0, \tau_1>0$$

или $$\tau_k>0, k=1,\ldots, N, \quad (7)$$

или $$\xi \notin D.$$

Это позволяет представить уравнение (6) в виде:

$$y(t,x_1,\ldots,x_n) = \sum_{k=1}^{N} \int_0^{\infty} \ldots \int_0^{\infty}\int_0^{\infty} \ldots \int_0^{\infty} g_k(t,\tau_1,\ldots,\tau_k,x_1,\xi_1,\ldots,x_n,\xi_n)\times \times w_k(\tau_l,\ldots,\tau_k,\xi_1,\ldots,\xi_n)d\xi_1..d\xi_n d\tau_1..d\tau_k, \quad (8)$$

где $w_k(\tau_1,\ldots,\tau_k,\xi_1,\ldots,\xi_n) = \prod_{l=1}^{k} \omega(\tau_l,\xi_1,\ldots,\xi_n)$, k=1, 2,…, N.

Пусть $L = L_{x_n}[..L_{x_1}[L_t]]$, где L_t, L_{x_1},..., L_{x_n} операторы Лапласа, действующие по переменным $t, x_1,\ldots, x_n$.

Пусть при k=1, 2,…, N выполняются условия

$$G_k(p,\tau_1,...,p_1,\xi_1,...,p_n,\xi_n) = = L[g_k(t,\tau_1,...,\tau_k,x_1,\xi_1,...x_n,\xi_n)] = \quad (9)$$

$$= \hat{G}_k(p,p_1,...,p_n)\exp\{-\sum_{l=1}^{k}\tau_l q_{kl}(p) - \sum_{l=1}^{n}\xi_l \bar{q}_{kl}(p_l)\},$$

где $\hat{G}_k(p,p_1,...,p_n)$, $q_{k1}(p),...,q_{kk}(p)$, $\bar{q}_{kl}(p_l)$, k=1, 2,…, N, l=1, 2,…, n, - аналитические функции в области Ω, опредяемой неравенствами: Re$p>\alpha$, Re$p_k>\alpha$, k=1, 2,…, N, α=*const.*

Тогда

$$Y(p,p_1,...,p_n) = \hat{G}_1(p,p_1,...,p_n)W_1(q_{11}(p),\bar{q}_{11}(p_1),...,\bar{q}_{1n}(p_n))+... ...+\hat{G}_N(p,p_1,...,p_n)W_N(q_{N1}(p),...,q_{NN}(p),\bar{q}_{N1}(p_1),...,\bar{q}_{Nn}(p_n)).$$

Здесь $W_k(q_{k1}(p),...,q_{kk}(p),\bar{q}_{k1}(p_1),...,\bar{q}_{kn}(p_n))$, k=1, …, N, - многомерное преобразование Лапласа функций $w_k(\tau_1,\ldots, \tau_k, \xi_1,\ldots, \xi_n)$ по переменным $\tau_1,\ldots, \tau_k$, k=1,…, N; $\xi_1,\ldots, \xi_n$:

$$W_k(q_{k1}(p),...,q_{kk}(p),\bar{q}_{k1}(p_1),...,\bar{q}_{kn}(p_n)) = = \int_0^{\infty} \ldots \int_0^{\infty}\int_0^{\infty} \ldots \int_0^{\infty} w_k(\tau_l,\ldots,\tau_k,\xi_1,\ldots,\xi_n)\times \times e^{-\sum_{l=1}^{k}\tau_l q_{kl}(p)} e^{-\sum_{l=1}^{n}\xi_l \bar{q}_{kl}(p_l)} d\tau_1..d\tau_k, d\xi_1..d\xi_n, k=1,2,..N.$$

Восстановления ядер Вольтерра системы (6) проводится по результатам проведения серии $N(N+2n+3)/2$ тестовых испытаний, состоящих из входных $w_k(t,x_1,\ldots,x_n)$ и выходных $y_k(t,x_1,\ldots,x_n)$, k=1,2, ..., $N(N+2n+3)/2$, сигналов.

В предположении, что ядра Вольтерра удовлетворяют условиям (7) и (9), в результате испытаний получаем систему $N(N+2n+3)/2$ нелинейных алгебраических уравнений с $N(N+2n+3)/2$ неизвестными $\hat{G}_k(p,p_1,...,p_n)$, $q_{k1}(p),\ldots,q_{kk}(p)$, $\bar{q}_{kl}(p_l)$, k=1, 2,…, N, l=1, 2,…, n. Для решения последней привлекаются стандартные методы вычислительной математики.

После определения функций $\hat{G}_k(p,p_1,...,p_n)$ $q_{k1}(p),\ldots,q_{kk}(p)$, $\bar{q}_{kl}(p_l)$, k=1, 2,…, N, l=1, 2,…, n, ядра

Вольтерра находятся обратным преобразованием Лапласа.

Аналогичные результаты получены для нелинейных дискретных динамических систем, описываемых уравнениями:

$$y(k)=\sum_{l=0}^{k}g_1(k,l_1)x(l_1)+\ldots \\ \ldots+\sum_{l_1=0}^{k}\ldots\sum_{l_N=0}^{k}g_N(k,l_1,\ldots,l_N)x(l_1)\ldots x(l_N), \quad (10)$$

где $x(k)$ и $y(k)$, k=0,1,…- входной и выходной сигналы, соответственно; $g_1(k, l_1),\ldots, g_N(k, l_1,\ldots, l_N)$, k, l=0, 1,… - ядра Вольтерра, подлежащие определению.

Пусть выполнены условия:

$g_m(k, l_1,\ldots, l_m)$=0, $l_1>k$ или … или $l_m>k$, m=1,…, N; (11)

Z -преобразование ядер Вольтерра имеет вид:

$$G_m(z,l_1,\ldots,l_N)=L[g_m(k,l_1,\ldots,l_m)]= \\ \sum_{l_1=0}^{k}\ldots\sum_{l_m=0}^{k}g_m(k,l_1,\ldots,l_m)z^{-k}= \\ =\hat{G}_m(z)[q_{m1}(z)]^{-l_1}\ldots[q_{mm}(z)]^{-l_m},\ m=1,2,\ldots,N. \quad (12)$$

Тогда Z -преобразование уравнения (10) имеет вид

$$Y(z)=G_1(z)X(q_{11}(z))+\ldots+G_N(z)X(q_{N1}(z))\ldots X(q_{NN}(z)).$$

Восстановления ядер Вольтерра системы (10) проводится по результатам проведения серии тестовых испытаний, состоящих из входных $x_v(k)$ и выходных $y_v(k)$, k=1,2,…, $v=1,2,\ldots,N(N+3)/2$, сигналов.

В предположении, что ядра Вольтерра удовлетворяют условиям (11) и (12), в результате испытаний получаем систему $N(N+3)/2$ нелинейных алгебраических уравнений с $N(N+3)/2$ неизвестными $\hat{G}_m(z)$, $q_m(z),\ldots, q_{mm}(z)$, m=1, 2,…, N. Для решения последней привлекаются стандартные методы вычислительной математики.

После определения функций $\hat{G}_m(z)$, $q_m(z)$, …, $q_{mm}(z)$, m=1, 2,…, N, ядра Вольтерра находятся обратным Z-преобразованием.

III. Восстановление входных сигналов нестационарных динамических систем

Восстановлению входных сигналов информационно-измерительных систем посвящена обширная литература. Далеко не полное представление об этой проблематике можно получить по материалам, приведенным в монографиях и обзорах [15-19] и по цитируемой в них литературе.

В данном разделе приводятся алгоритмы восстановления входных сигналов нестационарных динамических систем (линейных и нелинейных), которые осуществляют редукцию к идеальному прибору.

При построении методов восстановления входных сигналов используются алгоритмы идентификации параметров динамических систем, приведенные в предыдущем разделе.

Отметим, что методы восстановления входных сигналов стационарных систем исследовались в работах [15], [1]. В работе [15] представлены итерационные методы восстановления входных сигналов линейных систем, а в работе [1]- нелинейных.

Раздел написан по результатам работ [1], [20], [21].

A. Восстановление входных сигналов нестационарных систем по результатам параметрической идентификации

Ниже представлен метод, основанный на построение математической модели измерительной системы в виде дифференциального уравнения

$$a_n(t)\frac{d^n f(t)}{dt^n}+a_{n-1}(t)\frac{d^{n-1}f(t)}{dt^{n-1}}+\ldots+a_0(t)f(t)=x(t). \quad (13)$$

Здесь $x(t)$ - входной сигнал, подлежащий восстановлению; $f(t)$ - выходной сигнал.

Восстановление входного сигнала проводится по формуле (13). Предварительно определяются коэффициенты $a_n(t),\ldots, a_0(t)$ дифференциального уравнения (13) и вычисляются производные $\frac{d^n f(t)}{dt^n}$, $\frac{d^{n-1}f(t)}{dt^{n-1}}$, …, $\frac{df(t)}{dt}$.

Определение коэффициентов уравнения (13) проводится по известной или восстановленной импульсной переходной функции измерительной системы. Соответствующие методы представлены в работе [20].

Аналогичные результаты получены для дискретных систем [1], [20], [21]. Восстановление входного сигнала проводится путем построения разностного уравнения:

$$a_n(k)y(k+n)+\ldots+a_0(k)y(k)=x(k),\ \ k=0,1,\ldots \quad (14)$$

Здесь $x(k)$, k=0, 1,…, - входной сигнал; $y(k)$, k=0, 1,…, - выходной сигнал.

Методы определения коэффициентов $a_n(t),\ldots,a_0(t)$, k=0, 1,…, разностного уравнения (14), основанные на интерпретации результатов виртуальных испытаний, представлены в работе [21].

Аналогичные результаты получены и для восстановления входных сигналов динамических систем с распределенными параметрами, математические модели которых описываются дифференциальными уравнениями в частных производных и их дискретными аналогами [1].

B. Восстановление входного сигнала по коррекции выходного сигнала

В разделе представлены методы восстановления входного сигнала по обработке выходного сигнала измерительного преобразователя. Для обработки выходного сигнала используется корректирующее устройство (КУ), реализация которого может быть выполнена как аппаратно, так и программно.

Для измерительного преобразователя, описываемого уравнением

$$\int_0^t g(t,\tau)x(\tau)d\tau = f(t), 0 \le t < \infty, \quad (15)$$

строится измерительная система, состоящая из первичного измерительного преобразователя (ПИП), описываемого уравнением (15) и КУ, функционирование которого описывается уравнением

$$\int_0^t g_C(t,\tau)f(\tau)d\tau = x(t), 0 \le t < \infty, \quad (16)$$

где $f(t)$ - входной сигнал КУ (выходной сигнал ПИП (15)); $f(t)$ - выходной сигнал КУ; $g(t,\tau)$ - импульсная переходная функция ПИП; $g_C(t,\tau)$ - импульсная переходная функция КУ.

Восстановление функций $g(t,\tau), g_C(t,\tau)$ осуществляется методами, представленными в первом разделе.

Восстановление входного сигнала $x(t)$ в режиме работы измерительного преобразователя определяется по формуле $x(t) = \int_0^t g_C(t,\tau)f(\tau)d\tau$.

Аналогичные результаты получены для дискретных систем, функционирование которых описываются уравнениями

$$y(k) = \sum_{l=0}^{\infty} g(k,l)x(l), k = 0,1,2,..., \quad (17)$$

где $x(l)$, l=0, 1,…, $y(k)$, k=0, 1,…,- входной и выходной сигналы; $g(k, l)$, k, l=0, 1, 2,…- импульсная переходная функция.

Строится измерительная система, состоящая из ПИП (17) и КУ, функционирование которого описывается уравнением

$$x(k) = \sum_{l=0}^{\infty} g_C(k,l)y(l), k = 0,1,2,...$$

где $y(l)$, l=0, 1,…,- выходной сигнал ПИП (17), $x(k)$, k=0, 1,…,- восстанавливаемый сигнал ПИП (17); $g_C(k,l)$, k, l=0, 1, 2,…- импульсная переходная функция КУ.

C. Восстановление входных сигналов нелинейных динамических систем

В работе [21] рассмотрены методы восстановления входных сигналов непрерывных и дискретных нелинейных систем, описываемых уравнениями

$$y(t) = \int_0^t g_1(t,\tau_1)x(\tau_1)d\tau_1 + ... \\ ... + \int_0^t ... \int_0^t g_N(t,\tau_1,...,\tau_N)x(\tau_1)..x(\tau_N)d\tau_1..d\tau_N, \quad (18)$$

$$y(k) = \sum_{l_1=0}^{k} g_1(k,l_1)x(l_1) + ... \\ ... + \sum_{l_1=0}^{k} ... \sum_{l_N=0}^{k} g_N(k,l_1,...,l_N)x(l_1)..x(l_N). \quad (19)$$

Здесь $x(t)$ - входной сигнал; $y(t)$ - выходной сигнал; $g_1(t, \tau_1),\ldots, g_1(t, \tau_1,\ldots, \tau_N)$, - ядра Вольтерра уравнения (18) - ПИП, $x(k)$, k=0,1,…- входной сигнал; $x(k)$, k=0, 1,…- выходной сигнал; $g_1^K(k,l_1),...,g_N^K(k,l_1,...,l_N)$, $k, l = 0, 1,...$ - ядра Вольтерра уравнения (19).

Рассмотрим модель, описываемую уравнением (18). Требуется разработать измерительную систему, состоящую из ПИП и последовательно соединенного с ним КУ, математическая модель которого описывается в виде конечного ряда Вольтерра

$$x(t) = \int_0^t g_1^K(t,\tau_1)y(\tau_1)d\tau_1 + ... \\ ... + \int_0^t ... \int_0^t g_N^K(t,\tau_1,...,\tau_N)y(\tau_1)..y(\tau_N)d\tau_1..d\tau_N, \quad (20)$$

где $x(t)$ - входной сигнал; $y(t)$ - выходной сигнал; $g_1^K(t,\tau_1)$, ..., $g_N^K(t,\tau_1,...,\tau_N)$ - ядра Вольтерра, подлежащие восстановлению.

В случае дискретных систем КУ моделируются отрезками ряда Вольтерра вида

$$x(k) = \sum_{l_1=0}^{k} g_1^K(k,l_1)y(l_1) + ... \\ ... + \sum_{l_1=0}^{k} ... \sum_{l_N=0}^{k} g_N^K(k,l_1,...,l_N)y(l_1)..y(l_N), \quad (21)$$

где $x(k)$ и $y(k)$, k=0,1,…,- входной и выходной сигналы; $g_j^K(k,l)), j = 1, 2,...,N, k = 0, 1,...$ искомые ядра Вольтерра.

Задача построения измерительной системы сводится к восстановлению ядер Вольтерра КУ, описываемых уравнениями (20), (21). Ядра Вольтерра определяются методами предлагаемыми в параграфе 1.3.

IV. Технические приложения методов

A. Восстановление входного сигнала пьезодатчика динамических давлений

На основе представленных методов разработаны алгоритмы [22] восстановления входного сигнала пьезодатчика динамических давлений (ПДД) функционирующего при мощных и быстроизменяющихся температурных воздействиях (термоударах) в диапазоне от минус 253°С до 700°С.

По экспериментально полученным временным зависимостям выходных сигналов первичного и вторичного измерительного преобразователей пьезодатчика динамического давления построены математическая модель функционирования пьезодатчика при термоударе и алгоритм восстановления входного сигнала пьезодатчика при термоударе.

Предложенный [22] способ синтеза математической модели пьезодатчика позволил снизить погрешность измерения акустического давления датчиком ДХС 525 при термоударном воздействии рабочей среды - при температуре минус 180°С с 67% до 3 % и при температуре + 200°С - с 35% до 2 %;

B. Восстановление входных сигналов вихретоковых преобразователей перемещения при термоударных воздействиях

Вихретоковые преобразователи находят широкое применение при измерении перемещений и биений валов благодаря своей простоте и высокой надежности при работе в широком диапазоне температур, начиная от криогенных и заканчивая температурами +200°С.

Предложенный авторами метод [23] восстановления входных сигналов вихретоковых преобразователей перемещения основан на коррекции выходного сигнала $u(k,T)$ преобразователя при термоударном воздействии T_d°С. Математическая модель описывается рядом

$$x(k) = \sum_{l_1=0}^{k} g_1(k-l_1,T_d)u(l_1,T_d) + \\ + \sum_{l_1=0}^{k}\sum_{l_2=0}^{k-l_1} g_2(k-(l_1+l_2),T_d)u(l_1,T_d)u(l_2,T_d).$$

Ядра Вольтерра определяются по серии испытаний, состоящих из эталонных входных $x_1(k)$, $x_2(k)$ и соответствующих выходных $u_1(k, T_d)$, $u_2(k, T_d)$ сигналов.

Натурные эксперименты показали, что максимальная погрешность восстановления входного перемещения при термоударном воздействии в -50°С составила менее 6% .

V. Выводы

Предлагаемые методы идентификации и восстановления входных сигналов динамических систем могут использоваться в различных областях техники.

Список литературы

[1] Бойков, И. В. Аналитические и численные методы идентификации динамических систем / И. В. Бойков, Н. П. Кривулин. - Пенза : Изд-во ПГУ, 2016. -398 с.

[2] Грановский, В. А. Динамические измерения: теория и метрологическое обеспечение вчера и сегодня / В. А. Грановский // Датчики и системы. – 2016. - 3 (201). - С. 57-72.

[3] Дейч, А. М. Методы идентификации динамических объектов / А. М. Дейч. - М. : Энергия, 1979. - 240 с.

[4] Прангишвили, И. В. Идентификация систем и задачи управления: на пути к современным системным методологиям / И. В. Прангишвили, В. А. Лотоцкий, К. С. Гинсберг, В. В. Смолянинов // Пробл. управл., 2004, 4. - С. 2 - 15.

[5] Бахтадзе, Н. Н. Интеллектуальные алгоритмы идентификации состояния энергообъектов / Н. Н. Бахтадзе, В. А. Лотоцкий, Е. М. Максимов, Н. Е. Максимова // Информационные технологии и вычислительные системы. - 2011. - 3. - С. 45 - 50.

[6] Бунич, А. П. Синтез и применение дискретных систем управления с идентификатором / А. П. Бунич, Н. Н. Бахтадзе. -- М. : Наука, - 2003. - 232 с.

[7] Бутковский, А. Г. Характеристики систем с распределенными параметрами: справочное пособие / А. Г. Бутковский. - М. : Наука. - 1979. - 224 с.

[8] Doyle, F . J. Identification and control using Volterra models / F. J. Doyle, R. K. Pearson, D. A. Ogunnaike. - Germany: Springer Publ., 2002. – 314 pp.

[9] Цыпкин, Я. З. Информационная теория идентификации/ Я. З. Цыпкин. – М.: Наука; Физматлит, 1995. – 336 с.

[10] Никульчев, Е. В. Идентификация динамических систем на основе симметрий реконструированных аттракторов : учеб. пособие / Е. В. Никульчев. — М. :МГУП, 2010. — 100 с.

[11] Дисперсионная идентификация // Н. С. Райбман, В. В. Капитоненко, Ф. А. Овсепян, П. М. Варлаки; под ред. Н. С. Райбмана. - М.: Наука, 1981. - 336 с

[12] Джинчвелашвили Г.А., Идентификация расчетных моделей при динамических воздействиях / Г. А. Джинчвелашвили, О. В. Мкртычев, О. А. Ковальчук, А. В. Колесников, А. В. Соснин. - М. : Издательство АСВ, 2018. - 300 с.

[13] Walter, E. Identification of Parametric Models from Experimenatal Data. Communication and Control Engineering / E. Walter, L. Pronzato. – London: Springer Verlag, 1997. - 413 p.

[14] Бойков, И. В. Идентификация нелинейных динамических систем / И. В. Бойков, Н. П. Кривулин // Сибирский журнал индустриальной математики. - 2018. Том XXI, 2(74). - С. 17 - 31. - (Boikov, I. V. Identification of Parameters of Nonlinear Dynamical Systems Simulated by the Volterra Polynomials / I. V. Boikov, N. P. Krivulin // Journal of Applied and Industrial Mathematics. - 2018. - Vol. 12, No. 2. - P. 1 - 16.).

[15] Василенко, Г. И. Теория восстановления сигналов / Г. И. Василенко. - М. : Сов. радио, 1979. - 272 с.

[16] Воскобойников, Ю. Е. Дескрептивный алгоритм восстановления входных сигналов оптических систем / Ю. Е. Воскобойников, К. Ф. Втюрин, В. А. Литасов // Автометрия. - 2005. - Т. 41, №3. - С. 3 - 11.

[17] Грановский, В. А. Динамические измерения / В. А. Грановский. - - Л. : Энергоатомиздат, 1984. - 220 с.

[18] Сизиков, В. С. Математические методы обработки результатов измерений / В. С. Сизиков. - СПб : Политехника, 2001. - 240 с.

[19] Теребиж, В. Ю. Восстановление изображений при минимальной априорной информации / В. Ю. Теребиж // Успехи физических наук. - 1995.- Т. 165, №2. - С. 143 - 176.

[20] Бойков, И. В. Восстановление входных сигналов дискретных динамических систем / И. В. Бойков, Н. П. Кривулин // Измерительная техника. - 2017. - №11. - С. 3 - 7. - (Boikov, I. V. Recovering the Input Signals of Discrete Dynamical Systems / I. V. Boikov, N. P. Krivulin // Measurement Techniques. - 2018. - V. 60, No. 11. - P. 1073 - 1080.).

[21] Бойков, И. В. О методах восстановления входных сигналов нелинейных динамических систем, представимых полиномами Вольтерра / И. В. Бойков, Н. П. Кривулин // Сб. трудов XV международной научно-практической конференции «Инновационные, информационные и коммуникационные технологии» (1 - 10 октября, 2018) / Ред. С. У. Увайсов. - Москва: Ассоциация выпускников и сотрудников ВВИА им. проф. Жуковского, 2018. - С. 277 - 281.

[22] Бойков, И. В. К вопросу о синтезе математических моделей пьезоэлектрических датчиков акустического давления / И. В. Бойков, М. А. Щербаков, Н. П. Кривулин, В. В. Кикот, В. П. Маланин // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки, 2017. - № 1.- С. 106 - 114.

[23] Бойков, И. В. Восстановление входных сигналов вихретоковых преобразователей перемещения при термоударных воздействиях / И. В. Бойков, Н. П. Кривулин, С. В. Абрамов, В. П. Маланин, В. В. Кикот // Измерительная техника. - 2018. - 11. - С. 61 - 67.

Определение несущей способности сотовой панели в местах установки закладных втулок при действии нагрузки в плоскости панели

Еремин А.В.
Теплоэнергетическийфакультет
ФГБОУ ВО «СамГТУ»
Самара, Россия
a.v.eremin@list.ru

Жуков В.В.
Теплоэнергетическийфакультет
ФГБОУ ВО «СамГТУ»
Самара, Россия
vrbatacom@mail.ru

Степанец Д.В.
Самарский университет
Самара, Россия
stepanets–dmitriy@mail.ru

***Abstract*—Modern composites can reduce the mass, increase the strength, rigidity, chemical and thermal structure stability, which allows to increase the mass of the output carrier rocket payload. Composites have a great prospect of application when creating and deploying large-sized structures in space. This article considers a typical three-layer cellular panel of a spacecraft (SC). For the power frame of the SC attachment, as well as for carrying out rigging work, embedded elements (bushings) are installed in the panel. The paper presents the results of experimental and numerical determination of the panel carrying capacity at the sites of embedded sleeves installation under the load action in its plane.**

Ключевые слова — трехслойная панель, сотовый заполнитель, прочность, закладные элементы, несущая способность, статические испытания, конечные элементы, втулка

I. Введение

В настоящее время в космической отрасли широко применяются композитные материалы, что обусловлено их высокими удельными характеристиками прочности. Композиты представляют собой многокомпонентные материалы, состоящие, как правило, из основы и наполнителя, обладающего высокой прочностью. Сочетание разнородных веществ приводит к созданию нового материала, свойства которого количественно и качественно отличаются от свойств каждого из его составляющих. Варьируя состав матрицы и наполнителя, их соотношение, ориентацию наполнителя, получают широкий спектр материалов с требуемым набором свойств. Многие композиты превосходят традиционные материалы и сплавы по своим механическим свойствам при меньшей массе. Использование композитов обычно позволяет уменьшить массу конструкции при сохранении или улучшении её механических характеристик, что особенно актуально для ракетно – космической техники [1 – 4].

Целью работы является определение несущей способности сотовой панели с закладными втулками при действии нагрузки в плоскости панели экспериментально и при помощи численного метода конечных элементов с использованием программного пакета MSC.Patran/Nastran с последующим сравнением полученных результатов.

Полученные экспериментальные данные имеют практическую значимость, заключающуюся в возможности их использования при проектировании и расчетах подобных типов конструкций [1].

II. Описание конструкции

В статье рассматривается сотовая панель (см. рис. 1), которая представляет собой трехслойную конструкцию, состоящую из двух несущих слоев – обшивок толщиной 0,8 мм, изготовленных из алюминиевого сплава МТ1 (условное обозначение «Материал №1») и сотового заполнителя из перфорированной алюминиевой фольги толщиной 0,023 мм. Толщина панели составляет 30 мм. Сотовый заполнитель имеет шестигранную форму ячеек и соединяется с обшивками с помощью тонкой клеевой пленки МТ2 на эпоксидной основе.

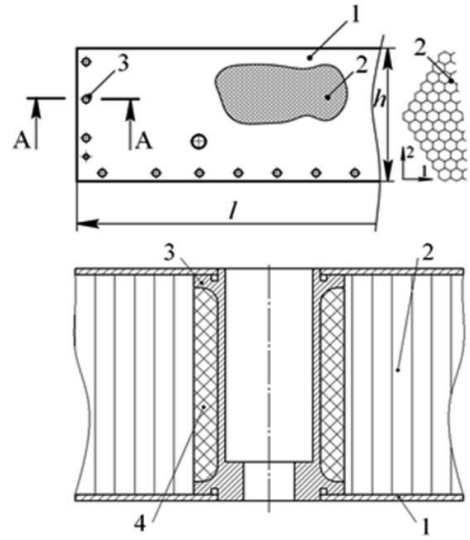


Рис. 1. Схема испытываемой панели: 1 – обшивка; 2 – сотовый наполнительн; 3 – втулка; 4 –компаунд

В панели в посадочных местах установлены резьбовые алюминиевые закладные втулки из материала МТ3, которые предназначены для обеспечения выполнения такелажных работ. Соединение закладных втулок с трехслойной конструкцией осуществляется при помощи герметизирующего компаунда МТ4. Механические характеристики материалов сотовой панели приведены в таблице I.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РНФ в рамках научного проекта № 18–79–00171 и Совета по грантам Президента РФ в рамках научного проекта МК–2614.2019.8.

©2019 ИПУСС РАН, СамГТУ, IEEE

ТАБЛИЦА I. МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МАТЕРИАЛОВ СОТОВОЙ ПАНЕЛИ

Наименование	Относительное удлинение после разрыва ε, %	Предел текучести материала $\sigma_т$, МПа	Предел прочности на сдвиг $\tau_б$, МПа	Предел прочности $\sigma_б$, МПа
МТ1	7,0	400	290	480
МТ2	7,0	-	32,4	3,9
МТ3	8,0	145	156	260
МТ4	7,5	-	-	51,7

III. СТАТИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ

Для определения экспериментальных значений несущей способности была разработана программа статических испытаний. Задачами испытаний являются отработка методики исследования механических свойств композитов и определение несущей способности сотовой панели [2].

Схема испытываемой панели показана на рис. 2. Крепление панели к стальной плите (оснастке) осуществлялось при помощи стальных болтов (М6) длиной 80 мм, через штатные втулки, а также втулки оснастки. Плита (оснастка) крепится к стойкам через четыре стальных болта М30, в свою очередь стойки крепятся к силовому полу. За разрушение в работе принималось резкое падение нагрузки при проведении испытаний.

Испытания сотовой панели проводились при поочередном приложении нагрузки ко втулкам *A, B, C ,D, E*(см. рис. 2).

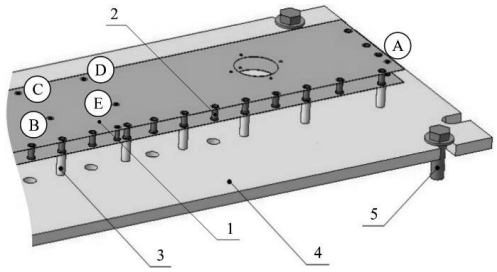


Рис. 2. Схема испытываемой панели (сотовый заполнитель не показан): 1 – несущие слои; 2 – закладные втулки; 3 – втулки (оснастка); 4 – плита (оснастка); 5 – болты М30

Нагрузка прикладывалась в двух главных направлениях, которые характеризуют любой сотовый заполнитель. В направлении 1 сотовый заполнитель является более жестким и прочным, по сравнению с направлением 2 [3, 5 – 10]. В связи с этим результаты, полученные при испытаниях, сравнивались по каждому направлению в отдельности. Для нагружения во втулку, через которую осуществляется нагружение сотовой панели, с обеих сторон ввинчивались стальные болты М6 (см. рис. 3), к которым через стальные тросы в противоположных направлениях прикладывалась нагрузка Р, создавая пару сил.

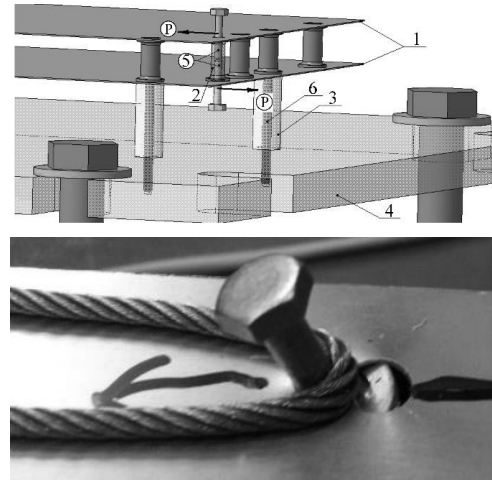


Рис. 3. Схема приложения нагрузки: 1 – несущие слои; 2 – закладные втулки; 3 – втулки (оснастка); 4 – плита (оснастка); 5 – болты для нагружения втулки; 6 – спецболты крепления панели (оснастка); Р – прикладываемая нагрузка

Результаты испытаний втулок приведены в таблицахII, III. На рис. 4 показан характер разрушения закладных элементов. При нагружении втулки *C* произошло сползание стального троса по телу болта, которым прикладывалась нагрузка и при достижении нагрузки значения в 5,7 кН произошло разрушение болта. Испытанную втулку для продолжения эксперимента восстановить не удалось.

ТАБЛИЦА II. РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ ВТУЛОК *A*, *C* И *D* (1-Е НАПРАВЛЕНИЕ)

Втулка *A*		**Втулка *D***		**Втулка *C***	
Нагруж., %	***Нагрузка, кН***	***Нагруж., %***	***Нагрузка, кН***	***Нагруж., %***	***Нагрузка, кН***
20	0,7	20	0,88	20	1
40	1,4	40	1,76	40	2
60	2,1	60	2,64	60	3
80	2,8	80	3,52	80	4
100	3,1	100	4,4	100	5
112,9	3,5	102,3	4,5	102,0	5,1
-	-	113,6	5	112,0	5,6
-	-	115,9	5,1	114,0	5,7
-	-	118,2	5,2	Произошло разрушение болта	
-	-	120,5	5,3		
-	-	122,7	5,4		
-	-	125,0	5,5		
-	-	127,3	5,6		

ТАБЛИЦА III. РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ ВТУЛОК *E* И *B* (2-Е НАПРАВЛЕНИЕ)

Втулка *E*		**Втулка *B***	
Этап нагружения, %	***Значение нагрузки, кН***	***Этап нагружения, %***	***Значение нагрузки, кН***
20	1	20	1
40	2	40	2
60	3	60	3
80	4	80	4
100	5	100	5
102,0	5,1	102,0	5,1
104,0	5,2	104,0	5,2
106,0	5,3	106,0	5,3
108,0	5,4	108,0	5,4
110,0	5,5	110,0	5,5
112,0	5,6	112,0	5,6
114,0	5,7	-	-
116,0	5,8	-	-
118,0	5,9	-	-
120,0	6	-	-
122,0	6,1	-	-
124,0	6,2	-	-
126,0	6,3	-	-

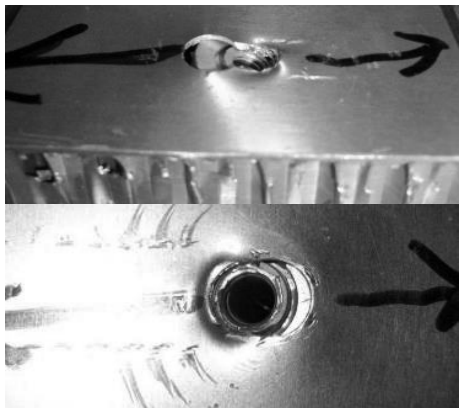


Рис. 4. Характер разрушения втулки *D*вследствие действия внешней нагрузки

IV. РАСЧЕТ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ СОТОВОЙ ПАНЕЛИ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Моделирование сотовой панели с последующим анализом результатов расчета проводилось при помощи программного пакета MSC.Patran/Nastran. При моделировании обшивки, клеевой пленки, компаунда, закладных элементов и сотового заполнителя сотовой панели были созданы материалы с изотропными механическими свойствами согласно таблице I.

Принцип КЭ моделирования участка сотовой панели рассмотрим на примере участка с втулкой *E* (см. рис. 5). В связи с тем, что участок панели с закладной втулкой *B* полностью идентичен участку панели с втулкой *E*, моделировался участок сотовой панели с одной закладной втулкой. Закрепление рассматриваемого участка сотовой панели моделировалось с помощью задания граничных условий по торцам КЭМ панели по всем степеням свободы. Нагружение КЭМ панели моделируется посредством приложения пары сосредоточенных сил величиной 6,3 кН каждая, действующих в противоположные стороны в плоскости панели. Нагрузка приложена к болтам М6, используемым при испытании. Связь болтов с КЭМ рассматриваемой втулки осуществлялась через RBE2 элементы. Поскольку в работе моделировалось разрушение конструкции, то проводился нелинейный статический расчет КЭ модели [4]. Для анализа результатов определялись значения напряжений, возникающих в клеевом соединении втулки с обшивкой, т.к. при проведении эксперимента наблюдался именно этот вид разрушения.

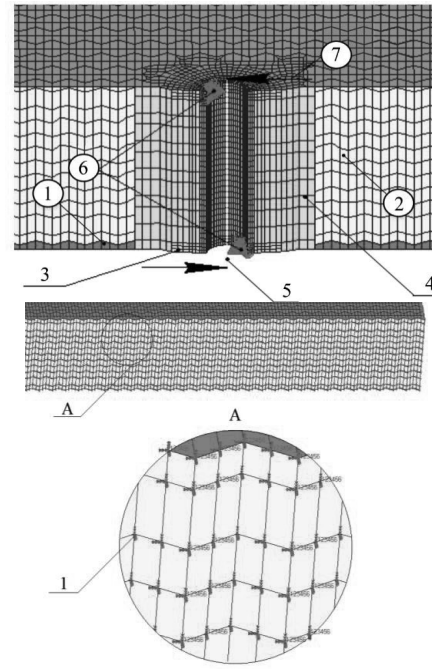


Рис. 5. Схема нагружения КЭМ части сотовой панели с втулкой № 30: 1 – КЭМ обшивок; 2 – КЭМ сотового заполнителя; 3 – КЭМ испытываемой втулки; 4 – КЭМ компаунда; 5 – КЭМ болтов М6; 6 – RBE2 элементы; 7 – сосредоточенные

По результатам расчета методом КЭ максимальные напряжения в клеевом соединении при нагружении втулки составили11,4 МПа. Результаты нелинейного статического расчета для прочих конструктивных элементов оказались следующими: обшивка – 370,0 МПа; сотовый заполнитель – 87,7 МПа; втулка – 385 МПа. Результаты КЭ расчетов приведены на рис. 6.

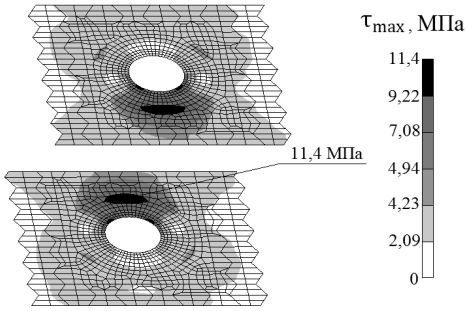


Рис. 6. Результаты расчтов напряжений в верхнем и нижнем клеевых слоях втулок

V. Анализ полученных результатов

Сопоставляя результаты, полученные в обшивке сотовой панели при проведении испытаний при нагружении втулки, с результатами, полученными методом КЭ моделирования, видно, что наиболее схожие результаты достигаются по тензодатчикам, которые измеряют деформацию в направлении приложения нагрузки, и составляют 0,94 %. Результаты сравнения представлены в таблице IV. ТР1, ТР2, ТР3, ТР4 – тензодатчики. ТР2, ТР3 измеряли деформацию в направлении приложения нагрузки.

ТАБЛИЦА IV. Результаты сравнения результатов численного моделирования и эксперимента

Обозначение тензорезист.	**Напряжения, эксперимент, МПа**	**Напряжения, КЭМ, МПа**	**Погрешность, %**
ТР 1	135	105	22,2
ТР 2	-212	-214	0,94
ТР 3	-221	-217	1,81
ТР 4	137	101	26,3

Сравнивая результаты напряженного состояния в клеевом соединении, полученные при моделировании трех различных участков сотовой панели, с пределом прочности клея ВК-51 на сдвиг получаем, что клеевое соединение при действии испытательной нагрузки имеет коэффициент запаса прочности (наименьший по трем КЭ моделям), равный:

$$\eta = \frac{\sigma_в}{\sigma^p} = \frac{32,4}{11,4} = 2,8,$$

где $\sigma_в$ – предел прочности клея ВК-51, σ^p – расчетное напряжение в клеевом слое, полученное по КЭ модели.

VI. Заключение

В данной статье описана методика проведения статических испытаний сотовой панели КА при действии нагрузки в плоскости панели, сформирована расчетная схема нагружения сотовой панели через закладные элементы (втулки). Приведено описание испытательной схемы, оснастки, используемой при проведении испытаний. В результате проведения эксперимента получены значения несущей способности панели, напряжения в обшивке сотовой панели в местах установки закладных втулок. Построены конечно-элементные модели трех типовых участков сотовой панели с закладными элементами, которые использовались при проведении испытаний. Определена несущая способность трехслойной конструкции в местах установки закладных элементов методом КЭ. Приведено сравнение экспериментальных результатов с расчетом методом КЭ, выполненным в программном пакете MSC.Patran/Nastran. Проведенные расчеты показывают, что результаты, полученные при испытаниях и методом КЭ моделирования, зависят от расположения закладного элемента относительно кромки трехслойной панели и направления приложения нагрузки. Значение предельной нагрузки зависит от реального радиуса области заполнения компаундом, качества приклеивания закладных элементов к обшивке, сдвиговой прочности материала заполнителя трехслойной панели и толщины стенки фольги заполнителя.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

[1] O. T. Thomsen, Sandwich plates with ‘through-thethickness’ and ‘fully potted’ inserts: evaluation of differences in structural performance, 1998.

[2] P. Bunyawanichakul, B. Castanie, J. J. Barrau; Experimental and Numerical Analysis of Inserts in Sandwich Structures, Springer, 2005

[3] Chun Lua, Mingyue Zhaoa, Liu Jiec, Jing Wanga, Yu Gaoa, Xu Cuia, Ping Chenb. Stress Distribution on Composite Honeycomb Sandwich Structure Suffered from Bending Load. Asia-Pacific International Symposium on Aerospace Technology, 2014.

[4] A. Bonannoa; V. Crupib; G. Epastob; E. Guglielminob; G. Palomba. *Aluminum honeycomb sandwich for protective structures of earthmoving machines*. International Conference on Stress Analysis, 2017.

[5] Thomas P. Sarafin. Spacecraft Structures and Mechanisms: From Concept to Launch. Kluwer Academic Publishers, 1995.

[6] O. T. Thomsen, W. Rits; Analysis and design of sandwich plates with inserts - a high-order sandwich plate theory, 1998.

[7] W. S. Ericksen, The bending of Circular Sandwich Plate Under Normal Load, Forest Products Laboratory, Report No. 1828, Madison 5, Wisconsin, US, 1953.

[8] E. D’Amato, Caratterizzazione Strutturale di Inserti per Pannelli in Composito. Parte I: Dati Sperimentali, XXXV Convenzione Nazioinale AIAS, Ancona, Settembre, 2006.

[9] E. D’Amato, Caratterizzazione Strutturale di Inserti per Pannelli in Composito. Parte II: Modelli Numerici, XXXV Convenzione Nazioinale AIAS, Ancona, Settembre, 2006.

[10] Astrom B. T., Mcgarva L. D. : Insert integration in thermoplastic-based foam core sandwich components. Journal of sandwich structures and materials, Vol.1-July 1999.

Неразрушающие методы эксплуатационного контроля несущего винта вертолёта

Жуков С.В.
Кафедра радиотехники
Самарский университет
Самара, Российская Федерация
svzhukov@ssau.ru

Ворох Д.А.
Кафедра радиотехники
Самарский университет
Самара, Российская Федерация
i235385@yandex.ru

Данилин А.И.
Кафедра радиотехники
Самарский университет
Самара, Российская Федерация
aidan@ssau.ru

***Abstract* — This study discusses an implementation problem of the non-destructive control methods of the main helicopter rotor operation's parameters. The critical components of the main helicopter rotor needing the increased control are revealed. Methods and devices allowing to carry out quality control of critical components and elements are proposed. Stages of preflight acquisition at which introduction of the offered methods of non-destructive control is possible are considered in compliance with airworthiness standards of rotary-wing aircrafts. Conclusions are drawn on a possibility of further application of the offered methods and devices in flight operation of helicopters.**

Ключевые слова — вертолёт, несущий винт, неразрушающий контроль, лопасть, земной резонанс, СВЧ-преобразователь, маховое движение, скручивание, несоконусность, флаттер, вихретоковый преобразователь, твердость поверхности, импенданс

I. Введение

В соответствии с международным стандартом ISO 9000 под жизненным циклом продукции понимается совокупность процессов, выполняемых от момента выявления потребностей общества в определенной продукции до момента удовлетворения этих потребностей и утилизации продукции. Выделяются одиннадцать основных стадий жизненного цикла промышленных изделий: маркетинг; проектирование; планирование и разработка процессов изготовления; закупка материалов и комплектующих; производство; упаковка и хранение; реализация; производство и ввод в эксплуатацию; техническая помощь и сервисное обслуживание; послепродажная деятельность или эксплуатация; утилизация и переработка в конце полезного срока службы [1]. В данной работе наибольшее внимание будет уделено производству и непосредственной эксплуатации несущих винтов вертолётов.

Массовое производство несущих винтов вертолётов характеризуется многономенклатурностью и широким разнообразием технологических процессов [2]. В их числе изготовление деталей из тонколистового металла в условиях штамповочного производства; клейка и запекание деталей и узлов несущего винта из стеклопластика, углепластика и других композитов; механическая обработка и упрочнение поверхности металлического лонжерона и другие технологически сложные мероприятия.

По ряду требований, предъявляемых к этапам технологического процесса изготовления лопастей, производство можно отнести к особо ответственному [2]. В силу отмеченного широкого спектра используемых технологических процессов, кроме стандартных требований, дополнительно регламентированы требования к лопастному производству отраслевыми стандартами и руководящими документами международных сертифицирующих организаций, в частности, руководство по разработке спецификаций процесса, инструкций и средств управления для изготовления композитов, армированных волокном [3] и нормы летной годности винтокрылых аппаратов нормальной и транспортной категорий FAR 27 и FAR 29 [4,5]. Эти нормы содержат требования к прочности и сохранению работоспособности при критических режимах полета, а также усталостной прочности и сохранения живучести при возникновении усталостных повреждений. Согласно требованиям [4,5], разработчик конструкции и производитель винтокрылого аппарата (вертолёта) обязан представить данные о интервале времени между появлением сигнала о возникновении усталостного повреждения и окончательной потерей несущей способности поврежденного элемента конструкции. Данный интервал времени должен быть достаточно большим, для того чтобы даже в условиях перегрузок остаточный ресурс ответственного нагруженного элемента был не менее максимальной продолжительности полета, установленной для вертолёта данного типа.

Для диагностики целостности основного несущего элемента лопасти – лонжерона, в конструкциях вертолётов используется диагностика стабильности избыточного давления воздуха в лонжероне при помощи сигнализатора давления. Регистрация факта повреждения лонжерона осуществляется при предполетном осмотре по положению сигнализатора. Свес лопастей должен исключать возможность их схлестывания с любыми другими конструктивными элементами вертолёта как на стоянке, так и при всех допустимых условиях полета, влажности и внешней температуре. Также, должны быть предусмотрены средства, эффективно исключающие возникновение земного резонанса – интенсивных колебаний стоящего на земле вертолёта с вращающимся несущим винтом. Флаттер и дивергенция должны быть исключены на всех режимах полета, включая критические.

Кроме перечисленных требований, связанных с обеспечением безопасности эксплуатации вертолёта, конструкция лопастей, их геометрия, массожесткостные характеристики, балансировка должны обеспечивать эффективную и безопасную эксплуатацию вертолёта с учетом его назначения, установленных ограничений, ресурсов и сроков службы.

©2019 ИПУСС РАН, СамГТУ, IEEE

Выполнение вышеперечисленных требований при производстве и при рабочей эксплуатации несущих винтов на настоящий момент сопряжено с множеством трудоёмких, дорогостоящих и не всегда достоверных процедур. Данные процедуры при контроле качества при производстве и межполётном обслуживании требуют затрат большого количества человеко-часов и не всегда дают объективную картину состояния составных элементов несущего винта. Поэтому, исходя из вышерассмотренного возникает необходимость в простых, надежных и дешевых средствах неразрушающего контроля силовых элементов несущего винта вертолёта на всех этапах производства и эксплуатации. Для решения поставленной проблемы контроля несущего винта вертолёта (НВВ), в данной работе, было рассмотрено внедрение метода вихретокового контроля качества изготовленных силовых элементов несущего винта и внедрение радиоволнового метода контроля состояния несущего винта.

II. Вихретоковый метод контроля состояния элементов несущего винта вертолёта

Для выполнения требований, связанных с обеспечением безопасности эксплуатации вертолёта, необходим жесткий контроль качества всех силовых нагруженных узлов вертолёта. Одним из важнейших является НВВ. Несущий винт является главным узлом, обеспечивающим как подъемную силу, так и полетные качества вертолёта. Сам несущий винт имеет в своем составе втулку НВВ, крепление лопасти и, собственно, главный несущий элемент — лопасть. Именно от целостности этих деталей зависит, жизнь и здоровье экипажа, работоспособность и целостность всего вертолёта.

Лопасть и сама втулка НВВ подвержены расслоению и возникновению микротрещин (рис.1), которые зачастую сложно обнаружить при визуальном контроле [6]. В свою очередь, втулка содержит множество металлических деталей (рис.2), что также усложняет процедуру дефектоскопии данной механической системы [7].

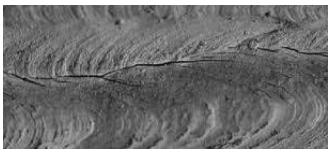


Рис. 1. Локальная микротрещина на втулке несущего винта

Вихретоковый метод контроля основан на анализе взаимодействия внешнего электромагнитного поля с электромагнитным полем вихревых токов, наводимых возбуждающей катушкой в электропроводящем объекте контроля (ОК) этим полем. В качестве источника электромагнитного поля чаще всего используется индуктивная катушка (одна или несколько), называемая вихретоковым преобразователем (ВТП).

Конструктивное исполнение мостового ВТП [8] представлено на рис. 3. Предложенная конструктивная компоновка обмоток позволяет реализовать преимущества мостового метода. При этом все обмотки (L1-L4) находятся в идентичных окружающих условиях, то они находятся под влиянием одинаковых температурных, вибрационных и других внешних воздействий.

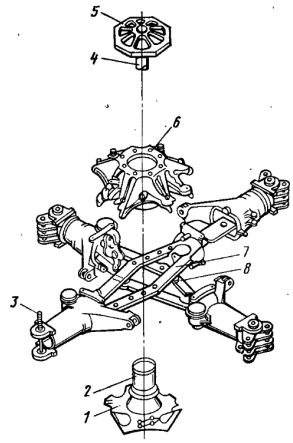


Рис. 2. Втулка несущего винта с торсионом вертолёта Хьюз 500:
1 - нижняя направляющая опора; 2 - опорная стойка; 3 - палец ВШ; 4 - приводной вал несущего винта; 5 - верхний фланец приводного вала; 6 - корпус втулки; 7 - верхний пакет торсионных пластин; 8 - нижний пакет торсионных пластин

Воздействия внешних электромагнитных шумов на катушки также равнозначны. Таким образом, рассмотренная конструкция ВТП позволяет значительно улучшить характеристики преобразователя перемещения, по сравнению с абсолютным преобразователем, при незначительном усложнении конструкции ВТП.

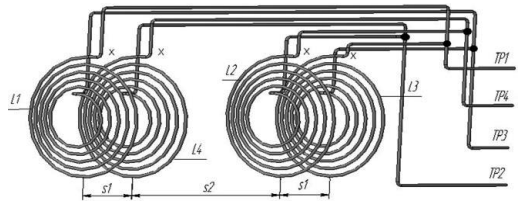


Рис. 3. 3D модель компоновки катушек

В общем случае работа вихретокового метода определения параметров металлической поверхности несущего винта вертолёта, а равно и других металлических поверхностей, состоит в следующем, на обмотки ВТП подается переменное напряжение известной частоты и амплитуды, в результате взаимодействия поля ВТП и близкорасположенного ОК (не более радиуса измерительной катушки ВТП) в ОК наводятся вихревые токи, далее эти токи в пространстве возбуждают вторичное электромагнитное поле. После взаимодействия поля катушки и вторичного электромагнитного поля ОК электрические параметры ВТП изменяются [9], наиболее сильно из них меняются внесенная индуктивность ΔL и внесенное сопротивление ΔR. Изменение внесенного сопротивления обусловлено изменением проводимости ОК, а изменение внесенной индуктивности обусловлено изменением магнитной проницаемости ОК.

При определении механических повреждений поверхности несущего винта, втулки несущего винта вертолёта и др. деталей (рис. 2) происходит нарушение путей протекания вихревых токов в металлической поверхности и как следствие резкое уменьшение внесенной индуктивности и внесенного сопротивления, количественно оценивая изменения этих параметров можно судить о типе разрушения поверхности. Например, в самом простейшем случае, можно отличать поверхностные трещины от коррозии.

Вихревые токи протекают не только по поверхности ОК, но и в его толще. И чем ниже частота питающего напряжения, меньше магнитная проницаемость ОК, тем глубже поле проникает в исследуемый образец. На этом эффекте основана дефектоскопия, например, сварных швов металлоконструкций. В этом случае можно обнаружить под поверхностью ОК полости или иные объемные инородные образования.

Также на этом эффекте построена и структуроскопия металлических поверхностей. Для определения параметров поверхностного слоя по его глубине (например, твердости, глубины упрочненного слоя и т.д.), необходимо менять частоту питающего напряжения ВТП в широких пределах. На рис. 4 представлен один из вариантов измерительной установки для определения внутренних напряжений в приповерхностном слое метала, например, после термохимической обработки. В качестве первичного преобразователя здесь используется мостовой ВТП, сигнал с которого детектируется синхронным детектором [10]. В зависимости от исследуемых металлов и используемых частот питающих напряжений возможно исследовать слои до единиц миллиметров с шагом в десятки микрометров.

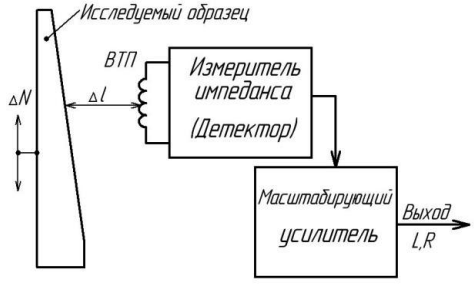


Рис. 4. Измерительная установка

Для проверки предложенного метода был исследован модельный образец, с глубиной упрочненного слоя 25 мкм. Результаты обработки экспериментальных данных и сам образец представлены на рис. 5.

Анализируя экспериментальные данные, можно отметить, что на участке глубин от 140 до 70 мкм не происходит изменений (кроме статических) выходного напряжения ВТП. На участке же от 70 до 30 мкм происходят выраженные изменения выходного напряжения, что свидетельствует об изменениях электрических свойств, происходящих в поверхностном слое металла.

Таким образом, применение вихретокового метода позволит контролировать качество изготовления металлических элементов НВВ, что в итоге повысит эксплуатационную надежность всего вертолёта.

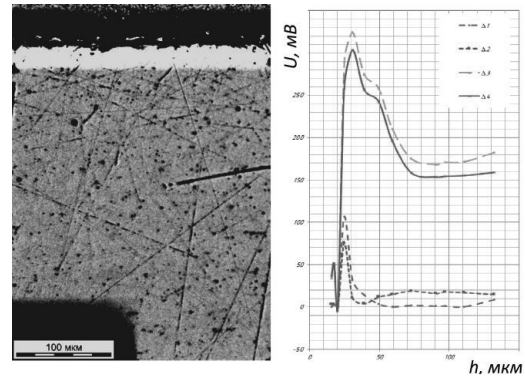


Рис. 5. Модельный образец №n2-2 и результаты обработки АЧХ ВТП

III. Радиоволновый метод контроля состояния несущего винта вертолёта

Для определения пригодности к эксплуатации несущего винта должны быть выполнены необходимые длительные динамические, эксплуатационные и вибрационные исследования. Согласно [4, 5] винтокрылый аппарат не должен иметь опасной тенденции к самовозбуждающимся колебаниям при вращении НВВ на земле – земной резонанс, в полете – флаттер. Также обязательна проверка свеса лопасти – должен быть достаточный зазор между лопастями винта и другими частями конструкции для предотвращения соударения лопастей с планером вертолёта.

Анализ научно-технической литературы показывает, что среди разнообразных методов и средств контроля деформационного состояния лопастей НВВ, в настоящее время, наиболее перспективным является радиоволновый метод, основанный на облучении зондирующим СВЧ-сигналом объекта исследования [11, 12]. Метод заключается в приеме и обработке отраженного информационного потока излучения, модулирующим элементом для которого служат сами лопасти НВВ. Антенно-фидерная система устройства контроля, как правило, устанавливается на хвостовой балке.

Обработка информационной составляющей принятых сигналов позволяет контролировать целостность креплений лопастей (горизонтальных шарниров) за счёт измерения временных интервалов между временными отметками, полученных от соседних лопастей. Также за счет измерения разности фаз излученного и принятого отраженного сигналов [13] измеряется амплитуда махового движения лопасти, по которой и определяется целостность вертикальных креплений лопастей. На рис.6 представлена измерительная часть экспериментальной установки [14], созданной для проверки бесконтактных систем контроля деформационного состояния лопастей НВВ.

Помимо состояния крепления лопасти устройство позволяет контролировать скручивание и угол установки лопасти посредством измерения длительности

отраженного сигнала. Длительность сигнала характеризует величину эффективной площади отражения лопасти в свою очередь, зависящую от угла её установки и скручивания.

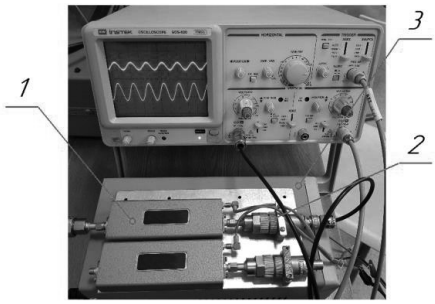


Рис. 6. Измерительная часть экспериментальной установки:
1 - усилитель; 2 – амплитудный детектор; 3 – блок питания

Скручивание лопасти определяется путем сравнения информации об угле установки лопасти, полученной с системы датчиков бортового регистратора параметров и угле установки непосредственно над приёмо-передающим элементом устройства. Анализируя частоту принятых сигналов и сравнивая ее с частотой штатного датчика вращения ротора несущего винта, можно получить характеристику неравномерности вращения НВВ.

Таким образом, устройство накапливает и сравнивает измеренные значения амплитуд маховых колебаний и углов скручивания лопастей и позволяет измерять изгибно-крутильные колебания. Для определения параметров колебательно процесса используется дискретно-фазовый метод (ДФМ). Сущность ДФМ заключается в измерении временных интервалов между отметками, полученными в результате обработки сигналов отражения от конкретной лопасти и связанных пропорционально с перемещениями лопастей [15].

Данная измерительная система, реализованная на базе предлагаемого метода, также может выявлять несоконусность установки лопастей, сближение лопастей НВВ в соосной схеме, предотвращая схлестывание лопастей и распознавать такие явления как земной резонанс и флаттер.

По сравнению с аналогами система обладает большей точностью определения амплитуды взмаха лопасти винта (± 1см), скручивания и крутильных колебаний (± 30″). Такая точность достигается за счет применения фазового метода для расчета расстояния от лопасти до излучающей системы.

IV. Заключение

Внедрение систем выявления микродефектов и предрасположенности несущей системы к самовозбуждающимся колебаниям при помощи предложенных неразрушающих методов контроля на этапах сборки и предпродажной эксплуатации позволит автоматизировать систему контроля качества несущей системы вертолёта, что в будущем позволит исключить человеческий фактор и повысить производительность и точность контроля состояния несущего винта.

Список литературы

[1] International standard ISO 9001:2015(E). Quality management systems — Requirements - Geneva: International Organization for Standardization, 2015.

[2] Слюсарь Б.Н., Флек М.Б., Гольдберг Е.С. Технология вертолетостроения. Технология производства лопастей вертолетов и авиационных конструкций из полимерных композиционных материалов. - Ростов н/Д: Изд-во ЮНЦ РАИ, 2013. -230 с.

[3] Technical Report DOT/FAA/AR-02/110. Guidelines for the Development of Process Specifications, Instructions, and Controls for the Fabrication of Fiber - Reinforced Polymer Composites. – Washington: U.S. Department of Transportation - Federal Aviation Administration, March 2003.

[4] FAA Federal Aviation Regulations. Part 27 - Airworthiness standards: Normal Category Rotorcraft. Federal Aviation Administration, USA. December 20, 2018 (www.faa.gov/regulations_policies/faa_regulations).

[5] FAA Federal Aviation Regulations. Part 29 - Airworthiness standards: Transport Category Rotorcraft. Federal Aviation Administration, USA. December 20, 2018 (www.faa.gov/regulations_policies/faa_regulations).

[6] M.Honlet, A. Ettemeyer and T. Walz, “Automated And Non-destructive Inspection of Composite Helicopter Rotor Blades Using Advanced Shearography”, vol.3, no.9, The e-Journal of Nondestructive Testing & Ultrasonics, September 1998 (www.ndt.net/article/ecndt98/aero/022/022.htm).

[7] Богданов Ю.С., Михеев Р.А., Скулков Д.Д. Конструкция вертолетов. - М: Машиностроение, 1990. -272 с.

[8] Данилин А.И., Ворох Д.А., Мостовой вихретоковый преобразователь и анализ его экспериментальных частотных характеристик // Известия Самарского научного центра РАН, 2016. Т.18. №4(6). -с.1268-1271.

[9] Данилин А.И., Медников В.А., Чернявский А.Ж., Капустин А.С., Первичный преобразователь для реализации оптоэлектронного дискретно-фазового метода измерения деформаций лопаток турбомашин // Известия Самарского научного центра РАН, 2003. Т.5. №2. -с.388-395.

[10] Ворох Д.А., Данилин А.И., Бояркина У.В., Синхронный детектор для мостового вихретокового преобразователя // Известия Самарского научного центра Российской академии наук, 2017. Т.19. №4. -с.167-170.

[11] Патент 2593652 РФ, МПК G01B7 /30 (2006.01). Способ контроля целостности лопастей несущего винта вертолета и устройства для его осуществления / Данилин А.И., Жуков С.В., Грецков А.А., Бояркина У.В., - 201512720/28(042760); Заявл. 15.04.15; Опубл. 14.07.2016, бюл. 22.

[12] Semyon V. Zhukov, Alexander I. Danilin, “A Noncontact System for Monitoring of in-service Condition of Helicopter Main Rotor Blades”, Proceedings 2018 Ural Symposium on Biomedical Engineering, Radioelectronics and Information Technology (USBEREIT), Yekaterinburg, Russia, p. 260-262, 7-8 May 2018.

[13] Данилин А.И., Жуков С.В., Бояркина У.В., Воронцова С.А., Фазовый метод измерения параметров деформационного состояния лопастей несущего винта вертолета // Известия Самарского научного центра Российской академии наук, 2017. Т.19. №6. -с.188-192.

[14] Данилин А.И., Жуков С.В., Экспериментальный стенд бесконтактного контроля целостности лопастей вертолёта // Известия Самарского научного центра Российской академии наук, 2016. Т.18. №4(6). -с.1303-1306.

[15] Заблоцкий Н.Е., Коростелев Ю.А., Шипов Р.А. Бесконтактные измерения колебаний лопаток турбомашин. - М: Машиностроение, 1977. -160 с.

Метод измерения вязкости глинистого раствора при бурении глубоких скважин

Корганова О.Г.
Кафедра «Информационно-измерительнаятехника»
Институт автоматики и информационных технологий,
ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет»
Самара, Россия
ims@samgtu.ru

Кузнецов В.А.
Кафедра «Информационно-измерительная техника»
Институт автоматики и информационных технологий,
ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет»
Самара, Россия
ims@samgtu.ru

***Abstract* — If it is necessary to determine the viscosity at a given temperature, various viscosimeters of various types, mostly rotational viscometers can be used. One of them was developed at the Department of Measuring Technique of Samara State Technical University. It contains two channels: a viscosity-measuring channel and a temperature-measuring channel. Rotation of the measuring rotor is carried out by a drive through a calibrated spring, the angle of twisting of which is proportional to the torque, which is converted into a pulse-width signal. The microcontroller measures and analyzes this signal and a signal proportional to temperature, converts them into a digital code and outputs the information on viscosity and temperature through the output port in a digital form.**

Ключевые слова — вязкость, ротационный метод измерения, микроконтроллер, повышение точности измерения.

Важнейшим технологическим параметром при бурении глубоких скважин является вязкость глинистого раствора, от которого зависит эффективность работы турбобура и породоразрушающего инструмента.

Большинство вискозиметров, предназначенных для измерения динамической вязкости, отличаются сложностью конструкции, так как нуждаются в стабилизации частоты вращения измерительного ротора, большими затратами времени на температурную подготовку исследуемого образца для чего применяются термостаты, и невысокой точностью измерения [1]. Кроме того, зарубежные вискозиметры, например, фирмы Brookfield, имеют высокую стоимость.

Предлагается новый алгоритм обработки измерительной информации ротационного метода измерения вязкости, позволивший упростить конструкцию вискозиметра, исключить применение термостата и сократить затраты времени на измерение вязкости при заданной температуре [2].

Известно, что в основе методов измерения динамической вязкости лежит Закон Ньютона [3]. Сила, приложенная к измерительному ротору, для ньютоновских жидкостей определяется выражением:

$$F = \eta\, \omega S/\iota\,, \qquad (1)$$

где η - вязкость исследуемой жидкости;
ω - угловая скорость вращения ротора;
S - рабочая площадь ротора;
ι – толщина слоя жидкости.

©2019 ИПУСС РАН, СамГТУ, IEEE

Из (1) видно, что вязкость может быть определена по силе, приложенной к измерительному ротору при стабилизации остальных параметров, входящих в это выражение. На практике удобнее измерять не силу, а крутящий момент, приложенный к измерительному ротору:

$$M = F R\,,$$

где R – радиус измерительного ротора.

С учётом (1) и связи между угловой скоростью и частотой вращения измерительного ротора выражение для крутящего момента примет вид:

$$M = \eta \frac{2\,\pi\, n\, S\, R^2}{h}\,, \qquad (2)$$

где η – динамическая вязкость;
n – частота вращения измерительного ротора;
S – площадь рабочей поверхности ротора;
R – радиус ротора;
h – толщина слоя жидкости между боковыми поверхностями ротора и измерительного цилиндра.

Выражение (2) положено в основу работы большинства современных вискозиметров. Вязкость определяется по алгоритму [4]:

$$\eta = \frac{h}{2\,\pi\, n\, S\, r^2} M\,, \qquad (3)$$

Недостаток этого метода измерения связан с тем, что крутящий момент, по которому определяется вязкость, зависит не только от этой вязкости, но и от частоты вращения n измерительного ротора, что приводит к необходимости стабилизации этого параметра и усложнению конструкции прибора.

Разработанная конструкция измерительного преобразователя позволила алгоритмически устранить этот недостаток и создать вискозиметр, инвариантный к частоте вращения измерительного ротора [5].

На рис. 1 представлена структурная схема разработанного прибора для измерения динамической вязкости.

Вращение измерительного ротора (ИР) осуществляется приводом (ПР) через калиброванную

измерительную пружину (ИП). Диски с метками (ДМ) насажены соответственно на оси привода и измерительного ротора, поэтому, при вращении измерительного ротора в исследуемой жидкости (ИЖ) диск на измерительном роторе отстает от диска на приводе вследствие вязкого трения. Угол закручивания измерительной пружины пропорционален крутящему моменту, если пружина работает в пределах линейной зоны деформации. [6]

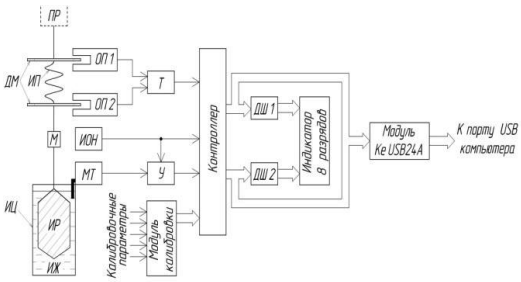


Рис. 1. Структурная схема ротационного вискозиметра

Независимость результата измерения вязкости от частоты вращения измерительного ротора достигается следующим образом [7].

В дисках выполнены радиальные прорези, через которые проходит свет оптопар. При прохождении каждой прорези внутри оптопары генерируется электрический импульс, поступающий на вход триггера Т [9].

Угол закручивания измерительной пружины определяется выражением:

$$\alpha = \frac{1}{K_p} \times M \,, \tag{4}$$

где K_p – коэффициент жесткости пружины;
M – крутящий момент, определяемый из (2).

При закручивании пружины электрические импульсы оптопар сдвигаются относительно друг друга на время τ :

$$\tau = \frac{T}{2\pi} \times \alpha = \frac{\alpha}{2\pi n} \,, \tag{5}$$

где: T – период вращения измерительного ротора;
n – частота вращения измерительного ротора.

Отсюда

$$\tau = M / 2 n K \pi . \tag{6}$$

Подставляя (2) в (5), получим:

$$\tau = M / 2\pi n K_p = \eta\, 2\pi n\, S\, R^2 / h\, 2\pi n K_p =$$

$$= \eta\, S\, R^2 / h K_p . \tag{7}$$

Из (7) находится алгоритм определения вязкости:

$$\eta = \frac{h\, 2\pi\, n K_p \tau}{2\pi\, n S R^2} = \frac{h K_p}{S R^2} \times \tau . \tag{8}$$

Из этого выражения видно, что вязкость однозначно определяется по интервалу времени τ , а из алгоритма измерения исключено значение частоты вращения измерительного ротора n.

Интервал времени τ формируется триггером Т и поступает на вход микроконтроллера, который с помощью встроенного АЦП преобразует его в цифровой вход.

Разработанный способ измерения вязкости позволил в качестве электропривода использовать малогабаритные двухфазные синхронные электродвигатели переменного тока без стабилизации частоты вращения и одновременно снизить погрешность измерения вязкости.

Для обеспечения высокой точности измерения вязкости необходимо выполнить условие:

$$\frac{h K_П}{S r^2} = const \,.$$

Точность измерения вязкости зависит от стабильности геометрических размеров h, S, R и коэффициента жесткости пружины K_p. Особое внимание уделяется стабилизации коэффициента жёсткости пружины, которая в процессе изготовления подвергается закалке и термотренировке. Из геометрических параметров наибольшее влияние на точность измерения вязкости оказывает нестабильность радиуса ротора, значение которого входит в функцию преобразования в квадрате.

Микроконтроллер производит анализ и измерение ШИМ-сигнала и напряжения, пропорционального температуре, преобразование их в цифровой код, сдвиг нуля и масштабирование. В итоге на восьмиразрядный семисегментный цифровой индикатор через дешифраторы ДШ1 и ДШ2 выдаются в динамическом режиме результаты измерения температуры и вязкости. Через ДШ1 передается двоично-десятичный код результата, а через ДШ2 – адрес подсвечиваемого разряда. При необходимости результаты измерения можно передать на компьютер через схему сопряжения, выполненную на типовом модуле KeUSB24A, который связывает микроконтроллер с компьютером через линии USB. Для выполнения сервисных операций, таких как сдвиг «нуля» и изменение чувствительности используется модуль калибровки, связанный с микроконтроллером по пяти линиям ввода данных. Это линии выбора «температура/вязкость», фиксирования «нуля», увеличения и уменьшения коэффициента чувствительности и фиксирования «чувствительности».

На рис. 2 приведен алгоритм работы микроконтроллера.

При подаче питания или сигнала начального сброса микроконтроллер осуществляет следующие действия:

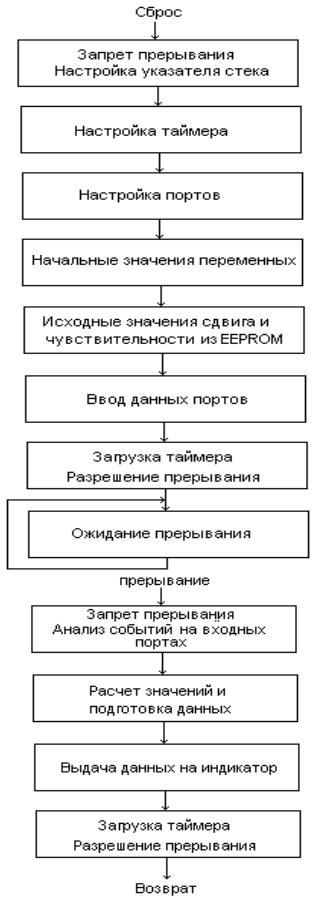


Рис. 2. Алгоритм работы микроконтроллера

1) Запрет прерывания и настройка указателя стека.

2) Настройка таймера для работы на режим переполнения от внутреннего генератора. В случае переполнения таймера формируется сигнал прерывания, который вызывает программу обработки прерывания.

3) Конфигурация портов.

4) Задание начальных значений переменным. Некоторым переменным значения присваиваются непосредственно, значения начальных сдвигов и коэффициентов чувствительности температуры и вязкости загружаются из энергонезависимой памяти (EEPROM).

5) Считывания данных состояния портов ввода. Необходимо для анализа событий на входных портах микроконтроллера в программе прерывания.

6) Загрузка начального значения в таймер. Величина начального значения определяет интервал времени, через который таймер переполнится и вызовет программу обработки прерывания.

7) Разрешение прерывание. После этого микроконтроллер не выполняет никаких действий и переходит в состоянии ожидания прерывания.

Программа обработки прерывания производит следующие действия:

1) Анализ событий на входных портах микроконтроллера и соответствующая реакция на каждое событие. В процессе анализа считывается текущее состояние портов и сравнивается с предыдущим, которое считано во время предшествующего прерывания или при начальном запуске программы. Для порта, на который подается ШИМ-сигнал, анализ позволяет выделить передний и задний фронты ШИМ-сигнала. Для портов, обслуживающих модуль калибровки ужить команды установки «нуля» и «чувствительности», увеличение/уменьшение чувствительности и идентифицировать канал, по которому производятся действия по калибровке.

2) Расчетные операции выполняются в зависимости от событий на входных портах. Исходные данные для расчета вязкости – это число импульсов прерывания, подсчитанных между разноименными фронтами ШИМ-сигнала. Подсчет числа импульсов между передним и задним фронтом дает информацию величине, пропорциональной динамической вязкости, между одноименными фронтами – о величине обратно пропорциональной динамическому сдвигу. После усреднения подсчитанных данных за известное число оборотов измерительного ротора производятся арифметические операции сдвига «нуля», масштабирования и подготовки данных для выдачи на цифровой индикатор. При обнаружении некоторых событий, связанных с модулем калибровки, расчетные операции заканчиваются записью в EEPROM новых значений «нуля» и коэффициента чувствительности. После каждой записи новых калибровочных значений программа принудительно «зависает». Это сделано специально, т. к. время выполнения длительных операций с EEPROM может превысить интервал прерывания. Кроме того, это служит дополнительным напоминанием о том, что после изменения чувствительности не забыли выполнить операцию записи нового коэффициента в EEPROM (операции увеличения и уменьшения коэффициента чувствительности производятся в оперативной памяти). После зависания программы гаснет индикация и необходимо выключить, и заново включить прибор, а при начальном сбросе новые значения «нуля» и коэффициента чувствительности извлекаются из EEPROM.

3) Выдача данных из микроконтроллера на индикатор. Таким образом, динамическая индикация выполняется с частотой прерывания микроконтроллера.

4) Восстановление начального значения таймера и переход в режим ожидания прерывания.

Выполнение всех этих действий происходит за время меньшее времени переполнения таймера, которое задается при настройке таймера, т.к. длительные операции с EEPROM не используются, поэтому частота прерываний является стабильной и используется как опорная для измерения параметров ШИМ-сигнала. Операция по аналого-цифровому преобразованию

напряжения, пропорционального температуре, выполняется при каждом прерывании, однако на индикатор передается сдвинутое и отмасштабированное усредненное значение. Время усреднения температуры меньше времени усреднения вязкости, поэтому значения температуры на индикаторах обновляются чаще, чем значения вязкости.

Вязкость жидкостей сильно зависит от температуры, в связи с чем она измеряется при заданной температуре. Эта температура обычно поддерживается с помощью термостата, что приводит к большим затратам времени на подготовку исследуемого вещества. В вискозиметре ВРЦ используется другой способ.

Вискозиметр автоматически производит измерение вязкости при достижении исследуемой жидкостью заданной температуры в процессе её остывания, что позволяет не использовать термостат и сократить время термоподготовки жидкости.

Заданная температура вводится в память микроконтроллера заранее (для шоколадной массы это 32 ºС) и может быть перестроена пользователем.

Вискозиметр имеет порт вывода информации о вязкости и температуре в цифровом виде для передачи её в ЭВМ.

В состав прибора входят:

1) Измерительный блок, представляющий собой стойку, на которой расположен двигатель с редуктором, измерительная пружина, диски с фотодатчиками, электронный блок.

2) Ротор и измерительный стакан с закрепленным на нем малоинерционным термометром.

3) Ноутбук, соединенный с измерительным блоком по линиям USB (только для ВРЦ).

4) Эталонная жидкость для калибровки.

Для прибора ВРЦ разработана программа (под WinXP), с помощью которой все результаты измерения и калибровки выводятся на экран, снабжаются временем и заносятся в архив.

Основные технические характеристики вискозиметра типа ВРЦ

Диапазон измерения вязкости, Па·с (Пуаз) ..... 2...100 (20...1000)

Диапазон измерения температуры, ºС..... 0...100

Основная приведенная погрешность измерения вязкости, % 2,5

Абсолютная погрешность измерения температуры, ºС..... 0,5

Напряжение питания, В(АС)..... 220

Габариты в рабочем положении, мм..... 270×200×460

Масса прибора, кг..... 10

Перспективным направлением развития вискозиметрии является применение микроконтроллера для повышения точности измерения вязкости, в частности для исключения погрешностей, связанных с нестабильностью параметров, входящих в формулу (4). Точность измерения может быть повышена алгоритмическими методами [9,10,11].

На рис. 3 представлена структурная схема ротационного вискозиметра повышенной точности [2]. В основу работы вискозиметра положены тестовые методы повышения точности измерения [10].

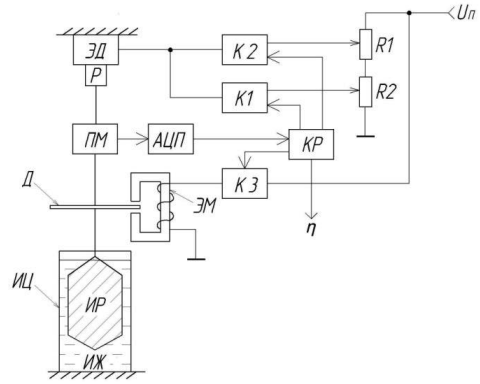


Рис. 3. Структурная схема ротационного вискозиметра повышенной точности

Исследуемой жидкостью ИЖ заполняется неподвижный стакан, в который помещается вращающийся измерительный ротор ИР. Измерительный ротор приводится во вращение электродвигателем ЭД через редуктор Р. При вращении ротора в исследуемой жидкости возникает тормозной момент, который пропорционален вязкости жидкости:

$$M_T = K_P \, n \, \eta \,,$$

где K_P – конструктивный коэффициент, зависящий от размеров стакана и ротора; n – частота вращения ротора; η – динамическая вязкость.

Тормозной момент преобразуется преобразователем (ПМ) в электрический сигнал, а затем посредством АЦП в код, который поступает на вход микроконтроллера КР:

$$N = K_П \, K_P \, K_{АЦП} \, n \, \eta \,,$$

где N – код, поступающий на вход контроллера;

$K_П$ – коэффициент преобразования преобразователя крутящего момента;

$K_{АЦП}$ – коэффициент преобразования АЦП.

Основными источниками погрешности вискозиметра являются нестабильность коэффициентов K_P, $K_П$, $K_{АЦП}$, а также аддитивные погрешности.

Для повышения точности измерения вязкости формируются два теста: аддитивный и мультипликативный, а измерения проводятся в три такта. Вычислительные операции и управление вискозиметром выполняются микроконтроллером (КР).

В первом такте ключ К1 открыт, а ключи К2 и К3 закрыты, на электродвигатель подается напряжение, устанавливающее частоту вращения ротора n_1. На вход контроллера поступает код:

$$N_1 = K_{\Pi} \; K_P \; K_{АЦП} \; n_1 \; \eta + \Delta\alpha \,,$$

где Δα – аддитивная погрешность.

Во втором такте открывается ключ К3, и электромагнит ЭМ создаёт дополнительный тормозной момент за счет наведения вихревых токов в диске Д. На вход контроллера поступает код аддитивного теста:

$$N_2 = K_{\Pi} \; K_P \; K_{АЦП} n_1 \; (\eta + M) + \Delta\alpha \,,$$

где M – дополнительный эталонный тормозной момент.

В третьем такте создаётся мультипликативный тест, при этом ключ К2 открыт, а ключи К1 и К3 закрыты. На электродвигатель подаётся более высокое напряжение, вследствие чего частота вращения ротора возрастает до n_2 . На вход контроллера поступает код мультипликативного теста:

$$N_3 = K_{\Pi} \; K_P \; K_{АЦП} \; n_2 \; \eta + \Delta\alpha \,.$$

Результаты трех измерений обрабатываются контроллером по алгоритму:

$$N_2 - N_1 = K_{\Pi} \; K_P \; K_{АЦП} \; n_1 \; M \,,$$

$$N_3 - N_1 = K_{\Pi} \; K_P \; K_{АЦП} \; \eta \; (n_2 - n_1) \,,$$

$$\frac{N_3 - N_1}{N_2 - N_1} = \frac{\eta \; (n_2 - n_1)}{n_1 \; M} \,.$$

Отсюда определяется вязкость исследуемой жидкости

$$\eta = \frac{N_3 - N_1}{N_2 - N_1} \times \frac{n_1 \; M}{n_2 - n_1}$$

Из этого выражения видно, что тестовые методы позволяют полностью исключить из результата измерения аддитивные и мультипликативные погрешности. Точность измерения вязкости определяется погрешностью задания эталонного тормозного момента, погрешностью установки частоты вращения ротора и погрешностью вычислительных операций.

Список литературы

[1] Крутоголов, В.Д. Ротационные вискозиметры / В. Д. Крутоголов, В. Д. Кулаков. - М.: Машиностроение, 1984.- 112 с.

[2] А.с. 1809669 US, МКИ[3] G 01 N 11/14. Ротационный вискозиметр / В. А. Кузнецов, А. А. Чикурин.

[3] Курс физики. Учеб. в 2 т./ Под ред. В.Н. Лозовского; – 6-е изд. испр. и доп. - М., СПб., Краснодар: Лань, 2009. – 572с., 600с.

[4] Кузнецов, В.А. Физические основы получения информации; учеб. пособие / В.А. Кузнецов. - Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2015. – 216 с.

[5] Кузнецов, В.А. Ротационный способ измерения вязкости, инвариантный к частоте вращения измерительного ротора / В. А. Кузнецов // Сборник научных трудов 4-й Международной научно – технической конференции “Измерения в современном мире – 2013”. Санкт-Петербург-2013.

[6] Измерения в промышленности / Под ред. П. Профоса. – М.: Металлургия,1990. - 462 с.

[7] Кузнецов, В. А. Способ повышения точности измерения вязкости ротационным методом / В. А. Кузнецов, Е. В. Репина // Информационно-измерительные и управляющие системы: Сборник научных статей. Выпуск 2 – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2016. С. 31-36.

[8] Топильский В.Б. Схемотехника измерительных устройств / В.Б. Топильский. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2006. – 232 с.

[9] Бромберг, Э. М. Тестовые методы повышения точности измерений / Э. М. Бромберг, К. Л. Куликовский. – М.: Энергия, 1978. – 176 с.

[10] Кузнецов, В. А. Методы повышения помехоустойчивости и точности средств измерений. Учебное пособие./ В.А. Кузнецов.- Самара: Самар. гос. техн. ун-т., 2011.-68с.

[11] Корганова, О. Г. Повышение точности вискозиметра методом образцовых мер / О. Г. Корганова, В. А. Кузнецов // Информационно-измерительные и управляющие системы: Сборник научных статей. Выпуск 1(9). – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2014. - С. 23-27.

Терморезисторная сеть измерения температуры с малым количеством проводов для работы в экстремальных условиях

Корнеева А.А.
Сибирский федеральный университет
Красноярск, Россия
korneeva_ikit@mail.ru

Чжан Е.А.
Сибирский федеральный университет
Красноярск, Россия
ekach@list.ru

Шайдуров В.В.
Федеральный исследовательский центр «Красноярский научный центр СО РАН»
Красноярск, Россия
shaidurov04@mail.ru

***Abstract* – A new measuring circuit is considered for temperature control of equipment operating in extreme, aggressive, and hard-to-reach conditions. The circuit is a sequence of thermistors and diodes with three connecting wires and two voltage sources. A corresponding mathematical model and a computer algorithm for calculating the resistance of thermistors are presented which consist in the formation and sequential solution of linear algebraic equations systems for different ratios of voltages of two power sources. The results of computational experiments are given.**

Ключевые слова – измерение температуры, сеть терморезисторов, математическая модель, численный алгоритм

I. Введение

При работе в экстремальных, агрессивных и труднодоступных условиях актуален контроль текущего состояния элементов радиоэлектронной аппаратуры. В частности, космические аппараты (КА) подвержены ударным механическим воздействиям, радиации, значительным перепадам температуры. Эти факторы могут нарушать штатное функционирование систем КА, в том числе из-за перегрева. Для предотвращения перегрева используются измерительные устройства, позволяющие осуществлять оперативный контроль температуры на множестве заданных участков. Однако большое количество соединительных проводов затрудняет реализацию измерительных устройств, особенно в компактных условиях. Образцы измерительных сетей с небольшим количеством проводов активно используются для температурного анализа исследуемых объектов в труднодоступных, экстремальных и агрессивных средах [1-6].

В работе [7] предложена новая сеть измерения температуры с тремя соединительными проводами, содержащая два источника питания: постоянного и пилообразного напряжения. В сети измеряется только ток в одном из проводов, а требуемые температуры рассчитываются специальным компьютерным алгоритмом обработки поступающей информации. При этом температуры зависят от текущих сопротивлений терморезисторов [8]. Использование источника пилообразного напряжения создает различные сочетания напряжений от двух источников, что последовательно меняет число «включенных» и «выключенных» терморезисторов в сети, трансформируя исходную сеть в более простые [9]. В результате искомые температурные данные последовательно определяются из разных состояний исходной электрической сети. В данной работе более детально рассмотрены этапы функционирования измерительной схемы, а также представлены результаты нового вычислительного эксперимента.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, Правительства Красноярского края, Красноярского краевого фонда науки в рамках научного проекта: № 18-47-242005 «Создание эффективных распределенных сетей температурных датчиков для бортовой аппаратуры спутников».

©2019 ИПУСС РАН, СамГТУ, IEEE

II. Предлагаемая измерительная сеть

Предлагаемая сеть измерения температуры представлена на рис. 1.

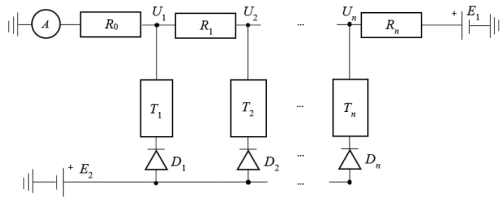


Рис. 1. Предлагаемая измерительная сеть

На рисунке приняты следующие обозначения: E_1 – опорное постоянное напряжение; E_2 – пилообразное напряжение; R_0, R_1, …, R_n – последовательно соединенные резисторы, образующие «делитель напряжения»; T_1, T_2, …, T_n – терморезисторы; U_1, U_2, …, U_n, – потенциалы в узлах цепи; A – амперметр. Напряжение E_1 подаётся на «делитель напряжения», напряжение E_2 подаётся на общий контакт n пар диод-терморезистор D_1+T_1, …, D_n+T_n.

Для функционирования сети необходимо три провода. Тройки элементов D_k+T_k+R_k располагаются последовательно и соединены друг с другом двумя проводниками по всей длине сети. Третий провод необходим для подачи опорного напряжения. Сеть может располагаться по площади или по объему контролируемого изделия.

Значения сопротивлений терморезисторов T_1, T_2, …, T_n неизвестны и являются искомыми величинами. Для их определения используются известные значения напряжений E_1, E_2 и измеряемый ток I по показаниям амперметра A. Найденные значения сопротивлений терморезисторов пересчитываются в их температуры с

учетом известной строгой монотонной зависимости сопротивления от температуры. Вместо амперметра может быть использован вольтметр; тогда измерение тока заменяется измерением падения напряжения на резисторе R_0. На этом этапе описания будем считать диоды «идеальными»: в открытом состоянии их сопротивление близко к нулю, а в закрытом состоянии близка к нулю проводимость.

Сеть функционирует в различных режимах, которые определяются сочетаниями напряжений E_1 и E_2. При $E_2 < U_1$ все диоды находятся в закрытом состоянии; сеть представляет собой цепь «делителя напряжения», изображенную на рис. 2.

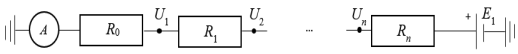


Рис. 2. Измерительная сеть при закрытых диодах

При $U_1 < E_2 < U_2$ открыт диод D_1; все остальные диоды находятся в закрытом состоянии (рис. 3). В состоянии
$U_2 < E_2 < U_3$ открыты диоды D_1, D_2. С увеличением значения E_2 последовательно открываются остальные диоды.

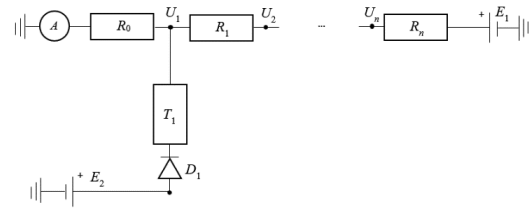


Рис. 3. Измерительная сеть при открытом диоде D_1

III. Математическая модель и компьютерный алгоритм

Введем следующие обозначения: R_k, D_k, T_k – фиксированные численные значения сопротивлений резисторов, диодов и терморезисторов соответственно; i_k – ток, входящий в k-тый узел со стороны k+1-го узла; I_k – ток со стороны k-той измерительной пары D_k+T_k. Величина i_0 соответствует току, выходящему из первого узла в сторону заземления. Выбор знаков поясняется на рис. 4 для трех измерительных пар.

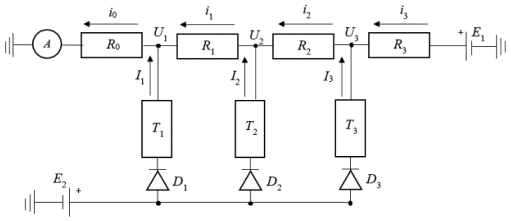


Рис. 4. Направления токов в сети с тремя терморезисторами

Выпишем первый закон Кирхгофа для токов в узлах с номерами $k = 1, \ldots, n$ [9]:

$$\begin{cases} -i_0 + i_1 + I_1 = 0, \\ -i_1 + i_2 + I_2 = 0, \\ \quad\quad \ldots \\ -i_{n-1} + i_n + I_n = 0. \end{cases} \tag{1}$$

Используя закон Ома, заменим токи в (1) на соответствующие значения напряжений и приведем подобные члены:

$$\begin{cases} U_1\left(\frac{1}{R_0}+\frac{1}{T_1+D_1}+\frac{1}{R_1}\right) - U_2\frac{1}{R_1} = E_2\frac{1}{T_1+D_1}, \\ U_2\left(\frac{1}{R_1}+\frac{1}{T_2+D_2}+\frac{1}{R_2}\right) - U_1\frac{1}{R_1} - U_3\frac{1}{R_2} = \\ = E_2\frac{1}{T_2+D_2}, \\ \ldots \\ U_n\left(\frac{1}{R_{n-1}}+\frac{1}{T_n+D_n}+\frac{1}{R_n}\right) - U_{n-1}\frac{1}{R_{n-1}} = \\ = E_2\frac{1}{T_n+D_n} + E_1\frac{1}{R_n}. \end{cases} \tag{2}$$

В результате получается система линейных алгебраических уравнений метода узловых потенциалов с трехдиагональной матрицей для определения неизвестных U_1, U_2, …, U_n. Эта матрица неразложима, имеет диагональное преобладание, невырождена; при положительных E_1 и E_2 все потенциалы U_1, U_2, …, U_n тоже положительны [10].

Все уравнения системы (2) можно записать в однородной форме:

$$\begin{aligned} &-U_{k-1}\frac{1}{R_{k-1}} + U_k\left(\frac{1}{R_{k-1}}+\frac{1}{T_k+D_k}+\frac{1}{R_k}\right) - \\ &-U_{k+1}\frac{1}{R_k} = E_2\frac{1}{T_k+D_k} \quad \text{для} \quad k = 1,\ldots,n \end{aligned} \tag{3}$$

с учетом «краевых значений» $U_0 = 0$ и $U_{n+1} = E_1$.

Для иллюстрации основной идеи трансформации исходной сети рассмотрим частный случай с тремя терморезисторами (рис. 4). В этом случае система (2) принимает вид:

$$\begin{cases} U_1\left(\frac{1}{R_0}+\frac{1}{T_1+D_1}+\frac{1}{R_1}\right) - E_2\frac{1}{T_1} - \\ -U_2\frac{1}{R_1} = 0, \\ U_2\left(\frac{1}{R_1}+\frac{1}{T_2+D_2}+\frac{1}{R_2}\right) - U_1\frac{1}{R_1} - E_2\frac{1}{T_2} - \\ -U_3\frac{1}{R_2} = 0, \\ U_3\left(\frac{1}{R_2}+\frac{1}{T_3+D_3}+\frac{1}{R_3}\right) - U_2\frac{1}{R_2} - E_2\frac{1}{T_3} - \\ -E_1\frac{1}{R_3} = 0. \end{cases} \tag{4}$$

Последовательно рассмотрим четыре возможных состояния сети. При $E_2 < U_1$ все диоды находятся в закрытом состоянии (рис. 2). При $U_1 < E_2 < U_2$ диод D_1 открыт, а диоды D_2 и D_3 находятся в закрытом состоянии. Система (4) принимает вид

$$\begin{cases} U_1\left(\frac{1}{R_0}+\frac{1}{T_1}+\frac{1}{R_1}\right)-E_2\frac{1}{T_1}-U_2\frac{1}{R_1}=0, \\ U_2\left(\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}\right)-U_1\frac{1}{R_1}-U_3\frac{1}{R_2}=0, \\ U_3\left(\frac{1}{R_2}+\frac{1}{R_3}\right)-U_2\frac{1}{R_2}-E_1\frac{1}{R_3}=0. \end{cases} \quad (5)$$

Из первого уравнения системы (5) получаем

$$T_1=\left(U_1-E_2\right)\Big/\left(\frac{U_2}{R_1}-U_1\left(\frac{1}{R_0}+\frac{1}{R_1}\right)\right). \quad (6)$$

Здесь U_1 известно ввиду прямого измерения вольтметром или с помощью амперметра с пересчетом по закону Ома. А U_2 выражается из двух последних уравнений системы (5):

$$U_2=(E_1-U_1)R_1/(R_1+R_2+R_3). \quad (7)$$

Таким образом, равенство (6) однозначно определяет T_1.

В состоянии $U_2 < E_2 < U_3$ открыты диоды D_1 и D_2, диод D_3 находится в закрытом состоянии. Система (4) принимает вид

$$\begin{cases} U_1\left(\frac{1}{R_0}+\frac{1}{T_1}+\frac{1}{R_1}\right)-E_2\frac{1}{T_1}-U_2\frac{1}{R_1}=0, \\ U_2\left(\frac{1}{R_1}+\frac{1}{T_2}+\frac{1}{R_2}\right)-U_1\frac{1}{R_1}-E_2\frac{1}{T_2}-U_3\frac{1}{R_2}=0, \\ U_3\left(\frac{1}{R_2}+\frac{1}{R_3}\right)-U_2\frac{1}{R_2}-E_1\frac{1}{R_3}=0. \end{cases} \quad (8)$$

Из второго уравнения системы (8) получаем равенство

$$T_2=\left(U_2-E_2\right)\Big/\left(\frac{U_1}{R_1}+\frac{U_3}{R_2}-U_2\left(\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}\right)\right). \quad (9)$$

В его правой части известны: новое измеренное U_1 и сопротивление T_1, определенное на предыдущем этапе. Из первого уравнения системы определяем неизвестное U_2:

$$U_2=R_1U_1\left(\frac{1}{R_0}+\frac{1}{T_1}+\frac{1}{R_1}\right)-E_2\frac{R_1}{T_1}. \quad (10)$$

А U_3 при «разомкнутой» ветви D_3+T_3 определяется следующим образом:

$$U_3=(E_1-U_2)R_2/(R_2+R_3). \quad (11)$$

Таким образом, все величины в (9) известны и однозначно определяют T_2.

При $E_2 > U_3$ все диоды открыты. Тогда из третьего уравнения системы (4) вытекает, что

$$T_3=\left(U_3-E_2\right)\Big/\left(\frac{U_2}{R_2}+\frac{E_1}{R_3}-U_3\left(\frac{1}{R_2}+\frac{1}{R_3}\right)\right). \quad (12)$$

Сопротивления T_1 и T_2 уже определены на предыдущих этапах. Определяем U_2 по формуле (10), а из второго уравнения (4) вычисляем U_3:

$$U_3=R_2U_2\left(\frac{1}{R_1}+\frac{1}{T_2}+\frac{1}{R_2}\right)-U_1\frac{R_2}{R_1}-E_2\frac{R_2}{T_2}. \quad (13)$$

Подставляя найденные значения в (12), однозначно определяем величину T_3.

Для произвольного числа троек D_k+T_k+R_k формула определения сопротивления k-того терморезистора имеет вид:

$$T_k=\frac{U_k-E_2}{\frac{U_{k-1}}{R_{k-1}}+\frac{U_{k+1}}{R_k}-U_k\left(\frac{1}{R_{k-1}}+\frac{1}{R_k}\right)}. \quad (14)$$

Потенциалы U_{k-1} и U_k вычисляются из уравнений (3) с нулевыми Di:

$$U_i=R_{i-1}\left(-\frac{U_{i-2}}{R_{i-2}}+U_{i-1}\left(\frac{1}{R_{i-2}}+\frac{1}{T_{i-1}}+\frac{1}{R_{i-1}}\right)-\frac{E_2}{T_{i-1}}\right). \quad (15)$$

Потенциал U_{k-1} вычисляется из других уравнений (3) с бесконечными $D_i = +\infty$, что численно реализуется в виде делителя напряжения между E_1 и U_k:

$$U_{k+1}=(E_1-U_k)R_k/(R_k+\ldots+R_{n+1}). \quad (16)$$

IV. Вычислительный эксперимент

Рассмотрим модельную задачу с «идеальными» диодами для схемы, представленной на рис. 4. Как уже упоминалось, у открытого «идеального» диода сопротивление равно нулю, а у закрытого – равна нулю проводимость. Пусть измерительная сеть характеризуется следующими значениями: E_1 = 4.89 В, R_0 = 478 Ом, R_1 = 461 Ом, R_2 = 468 Ом, R_3 = 475 Ом, T_1 = 458 Ом, T_2 = 467 Ом, T_3 = 469 Ом. Сопротивления терморезисторов взяты известными лишь для получения выборки измерений и оценки результатов работы алгоритма; а в ходе вычислительного алгоритма они считаются искомыми. Численные значения пилообразного напряжения E_2 изменяются в интервале

[0.391, 4.687] и являются заданными. Для формирования модельных параметров электрической цепи использовался метод узловых потенциалов. Полученные значения представлены в таблице I. В ней такты 0-4 соответствуют состоянию, когда все диоды цепи закрыты; такты 5-12 соответствую состоянию, при котором открыт диод D_1; такты 13-19 – открыты диоды D_1 и D_2; такты 20-21 – открыты все диоды цепи.

ТАБЛИЦА I. ПАРАМЕТРЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ

Такт	E_2, В	U_1, В	U_2, В	U_3, В
0	0.391	1.241	2.439	3.655
1	0.546	1.241	2.439	3.655
2	0.762	1.241	2.439	3.655
3	0.915	1.241	2.439	3.655
4	1.165	1.241	2.439	3.655
5	1.348	1.288	2.470	3.671
6	1.474	1.343	2.508	3.690
7	1.747	1.463	2.588	3.730
8	1.915	1.536	2.637	3.755
9	2.094	1.614	2.690	3.781
10	2.293	1.702	2.748	3.811
11	2.544	1.811	2.822	3.848
12	2.727	1.892	2.876	3.875
13	2.932	1.981	2.934	3.905
14	3.140	2.094	3.062	3.969
15	3.288	2.175	3.153	4.015
16	3.484	2.282	3.274	4.076
17	3.642	2.368	3.371	4.125
18	3.835	2.474	3.490	4.185
19	4.049	2.591	3.622	4.251
20	4.305	2.729	3.776	4.321
21	4.524	2.856	3.933	4.446
22	4.687	2.951	4.049	4.540

В качестве исходных данных для работы алгоритма были выбраны три ситуации (такта) с разными состояниями сети:

- состояние 8 (E_1 = 4.89 В, E_2 = 1.915 В, U_1 = 1.536 В);
- состояние 15 (E_1 = 4.89 В, E_2 = 3.288 В, U_1 = 2.175 В);
- состояние 21 (E_1 = 4.89 В, E_2 = 4.524 В, U_1 = 2.856 В).

Полученные результаты работы алгоритма представлены в таблице II.

ТАБЛИЦА II. РЕЗУЛЬТАТЫ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

Открытые диоды	U_2, В	U_3, В	T_i, Ом
D_1	2.637	3.755	T_1 = 458.00
D_1, D_2	3.153	4.015	T_2 = 467.99
D_1, D_2, D_3	3.933	4.446	T_3 = 469.01

Как видно из таблицы II, значения сопротивлений T_1, T_2 и T_3 определены довольно точно. Аналогичные результаты получились и для других состояний рассматриваемой сети.

V. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В практических задачах вольтамперные характеристики диодов не являются идеальными. Поэтому ошибка восстановления сопротивления термисторов получается тем больше, чем больше отклонения характеристик диодов от идеального состояния. В этом случае предлагаемый алгоритм используется для получения начального приближения для решения полной системы нелинейных алгебраических уравнений (3). При этом должна быть известна (нелинейная) температурная вольтамперная характеристика используемых диодов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

[1] Линевег Ф. Измерение температур в технике. – М.: Металлургия, 1980. – 544 с.

[2] Васильев Е.Н., Деревянко В.А. Анализ эффективности применения термоэлектрических модулей в системах охлаждения радиоэлементов // Вестник СибГАУ, 2013. 4 (50). – С. 9-13.

[3] Деревянко В.А., Латыпов А.Ф. Восстановление распределения температуры среды в двумерной области томографическим методом по результатам измерений электрического сопротивления ориентированных проводников // Вычислительные технологии, 2018. 23 (3). – С. 31-38.

[4] Шайдуров В.В., Корнеева А.А. Численный метод анализа нелокальных данных с пленочных терморезисторов электронных плат // Сибирские электронные математические известия, 2017. №14. – С. 914-926.

[5] Korneeva A., Shaydurov V. Computational algorithms for analysis of data from thin-film thermoresistors on a radio-electronic printed circuit board // Conference Proceedings of American Institute of Physics, 2016. 1759, Art. 020048.

[6] Caltagirone J.P. Reseau maille de conducteurs electriques, notamment pour mesure de temperatures. France: Demande de brevet d'invention № 2315689, Intern. Classification G01K7/04. – 1977.

[7] Шайдуров В.В., Корнеева А.А. Терморезисторная сеть измерения температуры с небольшим количеством проводов // Журнал Сибирского федерального университета. Техника и технологии, 2019. Том 12 (№3). – С. 284-292.

[8] Wood S.D., Mangum B.W., Filliben J.J., Tillett S.B. An investigation of the stability of thermistors. // J. Research of the National Bureau of Standards, 1978. 83 (3). – P. 247-263.

[9] Нейман Л.Р., Демирчян К.С. Теоретические основы электротехники. Том I. – Л.: Энергоиздат, 1981. – 536 с.

[10] Воеводин В.В., Кузнецов Ю.А. Матрицы и вычисления. – М: Наука, 1984. – 320 с.

Методы оперативного определения интегральных характеристик периодического сигнала по измерению его мгновенных значений

Ланге П.К.
Кафедра «Информационно-измерительная техника»
ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет»
Самара, Россия
lange_distance@mail.ru

Ярославкина Е.Е.
Кафедра «Информационно-измерительная техника»
ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет»
Самара, Россия
yaroslavkina.ee@samgtu.ru

Муратова В.В.
Кафедра «Информационно-измерительная техника»
ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет»
Самара, Россия
muratova1991@yandex.ru

Abstract — The article discusses the methods of rapid measurement of the integral characteristics of currents and voltages of high-power electrical equipment. Methods of on-line measurement of integral characteristics are considered with the aim of preventing emergency situations of such equipment. The foundation and practical implementation of such methods are given. The classification of methods for measuring the effective value of voltage and current by the instantaneous values of a non-harmonic periodic signal during its one half period is determined. A classification of factors influencing the choice of the method for determining the integral characteristics based on the formation of an additional signal is presented. It is shown that the form of the additional signal affects the quantitative and qualitative component of the total error of the method. It is shown that the form of the additional signal affects the quantitative and qualitative component of the total error of the method.

Methods that determine the effective value of a signal by its values for a quarter of a period, as well as for one eighth of a period are proposed. A method that determines the effective value of a signal based on the average value of its instantaneous values is proposed. It is shown that at a certain phase of the third harmonic of a periodic signal, the errors of the considered methods are minimal. A method for determining the effective value of a signal by its integration over half the period is proposed. The errors of the proposed methods, caused by the presence of the third harmonic of the analyzed signal, are determined. The dependences of these errors on the phase of the third harmonic signal are determined. The dependences of the maximum value of these errors on the amplitude of the third harmonic of the signal being analyzed are also determined. It is shown that this dependence is linear.

The structures of the systems that implement the described methods are given. It is proposed to use the described methods if it is necessary to quickly determine the effective value of a periodic non-harmonic signal (within no more than half of its period) with low accuracy requirements of the methods (about 10 ... 20%). It has also been proposed to use the described methods when it is necessary to efficiently control power electrical equipment with rapid changes in its load, which is typical of electrical units of modern electric and hybrid vehicles, as well as energy-saving power units.

Ключевые слова — среднеквадратическое значение, мгновенное значение, формирователь временной задержки

I. Введение

Промышленные измерения и контроль технологических параметров электрических сетей определяют задачи измерения интегральных характеристик периодических сигналов. Данный тип задач применяется в разработке систем контроля силового электрооборудования. При определении количества и качества электроэнергии, потребляемой энергосистемами, измерениях их мощности, проверке систем связи, измерениях в цифровых системах полезную информацию о сигнале может дать только его среднеквадратическое значение [1-3].

Важным фактором является выбор метода определения интегральных характеристик периодического сигнала, позволяющего определить соответствующие параметры с высоким быстродействием и качеством.

В работах [4-7] описаны основные методы определения интегральных характеристик (ИХ) сигнала по его отдельным мгновенным значениям с применением дополнительного сигнала. В основу этих методов положено временное разделение значений сигналов, что даёт существенное снижение времени измерения. При этом предлагается оценивать методическую погрешность, обусловленную отклонением реального сигнала от гармонического.

В целях повышения быстродействия автоматизированных информационно-измерительных систем, улучшения метрологических характеристик, а также обеспечения оптимальности аппаратных затрат, был выявлен перечень факторов, которые необходимо учитывать в процессе измерения ИХ и частоты [8-16].

Вид дополнительного сигнала сказывается на количественной и качественной составляющей общей погрешности метода. В [4,5,15,16] описана привязка моментов измерения к временному диапазону, что позволило определить необходимые для реализации метода временные рамки

К первой группе методов относятся методы, основанные на формировании одного дополнительного сигнала, сдвинутого относительно измеряемого на 90°.

Часть методов этой группы используют характерные точки [4], что позволило исключить погрешность по

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант 18-08-00253)

В.М. благодарит Министерство образования и науки РФ за поддержку данной работы в рамках базовой части государственного задания на тему: "Адаптивные технологии аналитического контроля на основе оптических датчиков " (Project No. 4.7001.2017/BP)

©2019 ИПУСС РАН, СамГТУ, IEEE

модулю формирователя временной задержки (ФВ), однако увеличило временные затраты.

Другая часть методов [15] не используют характерные точки, что позволяетт начать измерение в произвольный момент времени.

Главными достоинствами этих методов являются: минимизация времени, необходимого для измерения ИХ, а так же сокращение аппаратных затрат.

Вторая группа методов использует формирование одного дополнительного сигнала, сдвинутого относительно измеряемого на произвольный угол. Основным преимуществом данных методов считается понижение общей погрешности по модулю ФВ относительно первой группы. Однако использование характерных точек [14] существенно увеличивает общее время измерения.

К третьей группе относятся методы, основанные на формировании одного дополнительного инвертированного сигнала с использованием характерных точек [15]. Такие методы минимизируют погрешность по модулю ФВ.

Четвертая группа состоит из методов, построенных на формировании двух дополнительных сигналов, сдвинутых относительно анализируемых на произвольный угол с использованием характерных точек [14]. Данная группа характеризуется пониженным уровнем ошибки ФВ, но приводит к увеличению времени измерения, которое не может быть меньше четверти периода.

За модели сигналов идеальных электрических сетей принимаются сигналы, изменяющиеся по синусоидальному закону. Параметры реальных электрических сетей имеют существенные отличия от идеальных: помимо основной гармоники их спектры могут содержать дополнительные гармоники [7-11].

В электрической системе, содержащей сигналы напряжения и тока чисто синусоидальных форм на фиксированной частоте, измерение реактивной мощности является простым и может быть выполнено с использованием различных существующих методов без ошибок. Однако при наличии несинусоидальных сигналов энергия, содержащаяся в гармониках, вызывает ошибки измерения [7, 12-17].

Одним из основных вопросов, которые приходится решать при обосновании быстродействия средств измерений, реализующих цифровые методы, связан с определением оптимальных моментов времени, в которые нужно выполнять измерение мгновенных значений сигналов исходя из требований по точности определения СКЗ сигнала и в зависимости от его спектрального состава [4].

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Рассмотрим основные особенности при определении интегральных характеристик периодического сигнала с использованием дополнительного сигнала (рис. 1).

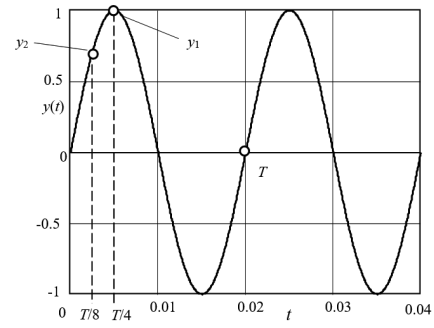


Рис. 1. Определение эффективного значения сигнала $y(t)$ по его мгновенным значениям

Для того чтобы измерить амплитудное значение сигнала y_1, достаточно использовать компаратор К для определения момента перехода сигнала через ноль, ФВ, и запоминающее устройство (ЗУ) мгновенного значения сигнала y_1 (рис. 2).

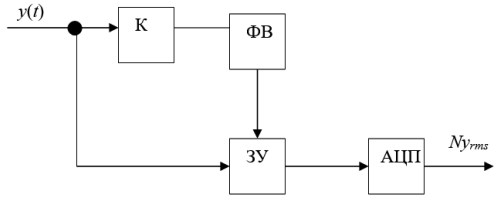


Рис. 2. Схема для определения эффективного значения y_{rms} гармонического сигнала

Как известно, эффективное значение $y_{скз}$ гармонического сигнала в $\sqrt{2}$ раз меньше амплитудного значения, стало быть, код $Ny_{скз}$, формируемый аналого – цифровым преобразователем (АЦП) пропорционален эффективному значению сигнала $y(t)$.

Определение мгновенного значения сигнала y_2 с использованием задержки $T/8$ определяется как

$$y_2 = y_1 / sin\,\varphi = y_1 / \sqrt{2}\,, \qquad (1)$$

Используя (1), для определения эффективного значения гармонического сигнала можно использовать измерение его мгновенного значения на любом угле φ.

Рассмотрим использование такого метода для определения эффективного значения периодического несинусоидального сигнала. В первую очередь рассмотрим ситуацию присутствия в сигнале первой гармоники [7]

$$y_1 = A_1 \cdot sin\left(\omega_1 \cdot t\right) \qquad (2)$$

с амплитудой A_1=1 и частотой f=50 Гц, а также 3-й гармоники

$$y_3(t) = A_3 \cdot sin\left(3 \cdot \omega_1 \cdot t + \varphi_3\right) \qquad (3)$$

с амплитудой A_3=0,2 и фазой $\varphi = \pi/8$ (рис. 3).

Диаграмма сигнала, равного сумме этих гармоник, представлена на рис. 4. Такой сигнал, очевидно, определяется выражением

$$y(t) = A\ sin\left(\omega t\right) + A\ sin\left(3\omega t + \varphi\right) \qquad (4)$$

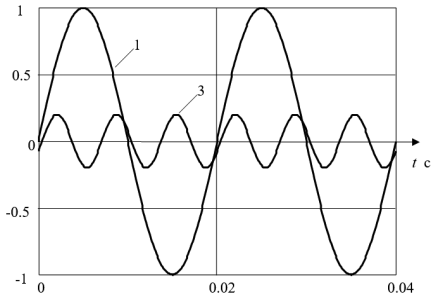


Рис. 3. Графики сигнала: первая гармоника (1); третья гармоника (3).

При этом мгновенное значение сигнала, измеренное на интервале времени $T/4$ равно y_1, такое же значение, измеренное на интервале $T/8$ равно y_2.

В идеальном случае эффективное значение сигнала, форма которого представлена на рис. 4, равно

$$y_{rms}^{ideal} = \sqrt{\frac{1}{T} \cdot \int_{-T/2}^{T/2} \left[A_1\ sin\left(\omega_1 t\right) + A_2\ sin\left(3\omega_1 t + \varphi_3\right)\right]^2 dt} = 0,721\ . \qquad (5)$$

Такое же значение y_{rms} можно получить с помощью (5), интегрируя квадрат сигнала на интервале $0 \ldots T$, а также, в связи с симметричностью анализируемого сигнала, лишь на половине периода:

$$y_{rms}^{ideal} = \sqrt{\frac{2}{T} \cdot \int_{0}^{T/2} \left[y_c(t)\right]^2 dt} = 0,721 \qquad (6)$$

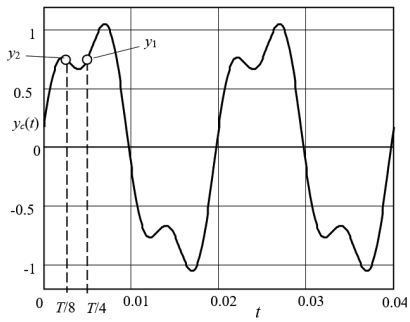


Рис. 4. Схема для определения эффективного значения y_{rms} гармонического сигнала

В дальнейшем для оценки истинного значения y_{rms} будет использоваться выражение (6), поскольку при его реализации время измерения сокращается на $T/2$=10 мс.

III. Метод определения эффективного значения сигнала его по мгновенному значению на четверти периода негармонического сигнала

Мгновенное значение такого сигнала для разной фазы φ 3-й гармоники на четверти периода равно [5]

$$y(\varphi) = A \sin\left(\omega \frac{T}{4}\right) + A \sin\left(3\ \omega \frac{T}{4} + \varphi\right), \qquad (7)$$

где $\varphi(k) = k \cdot \frac{\pi}{180}$, $\varphi = k = 0, 1, \ldots, 360$.

График зависимости этого значения от фазы 3-й гармоники приведена на рис. 5.

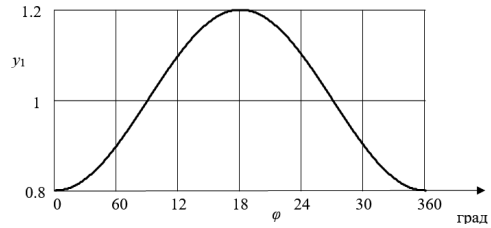


Рис. 5. Зависимость значения y_1 от фазы φ 3-й гармоники в сигнале гармонического сигнала $y_c(t)$

Поскольку для гармонического сигнала его эффективное значение y_{rms} меньше амплитудного на $\sqrt{2}$, абсолютная погрешность определения y_{rms} в зависимости от фазы 3-й гармоники с учетом этого коэффициента определяется функцией [2]

$$\Delta_1(\varphi) = \frac{y_1(\varphi)}{\sqrt{2}} - y_{rms}^{ideal},$$

а относительная погрешность – выражением

$$\delta_1(\varphi) = \Delta_1(\varphi) / y_{rms}^{ideal}.$$

Поскольку для гармонического сигнала его эффективное значение y_{rms} меньше амплитудного на $\sqrt{2}$, абсолютная погрешность определения y_{rms} в зависимости от фазы 3-й гармоники с учетом этого коэффициента определяется функцией [2]

$$\Delta_1(\varphi) = \frac{y_1(\varphi)}{\sqrt{2}} - y_{rms}^{ideal},$$

а относительная погрешность – выражением

$$\delta_1(\varphi) = \Delta_1(\varphi) / y_{rms}^{ideal}.$$

Зависимость $\delta_1(\varphi)$ представлена на рис. 6. На этом рисунке изображена зависимость относительной погрешности $\delta_1(\varphi)$ определения эффективного значения y_{rms} сигнала $y_c(t)$ по его мгновенному значению y_1 на четверти периода от фазы 3-й гармоники

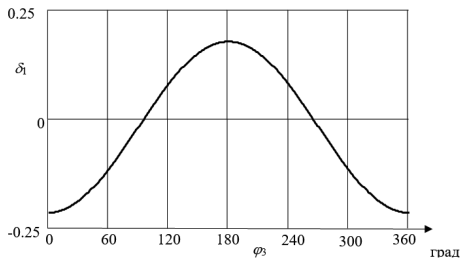


Рис. 6. Зависимость относительной погрешности $\delta_1(\varphi_3)$ определения y_{rms} сигнала $y_c(t)$ по его мгновенному значению y_2 от фазы 3-й гармоники

Как видно из рассмотрения рис. 6, относительная погрешность определения y_{rms} сигнала по его амплитуде достигает 20%, что для практического применения такого метода недопустимо много.

IV. Метод определения эффективного значения сигнала по его мгновенному значению на одной восьмой периода негармонического сигнала

Рассмотрим возможность определения эффективного значения сигнала путём измерения сигнала на 1/8 его периода. В этом случае чтобы пересчитать его амплитудное значение, очевидно измеренную величину надо разделить на $\sin \pi/4 \cong 0.707$.

Значение сигнала на 1/8 периода для произвольной фазы 3-й гармоники определяется функцией

$$y_2(\varphi) = A_1 sin\left(\omega_1 \frac{T}{4}\right) + A_2 sin\left(3\omega_1 \frac{T}{8} + \varphi\right). \qquad (8)$$

Абсолютная погрешность определения эффективного значения сигнала с помощью такого метода для произвольной фазы 3-й гармоники определяется выражением [4]

$$\Delta_2(\varphi) = \frac{1}{\sqrt{2} \cdot sin\ \pi/4} \cdot y_2(\varphi) - y_{rms}^{ideal},$$

а относительная погрешность - выражением

$$\delta_2(\varphi) = \frac{\Delta_2(\varphi)}{y_{rms}^{ideal}}. \qquad (9)$$

Зависимость относительной погрешности δ_2 от фазы 3-й гармоники представлена на рис. 7.

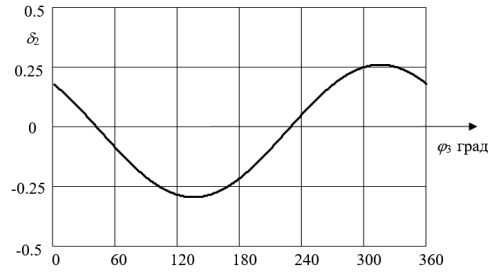


Рис. 7. Зависимость относительной погрешности $\delta_2(\varphi_3)$ определения y_{rms} сигнала $y_c(t)$ по его мгновенному значению y_2 от фазы 3-й гармоники

Как видно из рассмотрения рис. 7, относительная погрешность определения y_{rms} сигнала по его амплитуде y_2 достигает 25%, что для практического применения такого метода также недопустимо много.

V. Метод определения эффективного значения сигнала по его усредненным мгновенным значениям

Рассмотрим возможность определения эффективного значения сигнала путём определения среднего значения полученных оценок y_1 и y_2, определяемых выражениями (6) и (7) соответственно. В этом случае результирующая относительная погрешность определяется выражением [4]:

$$\delta_3 = \frac{\Delta_1(\varphi) + \Delta_2(\varphi)}{2 \cdot y_{rms}^{ideal}}. \qquad (9)$$

Зависимость относительной погрешности δ_3 от фазы 3-й гармоники представлена на рис. 8.

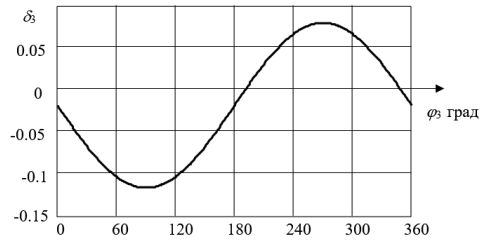


Рис. 8. Зависимость относительной погрешности $\delta_3(\varphi_3)$ определения y_{rms} сигнала $y_c(t)$ по его мгновенному значению y_2 от фазы 3-й гармоники

Как видно из рассмотрения рис. 8, максимальное значение относительной погрешности определения y_{rms} сигнала по его усредненным значениям достигает 10%, что в ряде случаев может оказаться приемлемым для практического применения такого метода.

График зависимости максимальной относительной погрешности последнего метода δ_3, % от амплитуды A_3 3-й гармоники [5] представлен на рис. 9.

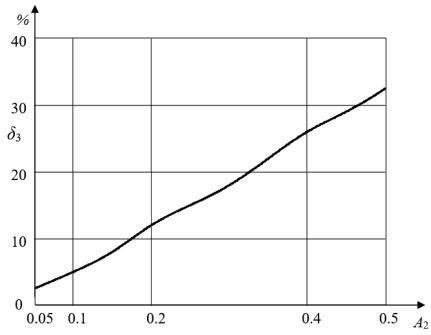


Рис. 9. Зависимость максимальной относительной погрешности δ_3 (%) метода 3 от амплитуды A_3 третьей гармоники в сигнале $y_x(t)$.

VI. Заключение

На основании изложенного материала можно сделать следующие выводы:

– для выполнения имитационного моделирования сигналов реальных электрических сетей необходимо учесть их несинусоидальную модель, что выражается в наличии нечетных гармоник, случайного шума [7];

- в промышленной сети форма напряжений и токов отклонена от синусоидальной, причем основное влияние имеет третья гармоника;

- при незначительной величине третьей гармоники, что характерно для большинства промышленных приложений, величина эффективного значения напряжения и тока может быть определена с использованием простых методов измерения мгновенных значений сигналов на половине их периода, при этом погрешность определения этого значения составляет несколько процентов.

Список литературы

[1] IEEE Standard 1459-2000 (2003) IEEE Standard Definitions for the Measurement of Electric Power Quantities Under Sinusoid al, Nonsinusoidal, Balanced or Unbalanced Conditions The Institute of Electrical and Electronic Engineers Inc New York

[2] EN 50160-2010 Voltage characteristics of electricity supplied by public distribution networks

[3] IEC 61000-4-30: 2008 Electromagnetic compatibility (EMC) Part 4-30: Testing and measurement techniques Power quality measurement methods

[4] V.S. Meleht'ev, V.I Batichev, "Approximating methods and systems of measurement and control of parameters of periodic signals" (in Russion), Fizmatlit, 2011, p. 240

[5] P.K. Lange, E.E Yaroslavkina, "Approximation methods and tools for measuring data acquisition". Lambert Academic Publishing. – Düsseldorf. - Germany., 2017., p. 236

[6] E.E. Yaroslavkina, "Investigation of methods for determining the integral characteristics of periodic signals separated in time", International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern technologies (FarEastCon2018), Vladivostok, 2018, pp.1-4

[7] A.N.Serov, A.A. Lupachev, "Modelling features of electric network signals for the assessment of metrological characteristics of power parameters" Measurement methods Southern siberian scientific bulletin. 2015, Vol.1, No. 9, pp. 57-62

[8] C. Cepisca, S. Ganatsios, H. Andrei, S. D. Grigorescu, N. Taousanidis "Methods for power measurement in energy meters", Scientific Bulletin of the Electrical Engineering Faculty, 2008, No. 2, pp 7-11

[9] A. Ferrero, L. Cristaldi, "Harmonic power flow analysis for the measurement of the electric power quality", IEEE transactions on instrumentation and measurement, 1995, Vol. 60, No. 3, pp. 683–685.

[10] A.A. Alekseev, O.D. Molchan, Y.I. Didik, "Accuracy of measurement of reactive power and energy in the conditions of a nesinusoidal current and voltage", in Proc. Metrology of electric measurements in power industry, 2001, pp. 102–107.

[11] M.A.Yundin, N.I. Shabanov, Y.I. Hanin, "About coefficient of not balance of the most significant highest harmonicas of currents in rural IEC", Reactive power in nonsinusoidal situations, Vol. Report TC 25/wg7.C. Budeanu, "Reactive and fictitious powers" Rumanian National Institute, No. 2, 1927.

[12] L.S. Czamecki, "Considerations on the reactive power in nonsinusoidal situations", IEEE Trans, on Inst, and Meas, Vol. 34, No. 3, pp 399-404, Sept 1985.

[13] V.S. Melent'ev, E.E. Jaroslavkina, E.V. Pavlenko "The use of inverting the input signal to reduce the time measurement of harmonic signals parameters" (in Russion) Bulletin of Samara State Technical University: Series Technical science, 2015 Vol. 3 No. 47, pp. 100-108.

[14] E.E. Jaroslavkina, V.V. Muratova, E.V. Pozdeeva, "The analysis of the instrumental error of the system for measurement harmonic signals parameters based on the comparison of signals orthogonal components", (in Russion) Bulletin of Samara State Technical University: Series Technical science, 2015, Vol. 48, No. 4. Pp. 50–55.

[15] V.N. Yakimov, "Digital harmonic analysis of multicomponent random processes", Measurement techniques, Springer US, New York, vol. 49, Issue 4, pp. 341-347, April 2006.

[16] V.N. Yakimov, O.V. Gorbachev, "Firmware of the amplitude spectrum evaluating system for multicomponent processes", Instruments and experimental techniques, Springer US, New York, vol. 56, Issue 5, pp. 540-545, September 2013.

Прогнозирование характеристик осевых компрессоров в области запуска

Михайлов А.Е.
Факультет авиационных двигателей, энергетики и транспорта ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет»
Уфа, Россия
mikhailov.ugatu@gmail.com

Дадоян Р.Г.
Факультет авиационных двигателей, энергетики и транспорта ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет»
Уфа, Россия
www.razmikjan@mail.ru

Михайлова А.Б.
Факультет авиационных двигателей, энергетики и транспорта ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет»
Уфа, Россия
alexandra11112007@yandex.ru

Ахмедзянов Д.А.
Факультет авиационных двигателей, энергетики и транспорта ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет»
Уфа, Россия
ada@ugatu.ac.ru

***Abstract* — Authors developed an empirical model for Axial compressor startup performance prediction. Proposed method is based on classical Gaudet model with variable power coefficients. CFD-simulation and experimental data is used for verification of developed model.**

Ключевые слова — axial compressor, engine startup, performance prediction, empirical model

I. Введение

Прогнозирование достоверных характеристик узлов является одной из ключевых задач на различных стадиях проектирования от эскизного до технического проекта двигателя. Достоверные характеристики узлов позволяют рассчитать характеристики разрабатываемого изделия на установившихся (дроссельная, климатическая, высотно-скоростные характеристики) и на неустановившихся режимах (динамическая характеристика ГТД) с высокой точностью.

На режимах ниже малого газа (неустановившихся режимах) характеристики компрессора экспериментально не определяются. Но при моделировании запуска двигателя необходимо иметь достоверную характеристику компрессора для того, чтобы выбрать оптимальные характеристики пускового устройства, определить программы дозирования топлива, обеспечивающей оптимальное протекание параметров в процессе запуска; определить минимальное время запуска или минимальную температуру газа за турбиной в условиях заданных ограничений [1].

Построение математической модели газотурбинного двигателя на этапе запуска является сложной задачей из-за отсутствия экспериментальных данных о процессах, происходящих в двигателе на начальных этапах раскрутки ротора. Основной проблемой является то, что отсутствует априорная информация о характеристиках узлов ГТД в области запуска. Связано это с тем, что существующие методики расчета характеристик лопаточных машин, применяемые на начальных этапах опытно-конструкторских работ, основываются на применении уравнения Навье-Стокса и имеют ряд допущений, которые обеспечивают необходимую точность расчета характеристик в области режимов от малого газа до максимального, но не обеспечивают удовлетворительной точности на режиме запуска. Поэтому расчет пусковых характеристик является очень актуальной проблемой. Большее количество исследований данных характеристик было проведено за рубежом. Это описано в источниках [2-7]. Проводя стендовые испытания опытных образцов узлов и агрегатов двигателя, можно получить большое количество информации о характеристиках лопаточных машин. Однако даже такие экспериментальные методики имеют большую погрешность в области режима запуска, которая связана, как правило, с проблемой точного измерения параметров, почти не отличающихся от параметров окружающей среды. Кроме того, максимальная эффективность моделирования процесса запуска, с точки зрения формирования требований к системе запуска, приходится на этап технического проекта, до момента изготовления первых опытных образцов узлов [8].

Основная цель работы состоит в создании методики расчета, которая позволит минимизировать технические риски проектирования системы запуска двигателя и снизить объем дорогостоящих экспериментальных исследований, так же сократить сроки проектирования двигателя, за счет достигаемых за счет применения математического моделирования характеристик компрессора на этапе запуска ГТД.

II. Разработка методики прогнозирования характеристик компрессора в области запуска

Наиболее распространенным подходом к прогнозированию характеристик осевых компрессоров в области запуска является экстраполяция экспериментально определенных характеристик узлов двигателя на этап запуска. При этом методики экстраполяции можно разделить на 4 группы: методики, основанные на экстраполяции характеристик узлов без учета физического смысла процессов, происходящих на этапе запуска; методики, основанные на экстраполяции характеристик узлов с учетом априорной информации о процессах, происходящих на этапе запуска; методики экстраполяции характеристик узлов на основе большой статистической базы; методики идентификации универсальных характеристик по экспериментальным данным.

Наибольшее распространение получили методики экстраполяции характеристик компрессоров, представленные в работах [2,9], рис. 1.

©2019 ИПУСС РАН, СамГТУ, IEEE

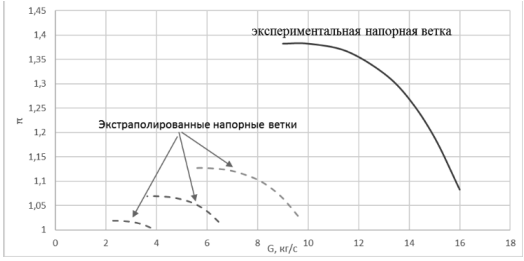


Рис. 1. Экстраполяция напорных ветвей на характеристике компрессора

Расход воздуха, удельная адиабатическая работа компрессора и мощность компрессора при произвольной частоте вращения ротора определяется согласно:

$$\frac{(G_{\text{в}})_{i-1}}{(G_{\text{в}})_i} = \left(\frac{n_i}{n_{i-1}}\right)^p; \quad (1)$$

$$\frac{(L_{\text{уд}})_{i-1}}{(L_{\text{уд}})_i} = \left(\frac{n_i}{n_{i-1}}\right)^s; \quad (2)$$

$$\frac{(N_{\text{уд}})_{i-1}}{(N_{\text{уд}})_i} = \left(\frac{n_i}{n_{i-1}}\right)^q. \quad (3)$$

Степень повышения полного давления и полный адиабатический КПД компрессора определяются согласно:

$$\pi^*_{\text{к}(i-1)} = \sqrt[\frac{k_B}{k_B-1}]{\left(\frac{n_{\text{пр}(i-1)}}{n_{\text{пр}}}\right)^2 \left(\pi^{*\,\frac{k_B}{k_B-1}}_{k(i-1)} - 1\right) + 1} \quad (4)$$

$$\eta_{Ki} = \frac{30}{\pi} * \frac{k_{\text{в}}}{k_{\text{в}}-1} * R_{\text{в}} T^*_{\text{вх}} \left(\pi_{\text{К}}^{*\,\frac{k_{\text{в}}-1}{k_{\text{в}}}} - 1\right) \frac{G_{\text{в пр}i}}{n_i * M_{Ki}} \quad (5)$$

Согласно методике Секстона [9], в области низких режимов работа компрессора эквивалентна работе винта, из чего следует, что расход воздуха через компрессор пропорционален частоте вращения его ротора, крутящий момент пропорционален квадрату частоты вращения ротора, а потребляемая мощность кубу частоты вращения ротора. Согласно методике Готье, которая является дальнейшим развитием методики Секстона [2], степенные показатели *p*, *s*, *q* определяются по известной экспериментальной характеристике компрессора и считаются постоянными. Методика Готье позволяет учесть эффект сжимаемости воздуха при экстраполяции характеристик осевых компрессоров. На рис. 2 показана апробация методик Готье и Секстона при прогнозировании характеристик компрессора в области запуска.

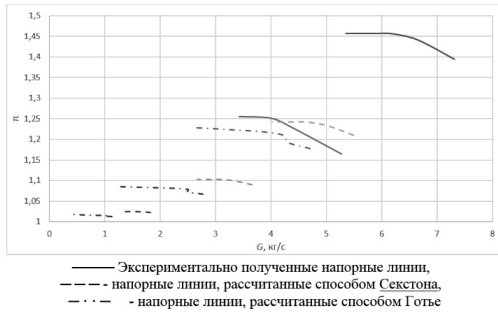


Рис. 2. Апробация методик Готье и Секстона при прогнозировании характеристик компрессора в области запуска

Можно отметить невысокую степень адекватности методик Готье и Секстона при прогнозировании характеристик компрессора в области запуска.

Согласно модели Готье, что коэффициенты *p, s* и *q* при частотах вращения ротора близких к нулю, имеют значения *p*≈1, *s*≈2, *q*≈2, так как изменение плотности воздуха минимально. Одним из эффективных методов повышения эффективности модели Секстона является применение переменных степенных коэффициентов *s*, *p*, *q* при экстраполяции характеристик компрессоров. Отличительной особенностью предложенной эмпирической модели от модели Готье [2] является возможность изменения степенных показателей *p*, *s*, *q* при экстраполяции характеристик компрессора.

III. Исследование эмпирической модели с переменными степенными коэффициентами

Для исследования классической модели Готье и предлагаемой модели с переменными коэффициентами использованы экспериментальные характеристики компрессоров высокого и низкого давления современного авиационного ГТД, рис. 3 и 4.

Ключевым фактором при прогнозировании характеристик компрессора в области запуска согласно принятой модели является изменение степенных коэффициентов *s*, *p*, *q* по частоте вращения ротора компрессора. Проведенная обратная обработка характеристик компрессоров высокого и низкого давления современного авиационного ГТД классическим методом Готье показала различные результаты.

При обратной обработке характеристики компрессора низкого давления были получены значения степенных коэффициентов *p*≈1, *s*≈2, *q*≈2, характерные для классической модели Готье. Это связано с тем, что в области низких частот вращения в КНД реализуются низкие степени повышения давления $\pi^*_{\text{КНД}}$≈1.2, при которых эффект сжимаемости воздуха проявляется в малой степени.

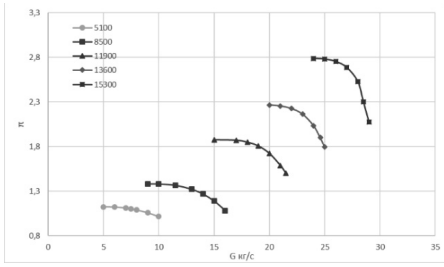


Рис. 3. Характеристика компрессора низкого давления авиационного ГТД

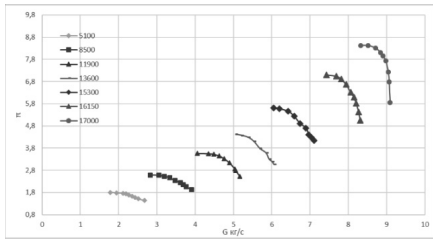


Рис. 4. Характеристика компрессора высокого давления авиационного ГТД

На рис. 5 показано изменение степенных коэффициентов *p*, *s*, *q* по частоте вращения ротора для компрессора высокого давления современного авиационного ГТД.

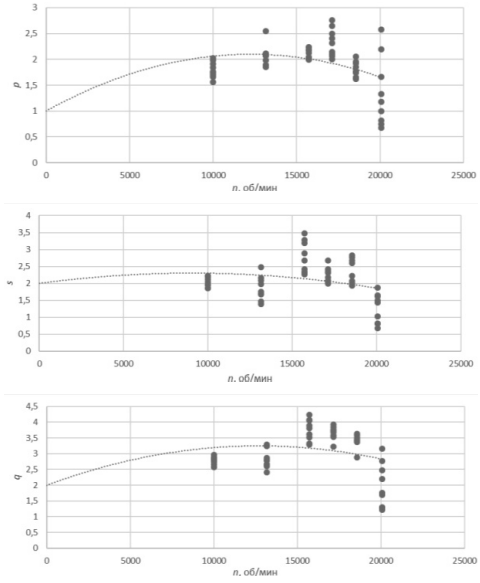


Рис. 5. Изменение степенных коэффициентов p, s, q по частоте вращения ротора для компрессора высокого давления современного авиационного ГТД

Как можно видеть на рис. 5, в случае компрессора ВД, при экстраполяции характеристики компрессора степенные коэффициенты равны $p \approx 1.5$, $s \approx 2$, $q \approx 2.5$, то есть значительно отличающиеся от применяемых в методе Секстона.

Из графиков зависимостей коэффициентов $p=f(n)$; $s=f(n)$; $q=f(n)$ можно заметить, что при раскрутке компрессора на низких частотах вращения ротора коэффициенты возрастают, коэффициент p с увеличением частоты вращения возрастает до режима малого газа, то же самое происходит с коэффициента s и q, из этого можно сделать вывод о том, что для расчета характеристики компрессора на этапе запуска не обязательно рассчитывать коэффициенты на всех известных частотах вращения вала. Имея напорную ветку компрессора на режиме малого газа и напорную ветку с более высокой частотой вращения, можно рассчитать коэффициенты p, s, q и предположить, что данные коэффициенты имеют тенденцию с уменьшением частоты вращения стремиться к значениям 1, 2, 2 соответственно. Пример зависимости $p=f(n)$ для типичного компрессора высокого давления показан на рис. 6.

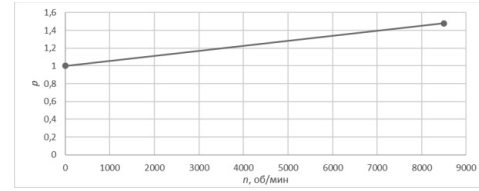


Рис. 6. Изменение степенного коэффициента рпо частоте вращения ротора

Для дополнительной верификации полученных данных был проведен расчет характеристики компрессора низкого давления современного авиационного ГТД в ANSYS CFX. Данный подход не применим на ранних этапах проектирования двигателя, когда отсутствует детальная геометрическая конфигурация узла, но может быть эффективно использован для исследования рабочего процесса осевого компрессора при частоте вращения ниже режима малого газа. На рис. 7 показана картина обтекания компрессора низкого давления авиационного ГТД.

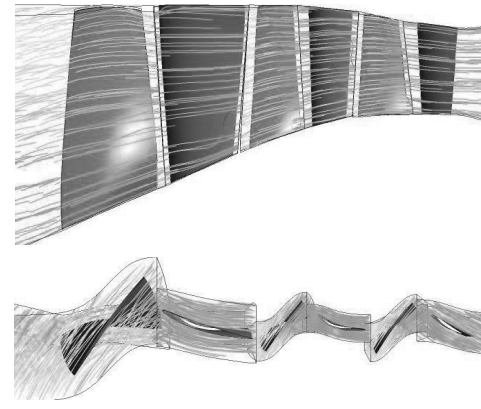
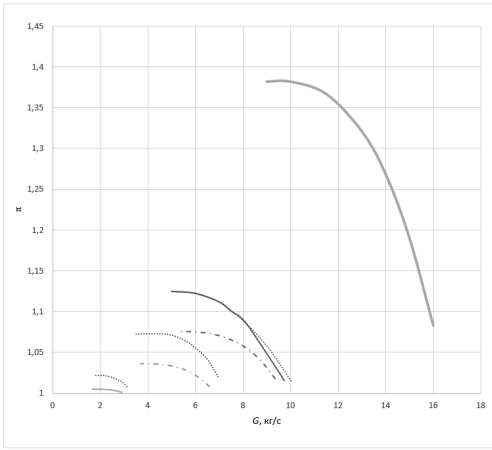


Рис. 7. Изменение степенных коэффициентов p, s, q по частоте вращения ротора для компрессора высокого давления современного авиационного ГТД

На рис. 8 показана расчетная и экспериментальная характеристика компрессора низкого давления современного авиационного ГТД на режиме малый газ, а также расчетная характеристика на более низких частотах вращения.



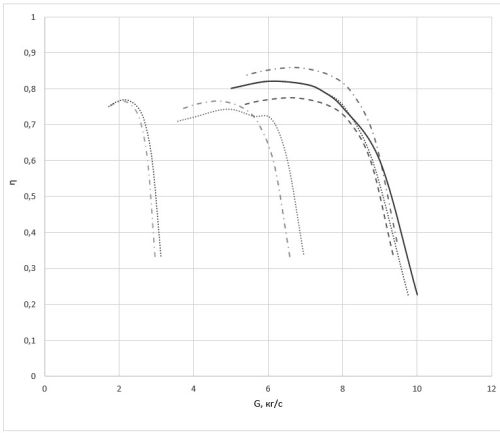


Рис. 8. Расчетные и экспериментальные напорные и КПД-характеристики КНД современного авиационного ГТД

На рисунке 7 можно увидеть, что максимальное отличие результатов расчета степени повышения давления и адиабатического КПД по предложенной методике от результатов расчета в ANSYS CFX составляет 5.25% и 5.15% соответственно. В связи с этим можно сделать вывод, что данные методики пригодны для расчетов характеристик на этапе запуска на ранних этапах проектирования.

IV. Заключение

Авторами был выполнен расчет характеристик компрессоров высокого и низкого давления двигателя современного авиационного ГТД по известным эмпирическим нульмерным моделям (У. Секстона и Ш. Готье). Результаты были верифицированы с последней экспериментальной напорной веткой, находящейся ниже режима малого газа. Можно отметить невысокую степень адекватности методик Готье и Секстона при прогнозировании характеристик компрессора в области запуска. Согласно модели Готье, что коэффициенты *p, s* и *q* при частотах вращения ротора близких к нулю, имеют значения $p \approx 1$, $s \approx 2$, $q \approx 2$, так как изменение плотности воздуха минимально. Одним из эффективных методов повышения эффективности модели Секстона является применение переменных степенных коэффициентов *s*, *p*, *q* при экстраполяции характеристик компрессоров. Отличительной особенностью предложенной эмпирической модели от модели Готье является возможность изменения степенных показателей *p*, *s*, *q* при экстраполяции характеристик компрессора. Имея напорную ветку компрессора на режиме малого газа и напорную ветку с более высокой частотой вращения, можно рассчитать коэффициенты *p*, *s*, *q* и предположить, что данные коэффициенты имеют тенденцию с уменьшением частоты вращения стремиться к значениям 1, 2, 2 соответственно. Максимальная погрешность предложенной модели относительно экспериментальных данных не превышает 10.5%.

Так же был выполнен 3D расчёт характеристики КНД современного авиационного ГТД в программном комплексе Ansys CFX. Можно отметить высокую сходимость предложенной модели с результатами расчета в Ansys CFX, погрешность составила не более 5%. Важным фактором является то, что расчёт в Ansys CFX даёт четкое представление о местонахождении границы устойчивой работы компрессора, в то время как нульмерные методики этого сделать не могут.

Список литературы

[1] Gaudet, S.R. Development of a dynamic modeling and control system design methodology for gas turbines / S.R. Gaudet // Carleton University, Ottawa, Ontario, Canada, 2007. – 312 p.

[2] Palme, T. Compresor Map prediction by neural networks / T. Palme, P. Waniczek, H. Honen, M. Assadi, P. Jeschke // Journal of energy and power engineering, 2012. - №6. – p. 1651-1662.

[3] Jones, G. Extrapolation of compressor characteristics to the low-speed region for sub-idle performance modeling / G. Jones, P. Pilidis // Proceedings of ASME Turbo Expo 2002 Amsterdam, Nethrlands. GT-2002-30649.

[4] Asgari, H. Modeling and simulation of the start-up operation of a heavy-duty gas turbine by using NARX models / H. Asgari, X. Chen, R. Sainudiin, M. Morini, M. Pinelli and others // Proceedings of ASME Turbo Expo 2014 Dusseldorf, Germany. GT2014-25056.

[5] Jones, G. Perfomance modeling of windmilling gas turbines: Eng. D. Thesis / Geoffrey B. Jones. – Cranfield, 2002. – 207 p.

[6] Zachos, P. Gas Turbine Sub-idle Performance Modelling; Altitude relight and windmilling: Ph. D. Thesis / Pavlos K. Zachos. – Cranfield, 2010. – 239 p.

[7] Modeling and Simulation Study of a Dynamic Gas Turbine System in A Virtual Test Bed Environment G. Jones, P. Pilidis, B. Curnock // ASME Paper GT2001-0384, New Orleans, Louisiana, USA June 4-7, 2001. – 7 p.

[8] Кац, Б.М. Пусковые системы авиационных газотурбинных двигателей / Б.М. Кац, Э.С. Жаров, В.К. Винокуров // М.: Машиностроение, 1976. – 220 с.

[9] A methos to control turbofan engine starting by varying compressor surge valve bleed / / Sexton W.R./ Blacksburg Virginia 2001

Разработка нечеткой продукционной модели для системы диагностики состояния катализатора в процессе производства олефинов

Осипенко У.Ю.
Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет)
Санкт-Петербург, Россия
osipenko.u@gmail

Куркина В.В.
Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет)
Санкт-Петербург, Россия
victoria.kurkina@gmail.com

Русинов Л.А.
Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет)
Санкт-Петербург, Россия
lrusinov@yandex.ru

***Abstract* — The characteristic properties of the catalytic process for the production of olefins from normal paraffin are given. The process of developing a model for estimate the condition of a catalyst based on fuzzy logic is described. The production rules obtained based on the fuzzy clustering are shown.**

Ключевые слова — диагностическая модель, нечеткая логика, кластеризация, нечеткое продукционное правило, процесс производства олефинов

I. Введение

Производство олефинов из нормальных парафинов является технологически сложным процессом. В его состав входят три основных производственных блока: блок предварительного фракционирования сырья; блок Пакол, предназначенный для производства олефинов из фракции н-парафинов; блок Дифайн, предназначенный для преобразования до олефинов побочных продуктов блока Пакол. Основной реакцией процесса является реакция дегидрогенизации н-парафинов до соответствующих им нормальных моноолефинов, которые являются целевым продуктом и используются в производстве биоразлагаемых моющих средств [1-4]. На выход олефинов и активность катализатора ректора блока Пакол влияет множество факторов, в частности, температура и давление в реакторе, соотношение количества молей водорода к количеству молей углеводородов сырья, влажность сырья и др.

Повышение температуры, с одной стороны, увеличивает превращение линейных парафинов до олефинов, поскольку дегидрирование парафинов в олефины – обратимая эндотермическая реакция, с другой – ведет к снижению селективности, то есть уменьшению соотношения массы образованных олефинов к количеству превращенных н-парафинов, и влечет за собой снижение срока службы катализатора [1]. С уменьшением соотношения количества молей водорода к количеству молей углеводородов сырья при постоянных значениях давления и температуры понижается парциальное давление водорода, это ведет как к увеличению конверсии сырья, так и к увеличению образования кокса на катализаторе, и следовательно, к сокращению его срока службы. Стабильности активности катализатора добиваются поддержанием определенной влажности в реакторе. Для этого в газосырьевую смесь добавляется деионизированная вода [1, 3]. Недостаточная влажность уменьшает выход монолефинов и увеличивает выход легких фракций. При этом также уменьшается действие платины в катализаторе, в результате чего происходит образование кокса. Аналогичный результат вызовет и увеличение влажности, однако, он будет обусловлен тем, что вода займет активные центры катализатора.

Даже при выборе оптимальных значений технологических параметров процесса с течением времени происходит снижение активности катализатора, что приводит к уменьшению выработки моноолефинов.

Для поддержания выхода целевого продукта на одном уровне, требуется постепенно увеличивать температуру на входе в реактор, а для продления ресурса работы катализатора – соответствующим образом изменять расходы воды и водородсодержащего газа (ВСГ) в реактор. Решение об изменении режима протекания процесса в настоящее время на установке принимают операторы, основываясь на опыте ведения процесса. Однако такой способ управления содержит субъективный фактор. К тому же лабораторные анализы по содержанию н-моноолефинов после реактора проводятся нерегулярно, а режимные технологические параметры (температура, давление, перепад температуры на реакторе, перепад давления на реакторе, соотношение сырья к водородсодержащему газу) коррелированы между собой, что затрудняет оценку реального состояния катализатора и способствует принятию ошибочных решений.

Важной задачей для стабилизации выхода целевого продукта процесса в таких условиях является разработка диагностической системы, которая, осуществляя мониторинг определяющих технологических параметров процесса, позволит обеспечить персонал блока всей необходимой информацией и выполнит своевременное увеличение температуры на входе в реактор и расхода деионизированной воды, исходя из текущего состояния процесса.

II. Анализ объекта исследования

Основным технологическим агрегатом блока Пакол является реактор дегидрогенизации нормальных парафинов до соответствующих н-моноолефинов (рис. 1). Сырьем реактора является фракция н-парафинов C_{10}-C_{13} в смеси с ВСГ и деионизированной водой, впрыскиваемой дозировочным насосом.

©2019 ИПУСС РАН, СамГТУ, IEEE

Учитывая нерегулярность проводимых лабораторных анализов по содержанию моноолефинов после реактора необходимо для непрерывного отслеживания состояния катализатора определить перечень технологических параметров, косвенно указывающих на снижение его активности. Для этого был выполнен анализ данных промышленной установки производства олефинов, а также использована математическая модель реактора, описанная в работе [5].

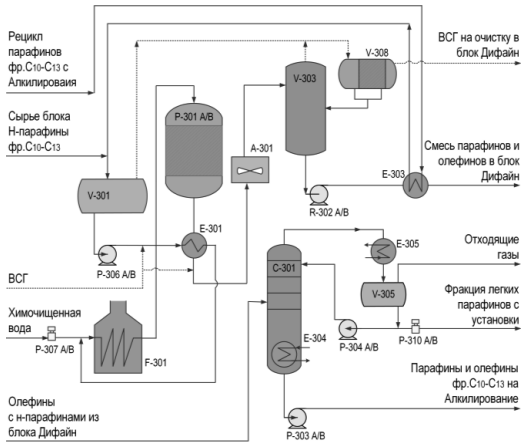


Рис. 1. Технологическая схема блока Пакол

Анализ позволил выбрать технологические параметры для оценки состояния катализатора:

– температура на входе в реактор (x_{i1}) и перепад давления на реакторе (x_{i2}), – для определения степени активности катализатора;

– давление на входе в реактор (x_{i4}), перепад температуры на реакторе (x_{i3}), – для определения момента необходимого изменения параметров процесса для стабилизации выхода н-моноолефинов после реактора.

III. Разработка диагностической модели

Часто в случае реализации задач, связанных с принятием решений, приходится иметь дело с большим объемом разнородной информации как количественной, так и качественной. Реальные технологические процессы всегда работают в условиях неполной информации, зачастую это связанно с недостаточной изученностью механизмов протекания процесса. Для диагностических систем, связанных с обработкой такой нечеткой информации, наиболее перспективным является аппарат нечеткой логики, оперирующий теорией нечетких множеств.

В нечетком множестве каждый его элемент имеет кроме своего значения еще один атрибут: степень принадлежности его к этому множеству, определяемую значением функции принадлежности μ [6].

Нечеткое множество и его функция принадлежности могут использоваться для представления переменных, заданных в вербальной форме – лингвистических переменных [7]. Множество значений лингвистической переменной образует терм-множество. Например, термами множества лингвистической переменной «температура» могут быть: «высокая», «средняя», «низкая». Использование в продукционных правилах лингвистических переменных позволяет эффективно формализовать нечеткую экспертную информацию.

Один из возможных подходов к диагностике состояния процесса является разработка нечеткой модели, важнейшим компонентом которой является база знаний, представляющая собой совокупность нечетких правил «если-то», определяющих взаимосвязь между входами и выходами исследуемой системы [6-9].

Нечеткие правила типа Takagi-Sugeno имеют следующий вид [8]:

$$R_i: \text{ЕСЛИ } x_{i1} = A_{i1} \text{ И } \ldots \text{ И } x_{in} = A_{in}, \text{ ТО } y_i = f_i(x_{ij})$$

где R_i – i-ое правило нечеткой модели, $i \in [1, k]$, k – число правил; $x_i = \{x_{ij}\}$ – вектор входных переменных каждого i-го правила, $j \in [1, n]$, n – число входных переменных $A_i = \{A_{ij}\}$ – совокупность нечетких терм-множеств переменных, входящих в условную часть каждого i-го правила; y_i – выход i-го нечеткого правила.

Результирующий выход модели определяется с учетом вклада каждого правила в общий вывод.

Каждое нечеткое продукционное правило может использовать несколько предпосылок в условной части и несколько заключений. Число правил в модели определяется количеством различных состояний процесса. Для того, чтобы выделить из всех возможных состояний некоторое количество однородных групп удобно использовать кластеризацию [6, 9].

Кластеризация - это объединение объектов в группы (кластеры) на основе схожести признаков для объектов одной группы и отличий между группами. Исходной информацией для кластеризации является матрица данных процесса **X**, каждая строка которой представляет собой значения n переменных одного из m наблюдений [6]. Каждый кластер представляет некоторую операционную область системы, и число кластеров, найденных в данных, определяет число нечетких продукционных правил.

Функции принадлежности нечетких множеств в условной части продукционных правил получаются из нечеткой матрицы разделения **U**, каждый элемент которой характеризует степень принадлежности отдельных наблюдений кластерам. Для получения одномерного нечеткого множества многомерные нечеткие множества проецируются на пространство входных переменных **X** [9].

Существует множество алгоритмов для реализации нечеткой кластеризации. Авторами был выбран алгоритм Густавсона-Кесселя [8-9], поскольку он использует адаптивную норму для каждого кластера. В этом алгоритме при кластеризации оптимизируются не только координаты центров кластеров и матрица нечеткого разбиения, но также и норм-порождающие матрицы для всех кластеров [6, 7, 9]. Это позволяет выделять кластеры различной геометрической формы,

что, учитывая особенности исходных данных (рис. 2), является необходимым условием.

Для кластеризации были взяты реальные значения технологических параметров с измерительных приборов блока из архива SCADA-системы за последние пять лет, характеризующие четыре последовательных жизненных цикла катализатора реактора блока Пакол.

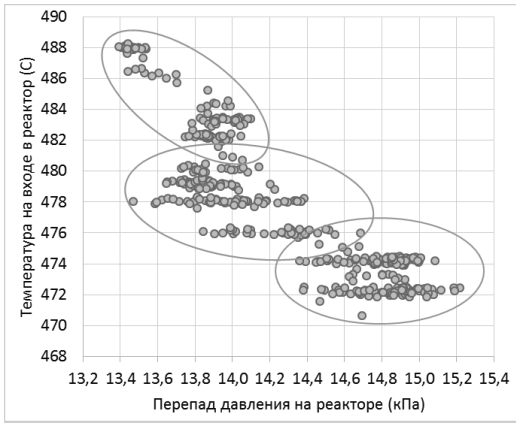


Рис. 2. Исходные данные в координатах температуры на входе в реактор и перепада давления на реакторе

Идентификация нечеткой продукционной модели проводилась в два этапа. На первом этапе определялась степень активности катализатора, на втором – необходимость изменения режимных параметров для стабилизации выхода олефинов из-за падения активности катализатора.

Входными переменными для первого этапа на основании приведенных выше результатов исследования были выбраны: x_{i1} – температура на входе в реактор, x_{i2} – перепад давления на реакторе. Значения входных переменных были взяты из архива SCADA-системы с двухчасовым интервалом за период полного жизненного цикла катализатора (около 16 мес.).

Кластеризация большого массива данных показала, что каждый период работы катализатора можно разбить на три области, поведение технологических параметров внутри которых более подобно друг другу по сравнению с их поведением в других кластерах: «высокая» активность, «средняя» активность, «низкая» активность катализатора. На рис. 2 овалами выделены области, отнесенные к различным кластерам.

Полученные в результате нечеткой кластеризации функции принадлежности были аппроксимированы кривой колоколообразной формы (рис. 3, 4).

На втором этапе были получены функции принадлежности для параметра перепад температуры на реакторе (x_{i3}), устанавливающие принадлежность параметра к терму «низкий», при «высоком», «среднем» и «низком» давлении на входе в реактор (x_{i4}) (рис. 5).

В результате проведенной кластеризации были сформированы нечеткие правила. В общем виде правила выглядят следующим образом:

R_1: ЕСЛИ $x_{i1} = A_{11}$ И $x_{i2} = A_{12}$ И (($x_{i3} = A^1{}_3$ И x_{i4} = «Давление низкое») ИЛИ ($x_{i3} = A^2{}_3$ И x_{i4} = «Давление среднее») ИЛИ ($x_{i3} = A^3{}_3$ И x_{i4} = «Давление высокое»), ТО $y^1{}_1$ и $y^2{}_1$;

R_2: ЕСЛИ $x_{i1} = A_{21}$ И $x_{i2} = A_{22}$ И (($x_{i3} = A^1{}_3$ И x_{i4} = «Давление низкое») ИЛИ ($x_{i3} = A^2{}_3$ И x_{i4} = «Давление среднее») ИЛИ ($x_{i3} = A^3{}_3$ И x_{i4} = «Давление высокое»), ТО $y^1{}_2$ и $y^2{}_2$;

R_3: ЕСЛИ $x_{i1} = A_{31}$ И $x_{i2} = A_{32}$ И (($x_{i3} = A^1{}_3$ И x_{i4} = «Давление низкое») ИЛИ ($x_{i3} = A^2{}_3$ И x_{i4} = «Давление среднее») ИЛИ ($x_{i3} = A^3{}_3$ И x_{i4} = «Давление высокое»), ТО $y^1{}_3$ и $y^2{}_3$.

Правило R_1 соответствует «высокой» активности катализатора реактора, правило R_2 – «средней», а R_3 – «низкой». Это определяется сочетанием входных переменных x_{i1} и x_{i2}. Термы A_{j1} и A_{j2} (j = {1, 2, 3}) характеризуют температуру на входе в реактор и перепад температур на реакторе при различной активности катализатора.

Условия, приведенные в скобках, проверяют не снизился ли перепад температуры (x_{i3}) до «низкого» значения $A^l{}_3$, что указывает на необходимость увеличить температуру на входе в реактор и подачу деионизированной воды, при различных значениях давления в реакторе: l=1 – при «низком» давлении, l=2 – при «среднем» давлении, l=3 – при «высоком» давлении.

По функциям $y^1{}_j$ и $y^2{}_j$ рассчитываются необходимые значения температуры на входе в реактор и расхода деионизированной воды. Результат формируется исходя из вклада каждого правила в общий вывод.

Разработанная продукционная модель позволит избежать субъективного фактора при принятии решения о необходимости изменения параметров, влияющих на процесс, для поддержания выхода олефинов из реактора и продления срока службы катализатора.

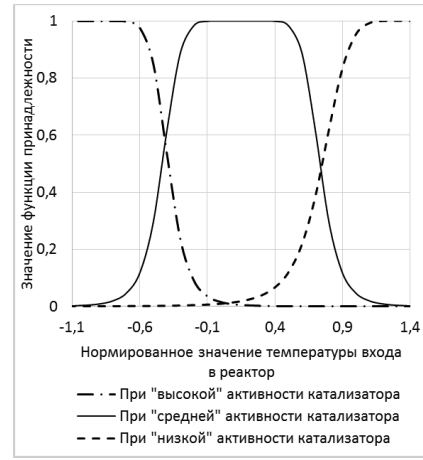


Рис. 3. Функции принадлежности, полученные при кластеризации для параметра температура входа в реактор при «высокой», «средней» и «низкой» активности катализатора

Рис. 4. Функции принадлежности, полученные при кластеризации для параметра перепад давления на реакторе при «высокой», «средней» и «низкой» активности катализатора

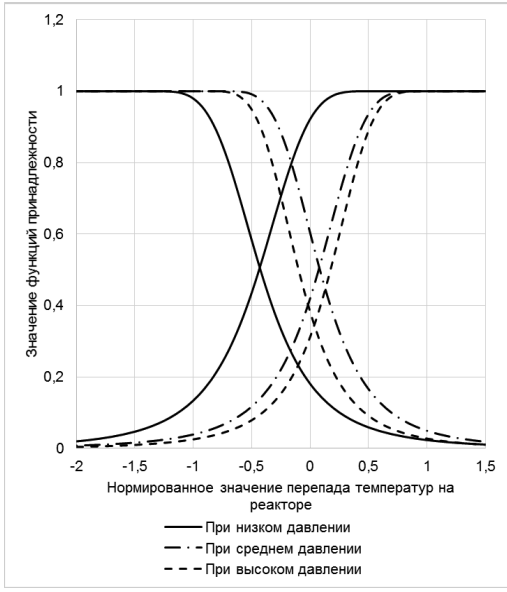


Рис. 5. Функции принадлежности для параметра перепад температуры на реакторе, определяющие его «низкое» и «нормальное» значение при различных значениях давления в реакторе

IV. Заключение

На выход н-моноолефинов и активность катализатора реактора Пакол влияет множество факторов. Увеличение температуры повышает степень превращения н-парафинов, но снижает селективность по моноолефинам из-за образования побочных продуктов и кокса. С уменьшением соотношения числа молей водорода к числу молей углеводородов сырья, с одной стороны, увеличивается конверсия, с другой – снижается срок службы катализатора из-за повышенного образования кокса. Недостаточная влажность уменьшает выход моноолефинов и усиливает образование кокса. Избыточная влажность тоже ведет к снижению образования олефинов.

Результаты проведенных исследований позволили выявить переменные, по которым можно косвенно контролировать выход олефинов и, таким образом, осуществить непрерывный мониторинг производительности установки.

Для поддержания постоянного уровня выхода целевого продукта необходимо увеличивать температуру на входе в реактор. Для сбережения ресурса работы катализатора требуется аккуратно корректировать подачу воды в сырье перед реактором через дозировочный насос.

Система на базе разработанной нечеткой продукционной модели способствует стабилизации выхода целевого продукта процесса производства олефинов за счет:

- непрерывного мониторинга определяющих технологических параметров процесса;
- оценки текущего состояния катализатора по косвенным параметрам;
- определения необходимости изменения текущего режима работы;
- выдачи в систему управления новых рассчитанных системой по продукционным правилам значений температуры на входе в реакторе (для поддержания выхода олефинов) и расхода деионизированной воды в реактор (для продления срока службы катализатора);
- информирования оперативного персонала об изменении состояния процесса.

Список литературы

[1] Баннов П.Г. Процессы нефтепереработки. Ч.2. - М.: ЦНИИТЭнефтехим, 2001. -415 с.

[2] Robert A. Meyers. Handbook of Petroleum Refining Processes. 4th Edition. -New York: McGraw-Hill Education, 2016. -900 p.

[3] UOP Linear Alkylbenzene (LAB) Complex (https://www.honeywell-uop.cn/wp-content/uploads/2011/02/UOP-LAB-Complex-Data-Sheet.pdf).

[4] Осипенко У.Ю., Русинов Л.А. Разработка диагностической модели для диагностики состояния процесса получения олефинов // Известия СПбГТИ(ТУ), 2018. №42. - С. 87-90.

[5] Гурко Н.С., Федоров В.И., Лисицын Н.В. Имитационное моделирование и оптимизация процесса дегидрирования н-парафинов в моноолефины // Автоматизация в промышленности, 2009. №9. - С. 11-14.

[6] Штовба С.Д. Введение в теорию нечетких множеств и нечеткую логику (http://matlab.exponenta.ru/fuzzylogic/bookl/index.php).

[7] Alcalá R., Alcalá-Fdez J., Casillas J., Cordón O., Herrera F. Local identification of prototypes for genetic learning of accurate tsk fuzzy rule-based system // International Journal of Intelligent Systemc, 2007. V.22. - P.909-941.

[8] Алтухов А. В. Формирование нечетких правил типа takagi-sugeno по результатам нечеткой кластеризации // Вестник ВГУ, серия: Системный анализ и информационные технологии, 2008. № 1. - С.44-50.

[9] Mendonca L.F., Sousa J.M.C., Sáda Costa J.M.G. An architecture for fault detection and isolation based on fuzzy methods // Expert Systems with Applications, 2009. V.36. - P.1092-1104.

Синтез алгоритмов определения смазанности изображений

Свиридов В.П.
Кафедра «Электронные системы и информационная безопасность»
Самарский государственный технический университет
г. Самара, Россия
svlad_48@mail.ru

Лазарев Ю.Н.
Кафедра «Математические методы и информационные технологии»
СамГМУ
г. Самара, Россия
jnlaz@yandex.ru

***Abstract* — The questions of automatic detection and determination of motion blur parameters are considered. Such problems arise in the formation of optical-electronic systems images of moving scenes and often there is a blur of the image in the form of blur in the direction of motion (motion blur).**

Spectral and gradient algorithms developed by the authors are presented, their comparative analysis is carried out, advantages and disadvantages are noted. An example of using a gradient algorithm for matching the velocities of the image and the charge packets of the photodetector matrix with a charge bond in the time delay and accumulation mode is considered.

This article presents the algorithms developed by the authors to quantify the amount of image blur in real time, and provides some results of their computer research.

Ключевые слова — размытие, движение изображения, ядро смаза, кепстр изображения, алгоритмы определения смазанности, компенсация смаза.

I. Введение

При формировании оптико-электронными системами (ОЭС) изображений движущихся сцен зачастую возникает размытие изображения в виде размытия в направлении движения (motion blur), величина которого зависит от скорости и времени экспонирования. Решение задач автоматического детектирования размытия движения (смаза) и расфокусировки изображений востребовано во многих областях. Это и отбор качественных изображений в базах данных, технологии оптического распознавания текста [1], автоматическая стабилизация изображений [2, 3], восстановление смазанных движением изображений при «неслепой» деконволюции [4, 5]. Особую актуальность этот вопрос приобретает в бортовых ОЭС дистанционного наблюдения земной поверхности из космоса при использовании режима временной задержки и накопления в фотоприемной матрице на приборах с зарядовой связью (ВЗН ФПЗС), где для устранения смазанности необходимо согласование скорости движения изображения и переноса зарядов в фотоприемной матрице [6, 7]. Имеется большое количество публикаций, в которых рассматриваются методы программной компенсации расфокусировки и смазанности изображений [8-10], однако вопрос оценки ядра смаза непосредственно по регистрируемому изображению исследован на наш взгляд недостаточно глубоко.

II. Основная часть

Для изображения $f(x,y)$, движущегося по законам $x_0(t)$ и $y_0(t)$ смазанное изображение $g(x,y)$ определяется интегралом по времени экспозиции T. С учетом шумовой компоненты, которая присуща цифровым сенсорам, запишем:

$$g(x,y) = \int_0^T f(x - x_0(t), y - y_0(t))dt + n(x,y)$$

Как правило, шум $n(x,y)$ является Гауссовым, задается двумя параметрами – средним значением и дисперсией, а также является аддитивным, не коррелирует с изображением и не зависит координат пикселя [11]. Перейдя с помощью двумерного преобразования Фурье в частотную область получим:

$$G(u,v) = F(u,v)\int_0^T e^{-2\pi i(ux_0(t)+vy_0(t))}\,dt + N(u,v).$$

Интеграл представляет собой Фурье-образ ядра смаза:

$$H(u,v) = \int_0^T e^{-2\pi i(ux_0(t)+vy_0(t))}\,dt.$$

Поскольку умножение в частотной области эквивалентно пространственной свертке можно записать:

$$G(u,v) = F(u,v)H(u,v) + N(u,v)$$

$$\Leftrightarrow\ g(x,y) = f(x,y) * h(x,y) + n(x,y). \qquad (1)$$

Так, при поступательном движении бортовой ОЭС вместе с аппаратом в направлении оси x:

$$x_0(t) = \frac{l}{T}t,$$

где l - смещение изображения за время экспонирования, Фурье-образ ядра смаза имеет вид:

$$H(u,v) = \int_0^T e^{-2\pi i(\frac{ult}{T})}\,dt = \frac{T}{\pi ul}\sin(\upsilon\lambda)e^{-i\pi ul}$$

В пространственной области размытие в этом случае возникает только по оси X:

$$h(x) = \begin{cases} 1/l & \text{при } x \in [-l, 0] \\ 0 & \text{при } x \notin [-l, 0] \end{cases}$$

©2019 ИПУСС РАН, СамГТУ, IEEE

В общем случае ядро смаза в пространственной области эквивалентно функции рассеяния точки (ФРТ, point spread function, PSF), которое определяет размытость изображения. Причинами возникновения размытости могут служить не только движение изображения, но и плохая фокусировка, аберрации объектива и другие факторы. Размытость за счет движения искажают форму ФРТ, так кружок рассеяния переходит в эллипс, главная диагональ которого совпадает с направлением движения. В случае «идеального» смаза, когда причиной размытости является только линейное движение изображения, ядро смаза представляет отрезок прямой в направлении движения.

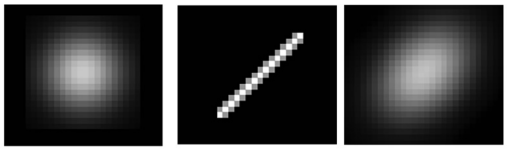


Рис. 1. ФРТ в виде кружка рассеяния, отрезка прямой и эллипса при наличии смаза

Имеется несколько подходов для синтеза алгоритмов оценки смазанности изображения [12]: на основе вычисления градиента, градиент или первая производная изображения напрямую зависит от резких яркостных перепадов на границах областей; на основе оценки лапласиана, лапласиан или вторая производная пропорциональна количеству резких границ на изображении; на основе анализа частотной области спомощью вейвлет-преобразований или дискретных Фурье-преобразований, поскольку смазанность приводит к срезу высокочастотной области и появлению своеобразной «ряби» в спектре, алгоритмы, основанные на преобразовании Радона. Алгоритмы, основанные на преобразовании Радона достаточно точные, но требует значительных вычислительных затрат по времени. Методы на основе оценки лапласиана хорошо работают на изображениях, содержащих множество резких границ, например фотографиях текстовых документов. На бытовых и природных ландшафтах более эффективны спектральные и градиентные методы [13].

В данной статье представлены разработанные авторами алгоритмы, позволяющие количественно оценить величину смазанности изображения в реальном времени, и приводятся некоторые результаты их компьютерного исследования. Алгоритмы отрабатывались в среде МАТЛАБ.

В качестве исходного материала использовались снимки поверхности с борта КА, а также видео бегущей поверхности Земли из космоса формата mp4 пр съемке в надир. Смаз исходного полутонового изображения формировался с помощью функции PSF = fspecial ('motion', LEN, THETA), где параметр LEN задает длину смаза, а THETA – угловое направление смаза. Задаваемый диапазон :LEN от 1 до 20 пик, THETA – от 0 до 360 град. Проведено несколько десятков экспериментов для различных сюжетов и параметров смаза с целью сопоставления эффективности исследуемых алгоритмов. Для иллюстрации работы алгоритмов в статье использовано тестовое полутоновое изображение здания со множеством резких прямолинейных границ (рис.2).

Синтезированы и исследованы три алгоритма - два спектральных и градиентный алгоритм (ГА). К спектральным относятся: алгоритм, основанный на вычислении кепстра (КА - кепстральный алгоритм) и алгоритм непосредственного вычисления ядра смаза (АЯ).

Алгоритм КА основан на кепстральном представлении изображения [14] с использованием быстрого преобразования Фурье (БПФ) для вычисления кепстра по формуле:

$$Cepstr = F^{-1}[log|G(u,v)|],$$

где оператор F^{-1} – представляет обратное Фурье-преобразование.

Рассмотрим изменения спектра и кепстра смазанного движением изображения. На спектре смазанного изображения происходит ослабление высокочастотных составляющих в направлении смаза и хорошо просматриваются нулевые линии, перпендикулярные направлению смаза, расстояние между которыми обратно пропорционально величине смаза (см. рис. 2). Кепстр смазанного изображения преобразует эти линии, формируя отрицательные пики (светлые точки на изображениях), которые расположены симметрично относительно центра кепстральной плоскости, где расположено начало координат, в направлении смаза.

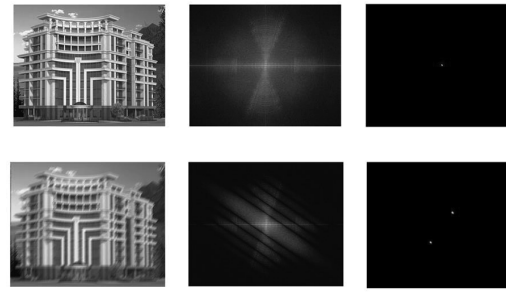


Рис. 2. Изменения изображения Zdanie, его спектра и кепстра при наличии смазывания за счет движения с параметрами LEN=25, THETA=50гр.

Расстояние l от начала координат до отрицательных пиков пропорционально длине смаза. Обозначим координаты правого верхнего пика на рисунке 2 h_x и h_y. Тогда параметры ядра смаза определяются так: длина смаза

$$l = \sqrt{(h_x)^2 + (h_y)^2},$$

направление смаза

$$\varphi = \mathrm{arctg}(h_y/h_x).$$

Компьютерное испытание алгоритма подтвердило его эффективность. Время вычисления кепстра полутонового изображения 512×512 процессором AMD Athlon 2,3 GHz составляет 66 мс.

Достоинство алгоритма в том, что он работает непосредственно с искаженным изображением и не требует в качестве опорного неискаженное смазом изображение.

Недостатки связаны с наличием зоны нечувствительности, которая составляет несколько пикселей, невысокой точностью и чувствительностью к шуму. Кроме того алгоритм плохо работает при наличии расфокусировки, когда ФРТ имеет эллиптическую структуру, либо смаз обусловлен движением по кривой или вращением (нелинейный смаз).

Рассмотрим второй спектральный алгоритм АЯ, основанный на непосредственном вычисления ядра смаза. Для частотной области выражение (1) имеет вид:

$$G(u,v) = F(u,v) \cdot H(u,v) + N(u,v)$$

Поделив обе части выражения на спектр исходного изображения получим:

$$H(u,v) = \frac{G(u,v)}{F(u,v)} - \frac{N(u,v)}{F(u,v)}$$

Для спектра шума характерны высокие частоты, поэтому, если выполнить низкочастотную фильтрацию изображений с помощью шумоподавляющих масок и ограничить спектры низкочастотными составляющими, поучим приближенное равенство:

$$H(u,v)' \simeq \frac{G(u,v)'}{F(u,v)'} \qquad (2)$$

Выполнив обратное преобразование Фурье от (2) найдем ядро смаза:

$$h(x,y) = F^{-1}\left(\frac{G(u,v)'}{F(u,v)'}\right) \qquad (3)$$

На рис. 3 представлен результат работы алгоритма АЯ для смазанного изображения Gorod (512×512) с параметрами смаза: LEN=42, theta=45 гр..

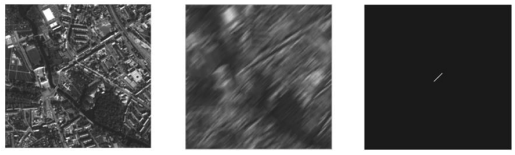


Рис. 3. Смаз изображения Gorod и сформированное алгоритмом АЯ ядро смаза

Для работы данного алгоритма требуется два изображения: неискаженное и искаженное смазом. Вычисляются два прямых Фурье-преобразований, их отношение и обратное Фурье-преобразование. Время вычисления ядра смаза процессором AMD Athlon 2,3 GHz составляет 137 мс.

Достоинством алгоритма АЯ является возможность работы визуализации ядра смаза, что представляет интерес при наличии расфокусировки и нелинейном смазе. Недостатки – подверженность действию шумов и невысокая точность определения параметров ядра смаза.

Наилучшие экспериментальные результаты при оценке небольших смазов показал градиентный алгоритм ГА. Его работа основана на существенном ослаблении пространственных частот и яркостных градиентов динамического изображения в направлении движения [16,17]. Алгоритм ГА оценивает среднее значение квадрата первой производной по двум ортогональным направлениям X и Y. Численное взятие производной основано на аппарате конечных разностей. Вычисляются два массива интегральных градиентов по строкам и столбцам дискретного изображения:

$$Gr_x = \sum_y (f(x,y) - f(x+1,y))^2, \qquad x \in \{0,\dots,m\}, y \in \{0,\dots,n-1\};$$

$$Gr_y = \sum_x (f(x,y) - f(x,y+1))^2, \qquad x \in \{0,\dots,m-1\}, y \in \{0,\dots,n\}.$$

Поскольку смаз ослабляет яркостные перепады в направлении движения, его оценка должна быть обратной средней величине градиентов. Относительные оценки смаза по направлениям X и Y вычисляются по формулам

$$SmazX = 1/\overline{Gr_x}; \quad SmazY = 1/\overline{Gr_y}.$$

По этим оценкам можно определить направление и величину смаза. Алгоритм не требует наличия неискаженного смазом изображения. Достоинство алгоритма заключается в более высоким быстродействием по сравнению со спектральными, а также возможности оценки субпиксельных смазов. Недостаток связан с относительным характером оценок смаза изображения. На рис. 4 представлена диаграмма сравнительной оценки определения смаза кепстральным и градиентным алгоритмами.

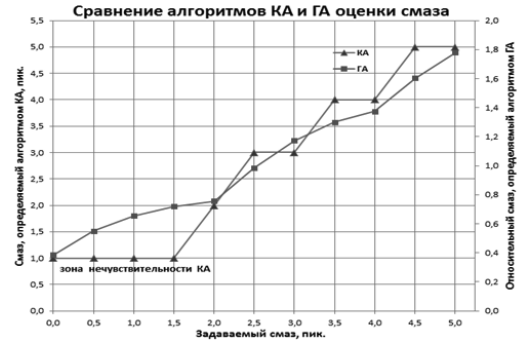


Рис. 4. Зависимость оценки от величины смаза для алгоритмов ГА и КА

Из диаграммы видно, что кепстральный алгоритм обладает некоторой зоной нечувствительности к малым смазам и дискретным характером отсчетов, что не позволяет использовать его для определения субпиксельных смазов. Градиентный алгоритм обладает хорошей чувствительностью в области малых смазов, составляющих доли пикселя, но оценивает смаз в относительных единицах и обладает некоторой нелинейностью.

Рассмотрим пример применения градиентного алгоритма для согласования скоростей движения изображения и зарядовых пакетов ФПЗС в режиме ВЗН. Стандартные методы оценивания параметров движения динамических систем и последующего прямого расчета скоростей сдвига изображений не всегда обеспечивают необходимую точность и приводят к недопустимо большому смазу изображений [15]. В этом случае возникает необходимость согласования скоростей и компенсации смаза непосредственно по регистрируемому изображению (рис. 5):

Рис. 5. Структура системы компенсации смаза

Системы такого рода относятся к классу следящих систем. Они основаны на динамическом согласовании скоростей для последовательности регистрируемых изображений по оценке и достижению минимальных величин смаза.

III. Заключение

Сравнительный анализ представленных алгоритмов позволяет сделать следующие выводы. Спектральные алгоритмы КА и АЯ имеют некоторые зоны нечувствительности к малым смазам. Они позволяют определять значительные смазы динамических изображений, измеряемые в несколькими пикселями.. КА, в отличие от АЯ не требует наличия несмазанного изображения, но он работает только при линейном смазе. АЯ позволяет визуализировать форму ядра смаза. ГА обладает более высоким быстродействием и позволяет получать относительную оценку субпиксельных смазов. Его целесообразно использовать при детектировании небольших смазов.

Представленные в статье алгоритмы оценки параметров смазанности динамических изображений могут быть реализованы как программно на универсальных микропроцессорах, так и с использованием современной микроэлектронной базы. Компьютерные исследования показали их эффективность и работоспособность в реальном масштабе времени.

Список литературы

[1] Костюков М.В. детектор смазанности и расфокусировки на основе модели текста.Электронный научный журнал: «Современные проблемы науки и образования» - 2013. - №4. URL: https//www.science-education.ru

[2] Еськов Д.Н., Ларионов Ю.П., Новиков В.А. Автоматическая стабилизация оптического изображения./Под общ.ред. Еськова Д.Н., Новикова В.А.. –Л.: Машиностроение. Лениенгр. Отделение,1988. -240 с.:ил..

[3] Ушольд А Системы стабилизации изображения//Foto&Video/ 2007/ С/76-81.

[4] Титков Б.В., Комраков Д.Н., Краснов А.С., Конышев А.С. Компенсация линейного скоростного смаза изображений //Труды военно-космической академии им. А.Ф.Можайского.2012.№ 636. С.50-53.

[5] Переславцева Е.Е., Филипов М.В. Двухфазная оценка ядра для устойчивого к ошибкам восстановления изображения, смазанного при движении / Вестник МГТУ им.Н.Э. Баумана. Сер. «Приборостроение». 2012. №1(1). С. 136-148.

[6] Егошкин Н.А., Еремеев В.В. Коррекция смаза изображений в системах космического наблюдения земли // Цифровая обработка сигналов. 2010. №4. С. 28-32.

[7] Кузнецов П.К., Мартемьянов Б.В. Математическая модель формирования видеоданных, получаемых с использованием сканирующей съемки // Известия Самарского научного центра Российской академии наук.2014, т.16, №6. С 292-299.

[8] Кузнецов П.К., Семавин В.И., Солодуха А.А. Алгоритм компенсации скорости смаза изображения подстилающей поверхности, получаемого при наблюдении Земли из космоса / Вестник Сам.ГТУ, 2005. №37. С. 150-157.

[9] Батищев В.И., Волков И.И.. Золин А.Г. Синтез фильтров для восстановления смазанных изображений с использованием методов регуляризации // Проблемы управления и моделирования в сложных системах (ПУМСС-2013): труды XVМеждународной конференции ИПУСС РАН. Самара, 2013.

[10] Свиридов В.П., Сбродов В.В., Лазарев Ю.Н., Лазарев Н.Ю. Корреляционный измеритель смаза изображения / Авиакосмическое приборостроение. 2015. №7. С. 39-47.

[11] Мосягин Г.М. и др. Теория оптико-электронных систем. – М.: Машиностроение, 1990. – 432 с.: ил.

[12] Ватаманюк И.В., Ронжин А.Л. Применение методов оценивания размытости цифровых изображений в задаче аудиовизуального мониторинга // Информационно-управляющие системы, №4 (71). 2014. С. 16-23.

[13] Афиногенов Е.И., Волосатова Т.М., Сельвесюк Н.И., Чичварин Н.В. Метод системного анализа аппаратуры и режимов аэрофоторазведки // МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электронное научно-техническое издание: «Наука и образование». 2011.URL: http://www.technomag.edu.ru/doc/261314.html

[14] Бьемон Ж., Лагендейк Л., Мерсеро Р.М. Итерационные методы улучшения изображений // ТИИЭР, 1990. - №5.

[15] Миллер Б.М., Рубинович Е.Я. Компенсация сдвига изображения при съемке с использованием ПЗС в режиме задержки и интегрирования // Информационные процессы. Том 7, №1, 2007. С. 45-54.

[16] Свиридов В.П. Частотно-растровый метод преобразования оптической информации / Математическое моделирование и краевые задачи: М33 Труды пятой Всероссийской научной конференции с международным участием. Ч.4: Информационные технологии в математическом моделировании. – Самара: СамГТУ, 2008.-с.117-120

[17] Карнаухов В.Н., Мозеров М.Г. Восстановление мультиспектральных изображений методом реконструкции градиентов и оценка параметров смаза на основе модели многоцелевого согласования // Информационные процессы, Том 16, № 2, 2016,- С. 162–169.

Научные основы построения и реализация системы измерения параметров ветра и воздушных сигналов на борту одновинтового вертолета в условиях аэродинамических возмущений вихревой колонны несущего винта

Солдаткин В.М.
Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ
Казань, Россия
w-soldatkin@mail.ru

Солдаткин В.В.
Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ
Казань, Россия
w-soldatkin@mail.ru

Никитин А.В.
Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ
Казань, Россия
nikitin.rf@mail.ru

***Abstract* —The importance and problem of measuring the velocity and angle of the wind direction and air signals that determine the movement relative to the ambient air on board a single-rotor helicopter in the conditions of aerodynamic perturbations of the vortex column of main rotor are analyzed.**

The proposed original approach to the measurement of wind parameters and air signals on board a single-rotor helicopter due to the use, for the purpose of measuring, the information about aerodynamic field of vortex column of main rotor the is revealed. The mathematical description of the used informative signals and their allocation is carried out.

The functional scheme and algorithms for processing informative signals and determining the parameters of wind and air signals in the channels of the system at the characteristic operating modes of a single-rotor helicopter are revealed. The data of the instrumental errors of the experimental samples of the system and providing noise immunity when combined with an aeromechanical measuring and computing system with a Luenberger observer are presented.

Ключевые слова — одновинтовой вертолет, ветер, воздушные сигналы, измерение, вихревая колонна, аэродинамические возмущения, бортовая система, построение, научные основы, функциональная схема, алгоритмы, режимы эксплуатации, оценка погрешностей, пути уменьшения.

I. Введение

В различных отраслях промышленности, в энергетике и строительстве, в военных и других целях широкое применение находят одновинтовые вертолеты различных классов и назначения. Полеты одновинтовых вертолетов происходят в приземном возмущенном слое атмосферы и для обеспечения безопасности эксплуатации и эффективности применения необходима достоверная информация о барометрической высоте и приборной скорости, о составляющих вектора истинной воздушной скорости и числе Маха, о других воздушных параметрах, определяющих движение вертолета относительно окружающей воздушной среды [1, 2]. При этом на стоянке, при рулении и маневрировании по земной поверхности (стартовые режимы), на этапах взлета и набора высоты, посадки, снижения, висения (взлетно-посадочные режимы) и на ряде полетных режимах для выполнения требований, регламентированных Руководство по летной эксплуатации (РЛЭ) вертолета, и предотвращения авиационных происшествий необходима достоверная информация о текущем значении скорости и угла направления вектора ветра относительно продольной оси вертолета, о давлении и плотности атмосферы [2, 3].

Измерение воздушных параметров движения одновинтового вертолета и состояния атмосферы на стоянке, стартовых, взлетно-посадочных и полетных режимах бортовыми средствами затрудняется значительными аэродинамическими возмущениями, вносимыми индуктивными потоками несущего винта. При этом способность одновинтового вертолета совершать движение вперед-назад, вправо-влево, полеты на малых и околонулевых скоростях и на режиме висения, при изменении угла скольжения в диапазоне ±180º ограничивает использование традиционных средств измерения [4, 5].

II. Оригинальный подход к измерению параметров ветра и воздушных сигналов на борту одновинтового вертолета

Возможности по преодолению указанных ограничений открываются при использовании для целей измерения воздушных параметров движения и атмосферы на стоянке, стартовых, взлетно-посадочных и полетных режимах вертолета информации аэродинамического поля вихревой колонны несущего винта [6, 7].

В качестве информативного параметра аэродинамического поля вихревой колонны несущего винта предложено [7] использовать вектор скорости $\boldsymbol{V}_\Sigma$ результирующего воздушного потока вихревой колонны несущего винта в виде:

$$\boldsymbol{V}_\Sigma = \boldsymbol{V} + \boldsymbol{V}_i + \boldsymbol{V}_\Phi, \qquad (1)$$

где $\boldsymbol{V}$ – стационарная составляющая, обусловленная поступательным движением вертолета относительно воздушной среды; $\boldsymbol{V}_i$ – стационарная составляющая скорости индуктивного потока и воздушного потока за

Работа выполнена по гранту РФФИ №18-08-00264

©2019 ИПУСС РАН, СамГТУ, IEEE

счет тяги несущего винта; $\boldsymbol{V}_\Phi$ – флуктуационная составляющая, обусловленная маховыми движениями лопастей и работой автомата перекоса.

Круговые частоты флуктуационных составляющих вектора скорости $\boldsymbol{V}_\Phi$ кратны угловой скорости вращения несущего винта, поэтому вектор флуктуационной скорости $\boldsymbol{V}_\Phi$ результирующего воздушного потока вихревой колонны может быть выделен и в значительной степени отфильтрован от составляющих $\boldsymbol{V}$ и $\boldsymbol{V}_i$ в каналах системы воздушных параметров движения вертолета и атмосферы.

На рис. 1 приведена запись флуктуационной составляющей модуля вектора скорости результирующего воздушного потока вихревой колонны несущего винта, полученной при летных испытаниях системы воздушных сигналов вертолета СВС-В28, выполненной на основе свободно ориентированного приемника воздушных давлений, установленного в зоне вихревой колонны несущего винта одновинтового вертолета Ми-28 [7].

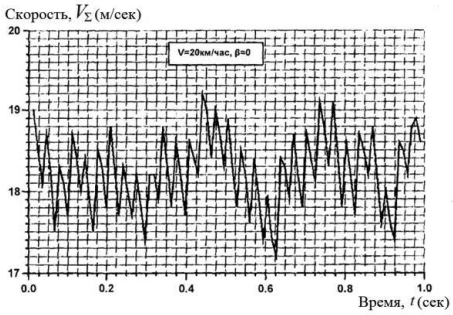


Рис. 1. Записи флуктуаций скорости результирующего воздушного потока вихревой колонны несущего винта, воспринимаемой аэрометрическим приемником системы воздушных сигналов одновинтового вертолета до цифровой фильтрации

Как показывает анализ, спектральная плотность помех от флуктуационной составляющей модуля V_Σ определяется интервалом частот $f_{\Phi i}$=0.8…1 ГЦ, вследствие чего модуль V_Σ вектора скорости результирующего воздушного потока вихревой колонны несущего винта имеет рассеяние, среднеквадратическое значение которого можно оценить величиной $\sigma_{\Delta V_\Sigma} \approx 7{,}5\ км/ч$.

На рис. 2 показаны флуктуации модуля V_Σ вектора скорости результирующего воздушного потока вихревой колонны несущего винта СВС-В28 при использовании цифрового фильтра, описываемого разностным уравнением

$$y_n = \frac{\Delta^2\left(x_n + 2x_{n-1} + x_{n-2}\right) + 2\left(4T - \Delta\right)y_{n-1}}{4T^2 + 4\xi T\Delta + \Delta^2} - \frac{\left(4T^2 - 4\xi T\Delta + \Delta^2\right)y_{n-2}}{4T^2 + 4\xi T\Delta + \Delta^2},$$

где Δ – интервал дискретизации (шаг счета вычислителя); x_n, x_{n-1}, x_{n-2} и y_n, y_{n-1}, y_{n-2} – значения входного и выходного сигналов фильтра, соответствующих моментам времени t_n=$n\Delta$, t_{n-1}=$n\Delta$–Δ, t_{n-2}=$n\Delta$–2Δ; начальные условия x_{n-1}=x_{n-2}=0; y_{n-1}, y_{n-2}=0; y_0=x_0; T=0,5 с; ξ=0,7.

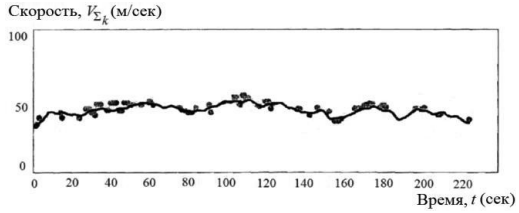


Рис. 2. Записи флуктуаций скорости результирующего воздушного потока вихревой колонны несущего винта, воспринимаемой аэрометрическим приемником системы воздушных сигналов одновинтового вертолета после цифровой фильтрации

Как видно из рис. 2 рассеяние скорости результирующего воздушного потока вихревой колонны несущего винта при использовании рекурсивного фильтра второго порядка существенно уменьшается и определяется среднеквадратическим значением $\sigma_{\Delta V_\Sigma} \approx 3{,}7\ км/ч$.

Тогда информативным параметром аэродинамического поля вихревой колонны несущего винта будет являться отфильтрованный от флуктуационных составляющих вектор скорости $\boldsymbol{V}_\Sigma$ результирующего воздушного потока вихревой колонны в виде геометрической суммы

$$\boldsymbol{V}_\Sigma = \boldsymbol{V} + \boldsymbol{V}_i = \boldsymbol{V}_i - \boldsymbol{V}_\text{В}, \qquad (2)$$

где $\boldsymbol{V}_\text{В} = -\boldsymbol{V}$ – вектор истинной воздушной скорости вертолета.

Для восприятия информативных параметров аэродинамического поля вихревой колонны несущего винта в работах [7, 8] предложено использовать неподвижный многофункциональный аэрометрический приемник.

Приемник включает многоканальный проточный аэрометрический приемник[9], выполненный в виде двух разнесенных по высоте экранирующих дисков, между внутренними профилированными поверхностями которых в азимутальной плоскости под одинаковыми углами расположены трубки полного давления для забора давлений. На внутренних поверхностях экранирующих дисков расположены кольцевые канавки для восприятия осредненного дросселированного статического давления и отверстия для забора давлений, для определения угла направления вектора скорости в вертикальной плоскости. По воспринимаемым давлениям по разработанным алгоритмам [7] определяются воздушные сигналы одновинтового вертолета при нахождении многоканального проточного аэрометрического приемника вне вихревой колонны несущего винта.

Однако построение неподвижного многоканального аэрометрического приемника на основе многоканального проточного аэрометрического приемника связано с необходимостью защиты большого

числа трубок полного давления, установленных в его проточном канале, от обледенения, попадания пыли и влаги в реальных условиях эксплуатации вертолета. Многоканальная схема преобразования воспринимаемых давлений обусловливает жесткие требования к идентичности и стабильности характеристик аэрометрических измерительных каналов. Все это снижает надежность, усложняет конструкцию, повышает стоимость, сдерживает применение системы измерения воздушных параметров движения и атмосферы на одновинтовых вертолетах.

III. СИСТЕМА ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ВЕТРА И ВОЗДУШНЫХ СИГНАЛОВ НА БОРТУ ОДНОВИНТОВОГО ВЕРТОЛЕТА С ИОННО-МЕТОЧНЫМИ И АЭРОМЕТРИЧЕСКИМИ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫМИ КАНАЛАМИ

Для устранения недостатков системы измерения воздушных сигналов одновинтового, построенной на основе неподвижного многофункционального приемника предлагается система, функциональная схема которой приведена на рис. 3 [10].

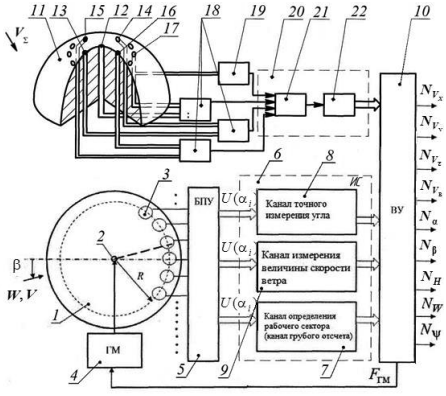


Рис. 3. Функциональная схема системы измерения параметров ветра и воздушных сигналов одновинтового вертолета с ионно-меточными и аэрометрическими измерительными каналами

В этом случае система измерения воздушных параметров движения вертолета и атмосферы выполняется по двухканальной схеме и включает ионно-меточный и аэрометрический измерительные каналы.

В качестве ионно-меточного канала используется панорамный ионно-меточный датчик аэродинамического угла и воздушной скорости [10], включающий плату *1* с системой приемных электродов *3*, в центре которой установлен искровой разрядник *2*, подключенный к генератору меток (ГМ) *4*. При подаче на высоковольтный разрядник *2* высоковольтного импульса от генератора меток (ГМ) формируется ионная метка с явно выраженным электростатическим зарядом, которая движется совместно с набегающим воздушным потоком, приобретая его скорость V и направление α. При приближении заряженной ионной метки к приемным электродам *3*, расположенным на окружности радиусом R, на них наводятся электростатические заряды, величина которых зависит от расстояния R от точки генерации ионной метки до приемного электрода и углового положения ψ траектории движения метки.

Для восприятия информации результирующего воздушного потока вихревой колонны несущего винта на поверхности полусферического аэрометрического приемника *11* (рис. 2) расположены отверстия *12* для забора полного давления $P_{П\Sigma}$ результирующего воздушного потока вихревой колонны несущего винта, отверстия *13*, *14* и *15*, *16* для забора давлений P_1, P_2 и P_3, P_4, определяющих углы φ_1 и φ_2 положения вектора скорости $\boldsymbol{V}_\Sigma$ относительно оси симметрии полусферического приемника в плоскости, параллельной продольной оси вертолета, и в плоскости, перпендикулярной продольной оси вертолета, а также отверстия *17* для забора статического давления $P_{СТ\Sigma}$ результирующего воздушного потока вихревой колонны несущего винта.

Воспринимаемые давления $P_{П\Sigma}$, P_1, P_2 и P_3, P_4, $P_{СТ\Sigma}$ с помощью пневмоэлектрических преобразователей перепада давлений *18* и преобразователя абсолютного давления *19* преобразуются в электрические сигналы, которые через канал *20* аналого-цифрового преобразования, включающего мультиплексор *21* и АЦП *22*, подаются в вычислительное устройство *10*, на выходе которого по разработанным алгоритмам формируются цифровые сигналы по воздушным параметрам движения вертолета и атмосферы.

IV. АЛГОРИТМЫ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ КАНАЛОВ СИСТЕМА ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ВЕТРА И ВОЗДУШНЫХ СИГНАЛОВ ОДНОВИНТОВОГО ВЕРТОЛЕТА НА РАЗЛИЧНЫХ ЭТАПАХ И РЕЖИМАХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

На стоянке до запуска силовой установки входными сигналами ионно-меточных измерительных каналов являются скорость $W_г$ и угол направления ψ вектора горизонтального ветра $\boldsymbol{W}_г$ относительно продольной оси вертолета, которые необходимы для предотвращения опрокидывания вертолета на бок или на хвостовую балку [3].

При попадании траектории ионной метки в i-ый грубый канал текущее значение угла ψ направления горизонтального ветра $W_г$ определяется как

$$\psi = i\alpha_0 + \alpha_р, \qquad (3)$$

где α_0 – угол, охватывающий рабочий сектор грубого канала отсчета (при $i_{max} = 4$, $\alpha_0 = 90$); i – номер рабочего сектора ($i = \overline{1,4}$); $\alpha_р$ – значение измеряемого угла в пределах i-го рабочего сектора.

Сигналы $U(\alpha_i)$, пропорциональные синусу $Usin\alpha_i$ и косинусу $Ucos\alpha_i$ измеряемого угла ψ в i-ом рабочем секторе грубого канала и снимаемые с блока предварительных усилителей БПУ, обрабатываются в вычислительном устройстве ВУ, на выходе которого формируется цифровой код, связанный со значение $\alpha_р$ измеряемого угла в пределах рабочего сектора точного канала соотношением

$$\alpha_p = arctg\,\frac{U\sin\alpha_i}{U\cos\alpha_i}, \qquad (4)$$

где α_i – текущее значение измеряемого угла в пределах i-го рабочего сектора.

При работе канала измерения скорости $W_г$ вектора горизонтального ветра $\boldsymbol{W}_г$ формируется интервал времени τ_W пролета ионной метки расстояния R от точки генерации *0* ионной метки до окружности с приемными электродами. В соответствии с интервалом времени τ_W в вычислительном устройстве вырабатывается цифровой код N_W, пропорциональный величине скорости горизонтального ветра в соответствии с алгоритмом

$$W_г = \frac{R}{\tau_W}. \qquad (5)$$

На стоянке при запуске силовой установки и вращении несущего винта, при рулении и маневрировании по земной поверхности, на взлетно-посадочных режимах в работу включается второй – аэрометрический канал, выполненный на основе неподвижного полусферического аэрометрического приемника, жестко установленного над системой приемных электродов ионно-меточного датчика аэродинамического угла и воздушной скорости.

По полному $P_{ПΣ}$ и статическому $P_{СТΣ}$ давлениям и температуре $T_{TΣ}$ торможения результирующего воздушного потока вихревой колонны несущего винта, воспринимаемой приемником температуры торможения, установленным на фюзеляже в зоне действия вихревой колонны несущего винта можно определить величину (модуль) вектора скорости $\boldsymbol{V}_Σ$ результирующего воздушного потока вихревой колонны несущего винта, используя соотношение [7]:

$$V_Σ = 44{,}826\sqrt{\frac{T_{TΣ}\left[\left(\frac{P_{ПΣ}-P_{СТΣ}}{P_{СТΣ}}+1\right)^{0{,}2857143}-1\right]}{\left(\frac{P_{ПΣ}-P_{СТΣ}}{P_{СТΣ}}+1\right)^{0{,}2857143}}}, \qquad (6)$$

где параметры, входящие в формулу (6) имеют размерности в единицах системы СИ.

Продольная и боковая составляющие V_x, V_z и величина (модуль) $V_в$ вектора истинной воздушной скорости $\boldsymbol{V}_Σ$, углы атаки α и скольжения β вертолета, статическое давление P_H и барометрическая высота H будут определяться соотношениями [7]:

$$\begin{aligned}
&V_x = V_Σ\, sin\left[\frac{1}{2}arcsin\left(\frac{4}{9\,sin\,2\phi_{01}}\frac{P_1-P_2}{P_{ПΣ}-P_{СТΣ}}\right)\right]\times\\
&\times cos\left[\frac{1}{2}arcsin\left(\frac{4}{9\,sin\,2\phi_{02}}\frac{P_3-P_4}{P_{ПΣ}-P_{СТΣ}}\right)\right]-\\
&-K_{ix}V_{i0}-\left(\omega_y z-\omega_x y\right);\\
&V_z = V_Σ\, sin\left[\frac{1}{2}arcsin\left(\frac{4}{9\,sin\,2\phi_{02}}\frac{P_3-P_4}{P_{ПΣ}-P_{СТΣ}}\right)\right]-\\
&-K_{iz}V_{i0}-\left(\omega_x y-\omega_y x\right);\\
&V_в = \sqrt{V_x^2+V_y^2+V_z^2};\ \alpha = \mathrm{arctg}\frac{V_y}{V_x};\ \beta = \mathrm{arsin}\frac{V_z}{V_В};\\
&P_H = P_{СТΣ} - K_p\frac{\rho_Σ V_Σ^2}{2};
\end{aligned} \qquad (7)$$

$$\rho_Σ = \frac{P_{СТΣ}}{287{,}05287T_{TΣ}}\left(\frac{P_{ПΣ}-P_{СТΣ}}{P_{СТΣ}}+1\right)^{0{,}2857143};$$

$$H = \frac{T_0}{\tau}\left[1-\left(\frac{P_H}{P_0}\right)^{\tau R}\right],$$

где P_0=101325 Па и T_0=288,15 К – абсолютное давление и абсолютная температура воздуха на высоте $H = 0$ стандартной атмосферы; R – удельная газовая постоянная воздуха (R = 287,05287 Дж/кг·К); τ – температурный градиент (τ = 0,0065 К/м); $K_р$ – безразмерный коэффициент, определяющий связь $P_{СТΣ}$ и P_H, который определяется при летных испытаниях для конкретного типа вертолета и места установки на фюзеляже неподвижного панорамного ионно-меточного датчика аэродинамического угла и воздушной скорости с установленным на нем осесимметричным полусферическим аэрометрическим приемником; K_{iy} – безразмерный коэффициент, определяемый аналогично K_{ix} и K_{iz}.

Используя информацию о величине $V_п$ и угле сноса $\psi_с$ вектора путевой скорости $\boldsymbol{V}_п$ от доплеровского измерителя скорости и угла сноса (ДИСС) и о составляющих вектора истинной воздушной скорости $\boldsymbol{V}_В$ от аэрометрического канала, продольная W_x, боковая W_z составляющие, величина (модуль) $W_г$ и направление ψ горизонтального вектора ветра $\boldsymbol{W}_г$ на взлетно-посадочных режимах вертолета будут определяться соотношениями [8]:

$$W_x = |V_x| - V_п\cos\psi_с;\ \ W_z = |V_z| - V_п\sin\psi_с;\ \ \psi = \beta + \psi_с;$$

$$W_г = \sqrt{W_x^2+W_z^2}. \qquad (8)$$

При скоростях полета, когда неподвижный датчик первичной информации системы измерения воздушных параметров вертолета с аэрометрическими и ионно-меточными измерительными каналами выходит из зоны вихревой колонны несущего винта для определения воздушных параметров полета вертолета и окружающей среды используется информации аэрометрического и ионно-меточного измерительных каналов.

По информации ионно-меточного измерительного канала по соотношениям, аналогичным (3) – (5) определяются истинная воздушная скорость $\boldsymbol{V}_В$ и угол скольжения β

$$V_в = \frac{R}{\tau_V};\ \ \beta = i\alpha_0 + \alpha_р;\ \ \alpha_р = \mathrm{arctg}\frac{U\,sin\,\alpha}{U\,cos\,\alpha}, \qquad (9)$$

где τ_V – время пролета ионной метки от разрядника до окружности с приемными электродами при данной истинной воздушной скорости $V_В$.

Для определения барометрической высоты H на наружной поверхности платы 1 с приемными электродами (рис. 3) ионно-меточного датчика аэрометрического угла и истинной воздушной скорости располагается отверстие-приемник для забора

статического давления P_H набегающего воздушного потока. Тогда барометрическая высота H будет определяться известным соотношением [7], например, для высоты $H \leq 11000$ м вида

$$H = \frac{T_0}{\tau}\left[1 - \left(\frac{P_H}{P_0}\right)^{\tau R}\right]. \quad (10)$$

Вертикальная воздушная скорость V_y будет определяться путем вычисления производной по времени от барометрической высоты

$$V_y = \frac{dH}{dt} = \frac{H(t_i) - H(t_{i-1})}{t_i - t_{i-1}}, \quad (11)$$

где t_i и t_{i-1} – текущий и предшествующие моменты времени, в которых произведены вычисления барометрической высоты. Возможно использование алгоритма вычисления вертикальной воздушной скорости по большему числу значений барометрической высоты, полученных через фиксированный интервал времени τ, например, вида

$$V_y = \frac{\left[H(t_i) - H(t_i + 2\tau) + H(t_i + \tau) - H(t_i + 3\tau)\right]}{4\tau}. \quad (12)$$

Угол атаки вертолета можно определить, используя соотношение

$$\alpha = \operatorname{arctg}\frac{V_y}{V_x} = \frac{V_y}{V_в \cos\beta}; \quad (13)$$

тем самым обеспечивая измерение параметров ветра и воздушных сигналов одновинтового вертолета на режимах эксплуатации, когда неподвижный датчик первичной информации выходит из зоны вихревой колонны несущего винта.

Как показали результаты испытаний экспериментальных образцов системы в аэродинамической трубе [7, 8], инструментальная погрешность измерения скорости ветра не превышает ±0,55…0,83 м/с, угла направления ветра – ±1,5…2°. Среднеквадратические погрешности измерения истинной воздушной скорости находятся в интервале 3,6±1,1 км/ч, угла скольжения в диапазоне от 0 до 360° – 0,25±1°, абсолютной барометрической высоты – 3,5±0,15 м. Одним из направлений снижения случайных погрешностей измерительных каналов является комплексирование системы с аэромеханической измерительно-вычислительной системой с наблюдателем Люэнбергера [7].

V. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Используя информацию, воспринимаемую неподвижным датчиком первичной информации в виде неподвижного панорамного ионно-меточного датчика аэродинамического угла и воздушной скорости с установленным над его системой приемных электродов полусферическим аэрометрическим приемником, в вычислительном устройстве определяются параметры вектора скорости ветра и другие воздушные сигналы одновинтового вертолета и атмосферы на стоянке при запуске силовой установки и вращении несущего винта, при рулении и маневрировании по земной поверхности, при взлете и наборе высоты, при полете на малых скоростях и на режимах снижении, висения и посадки вертолета.

Разработанные алгоритмы обработки информации позволяют проводить анализ погрешностей и проектирование измерительных каналов системы измерения воздушных параметров движения и атмосферы на борту вертолета с ионно-меточными и аэрометрическими измерительными каналами.

Применение рассмотренной системы измерения воздушных параметров движения и атмосферы на различных классах одновинтовых вертолетов позволяет повысить безопасность эксплуатации и эффективность решения полетных задач.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

[1] Володко А.М. Безопасность полетов вертолетов. М.: Транспорт, 1981. – 233с.

[2] Руководство по летной эксплуатации вертолета Ми-8 (издание 4-ое). М.: Авторитет, 1996. – 554 с.

[3] Ерусалимский М.А., Егоров В.Н. Экипажам вертолета – информационную поддержку // Авиасоюз. 2014. №2(35). – С. 24-25.

[4] Козицин В.К., Макаров Н.Н., Порунов А.А., Солдаткин В.М. Анализ принципов построения систем измерения воздушных сигналов вертолета // Авиакосмическое приборостроение. 2003. №10. – С. 2-13.

[5] Солдаткин В.М. Методы и средства измерения аэродинамических углов летательных аппаратов. – Казань: Изд-во Казан. гос. техн. ун-та, 2001. – 448 с.

[6] Солдаткин В.В. Аэрометрическая система измерения малых воздушных скоростей вертолета на основе информации о положении вихревой колонны несущего винта // Известия вузов. Авиационная техника.2009. №4. – С. 52-56.

[7] Солдаткин В.В. Система воздушных сигналов вертолета на основе неподвижного аэрометрического приемника и информации аэродинамического поля вихревой колонны несущего винта: Монография. – Казань: Изд-во Казан. гос. техн. ун-та, 2012. – 284 с.

[8] Никитин А.В., Солдаткин В.М. Система измерения параметров вектора ветра и истинной воздушной скорости на борту вертолета // Датчики и системы. 2015. №4. С. – 48-54.

[9] Порунов А.А., Солдаткин В.В., Солдаткин В.М. Методология построения и модели информативных сигналов неподвижного многоканального проточного аэрометрического приемника системы воздушных сигналов вертолета // Известия вузов. Авиационная техника. 2010. №4. – С.58-63.

[10] Ганеев Ф.А., Солдаткин В.М. Ионно-меточный датчик аэродинамического угла и воздушной скорости с логометрическими информативными сигналами и интерполяционной схемой обработки // Известия вузов. Авиационная техника. 2010. №3. – С.46-50.

[11] Петунин А.Н. Методы и техника измерения параметров газового потока (приемники давления и скоростного напора). М.: Машиностроение, 1972. – 332 с.

Архитектура системы диагностики и прогнозирования технического состояния роботизированного транспортного средства

Губанов Н.Г.
ФГБОУ ВО СамГТУ
Самара, Россия
nick_g_gubanov@mail.ru

Одинцов В.П.
ФГБОУ ВО СамГТУ
Самара, Россия

Морев А.С.
ООО «Поволжская инженерная академия»
Самара, Россия
artemmorev@poria.ru

Михеев Ю.В.
ООО «Поволжская инженерная академия»
Самара, Россия
yury-mikheev@yandex.ru

Ахтямов Р.Н.
ФГБОУ ВО СамГТУ
Самара, Россия

***Abstract* — The article deals with the development of a system for diagnosing and predicting the robotic vehicle technical condition based on a model-oriented approach and tools for a network concept for monitoring robotic vehicles. It is shown that for constant control over the car components and assemblies technical condition, parametric information on the operation of the car mechanical and electronic components, obtained in real time, is of great importance. A comprehensive analysis of these data allows you to timely prevent the occurrence of failures, breakdowns or situations where a traffic is in a dangerous state. The advantages of the network system introduction to support manned and unmanned vehicles in operation using the concept of operational parametric information centralized storage are considered.**

Ключевые слова — система диагностики, роботизированное транспортное средство, параметрическая информация, техническое состояние

I. Введение

Современные автомобили являются сложными программно-аппаратными комплексами, сочетающими в себе большое количество мехатронных систем, систем управления и регулирования, систем активной и пассивной безопасности, систем поддержки водителя, систем ADAS (поддержки водителя), а также систем взаимодействия как с другими транспортными средствами, так и с объектами инфраструктуры. Развитие и внедрение данных систем повышает сложность конструкции и технологии производства, приводит к увеличению количества компонент и экспоненциальный рост их взаимосвязей, что неизбежно влечет к снижению совокупного интегрального показателя надежности автомобиля.

Системы обработки информации, базирующиеся на моделеориентированном подходе, можно укрупненно разделить на 2 группы: 1) базирующиеся на нейросетевых моделях; 2) определяющие деградацию узлов и элементов на основании комплексных моделей в виде деревьев отказов, логических схем надежности и факторных моделей отказов в виде матриц предотказных состояний [1, 2].

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России в рамках соглашения № 075-15-2019-1364. Уникальный идентификатор проекта RFMEFI57718X0286.

©2019 ИПУСС РАН, СамГТУ, IEEE

Классические модели идентификации деградации и износа (динамические модели предотказного состояния) базируются на информации о ездовом цикле и параметрах динамики автомобиля, при этом имеют в контуре наблюдатель состояния, определяющий рассогласование между модельным и фактическим параметром при переходных процессах и стационарных состояниях, а на основании анализа динамики рассогласования экспертным методом определяют факторы риска работы узла, элемента или системы автомобиля [2-6].

Подход с применением нейронных сетей в качестве адаптивной самообучающейся системы идентификации износа и деградации возможен при наличии большого количества транспортных средств единой архитектуры, что в данном проекте не предусмотрено. Однако данный подход [7, 8] является достаточно перспективным при стандартизации конструктивных и технологических решений.

Развитие технологий диагностики основных узлов и агрегатов следует в фарватере развития автомобильной техники – осуществляется переход от системы диагностики и ремонта на основании опыта механиков к системе интеллектуальной высокоэффективной диагностики основных электронных, механических и пневматических узлов, систем и агрегатов, основанной на стандартах OBD-II и ISO. Однако ввиду сложности конструкции, развития технологий производства узлов и агрегатов диагностирование на основании данных стандартов неэффективно по причине отсутствия учета ими износа основных механических компонентов и отсутствия возможности прогнозирования и анализа технического состояния транспортного средства.

Обеспечение высокого уровня эксплуатационной готовности и надежности автомобиля требует постоянного контроля над техническим состоянием узлов и агрегатов автомобиля. При этом большое значение имеет параметрическая информация о работе механических и электронных компонент автомобиля, получаемая в режиме реального времени. Комплексный анализ этих данных позволяет своевременно предупреждать возникновение отказов,

поломок или ситуаций перехода движения в опасное состояние вследствие возникновения скрытых неисправностей датчиков или «плавающих ошибок» в электронных компонентах механических узлов автомобиля. Особую важность данный способ диагностики приобретает для беспилотного автомобиля, поскольку отсутствие водителя делает невозможным интерпретацию текущего состояния автомобиля в режиме движения.

II. Архитектура системы

Наибольшей эффективности в решении задачи об оценке текущего состояния автомобиля по параметрическим данным, получаемым в режиме реального времени, можно добиться за счет использования таких методов как: статистическое управление процессами, интеллектуальный наблюдатель состояния, нейросетевая и нечеткая идентификация, метод группового управления аргументами. Данные методы являются универсальными и находят широкое применение в задачах управления, моделирования и прогнозирования состояния технических систем и изделий. В то же время, эффективное применение вышеуказанных методов требует организации процессов сбора, накопления и анализа эксплуатационных данных на базе современных сетевых технологий, СУБД и специализированного программного обеспечения.

В последнее время в зарубежной практике поддержки комплексных изделий на стадии эксплуатации успешно внедряется концепция централизованного хранения эксплуатационной параметрической информации, например, о работе силового агрегата, или других важных узлов или компонент изделия. Обмен данными между электронными системами изделия и центральным хранилищем эксплуатационной информации происходит без участия операторов в рамках технологии «Интернет вещей» (IoT-технология). Эта информация в дальнейшем используется для оценки и прогнозирования уровня работоспособности и надежности изделия или его компонент, целесообразности проведения внепланового технического обслуживания, ремонта или обновления.

Разработка и внедрение сетевой системы поддержки пилотируемых и беспилотных автомобилей в эксплуатации с аналогичным функционалом позволяет:

- увеличивать эксплуатационную готовность и надежность автомобилей, сокращать издержки, связанные с внезапными отказами на дороге и авариями – за счет расширенных средств мониторинга текущего состояния и бортовой диагностики, своевременного определения необходимости в проведении технического обслуживания и ремонта (ТОиР) автомобиля;

- определять предотказные состояния для отслеживаемых узлов и агрегатов автомобиля, выявлять тренды в изменениях параметров, а в дальнейшем, своевременно распознавать их возникновение – за счет идентификации состояния с применением широкого спектра современных методик (статистическое управление процессами, интеллектуальный наблюдатель состояния, нейросетевая и нечеткая идентификация, метод группового управления аргументами);

- формировать базу экспериментальных данных для разработки актуальных моделей изнашивания, деградации и остаточного ресурса механических компонент автомобиля, формулировать рекомендации по улучшению их конструкции – за счет накопления, обработки и расширенного анализа параметрической информации о работе отслеживаемых узлов и агрегатов автомобиля.

В основу данной системы положен моделеориентированный подход, при котором параметры, характеризующие действительное состояние систем и агрегатов транспортного средства (ТС), получаемые с его борта, периодически сопоставляются с параметрами моделей ТС, которые учитывают износ компонентов, влияния окружающей среды, взаимовлияния систем ТС (рис. 1). По критериям отклонений этих параметров от модельных значений осуществляется оценка состояния ТС, определяются предотказные состояния систем и агрегатов, делается прогноз остаточного ресурса оборудования и систем. На основе проведенного анализа система формирует рекомендации для обслуживающего персонала ТС в целом, по срокам замены комплектующих, срокам проведения ТОиР.

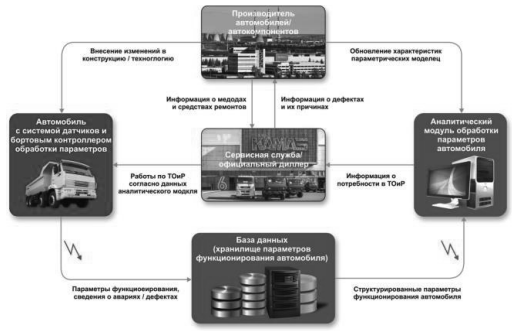


Рис.1. Структура интеллектуальной моделеориентированной диагностической системы

Логика работы данной системы заключается в анализе параметрических характеристик реального автомобиля путем выполнения следующих операций:

- накопление и хранение объема данных о параметрах функционирования автомобиля;

- обработка параметров функционирования автомобиля с отсечением колебаний сигналов, вызванных некритическими возмущениями окружающей среды для формирования адекватной статистики функционирования автомобиля;

- передача обработанных на борту данных в стационарную базу данных для накопления «истории» и ведения учета функционирования автомобиля;

- обработка статистических и параметрических данных с помощью аналитического модуля с целью

определения наиболее вероятных преддефектных и предаварийных состояний для своевременного выполнения операций планово-предупредительного обслуживания и ремонтов, а также проведения ТОиР, направленных на обеспечение максимальной готовности и эффективности функционирования автомобилей;

- выдача рекомендаций по проведению ТОиР в зависимости от пробега автомобиля, срока службы узлов, систем и агрегатов, их измеряемых и рассчитываемых динамических и статических параметров, возмущений со стороны окружающей среды.

Для реализации программно-аппаратного комплекса необходима разработка следующих элементов:

- бортовой модуль (контроллер) хранения, первичной обработки и хранения данных, интегрированный с коммуникационной системой;

- система коммуникации бортового модуля с облачным / стационарным хранилищем данных;

- система хранения и накопления информации (база данных);

- аналитическая система, позволяющая проводить анализ данных о функционировании автомобиля.

На рис. 2 представлен подход к формированию комплексной междисциплинарной модели автомобиля, его узлов и агрегатов для целей моделирования и прогнозирования технического состояния автомобиля и его компонент. Наиболее сложными (с точки зрения идентификации) являются модели износа, которые могут быть получены либо эмпирическим путем, либо с помощью гибридных испытаний и инженерных расчетов с учетом всех возможных режимов работы узла (или автомобиля в целом).

Рис.2. Компоненты комплексной модели автомобиля

Формирование подобных комплексных моделей необходимо в целях проведения максимально адекватной диагностики и прогнозирования технического состояния транспортного средства исходя из режимов эксплуатации, климатических условий, нагрузки и состава автомобиля.

При наличии подобной модели может быть реализована схема диагностирования с применением наблюдателя состояния транспортного средства, которая учитывала бы все факторы эксплуатации и предоставляла бы данные об отклонениях от модельного состояния с использованием статистики параметров работы автомобиля (с учетом износа).

Бортовой модуль (контроллер) предназначен для выполнения следующих задач:

- накопление информации о параметрах функционирования систем, узлов и агрегатов транспортного средства;

- фильтрация сигналов путем отсечения компонент, связанных с внешними возмущениями;

- хранение информации о параметрах функционирования узлов, агрегатов и систем, т-дискретизация информации для анализа;

- хранение подробной информации о событиях за конечный промежуток времени для возможности анализа ДТП и выяснения факторов экстренных ситуаций и поломок (дефектов, аварий);

- интеграция с модулем ГЛОНАСС для передачи информации сервисным и иным службам в случае ДТП или аварийной поломки;

- накопление данных о нарушениях режимов движения для оповещения водителя / оператора беспилотного ТС.

Система коммуникации бортового модуля с облачным / стационарным хранилищем данных должна иметь возможность передачи накопленных данных или экстренной передачи пакета данных с использованием стандартов Bluetooth, Wi-Fi, USB, GSM, GPRS, CAN. Стационарные хранилища данных могут применяться при управлении парком транспортных средств (грузовые парки, автобусы, маршрутные ТС), а облачные хранилища данных – для индивидуальных владельцев автомобилей, оснащенных системой диагностики и прогнозирования состояния ТС с возможностью проведения анализа удаленным способом и визуализации информации о техническом состоянии автомобиля на индивидуальном устройстве (ПК, смартфон, планшетный компьютер).

Система коммуникации требует разработки аппаратного и программного обеспечения для передачи данных и является достаточно типовой (может быть реализована по аналогии с трекинговыми устройствами).

Система хранения и накопления информации (база данных) должна быть выполнена как программно-аппаратное устройство, в составе которого имеются серверное оборудование и специализированная СУБД для обеспечения выполнения запросов аналитического модуля об истории и заложенной и накопленной информации об отказах, дефектах и авариях.

Для разработки данного компонента системы необходима разработка структуры базы данных и определение потоков информации для СУБД.

Аналитическая система предназначена для обработки поступаемой в БД информации по конкретному автомобилю с учетом истории параметров и моделей автомобилей, узлов и агрегатов

автомобилей. Аналитическая система состоит из трех модулей:

- комплексная модель автомобиля, включающая феноменологические, динамические, статические модели и модели износа узлов, деталей, агрегатов и систем автомобиля;

- дерево отказов с показателями и признаками износа узлов, деталей и агрегатов автомобиля на основании статистических данных автопроизводителей, результатов аналитических расчетов и гибридных испытаний на основании моделей;

- интеллектуальный алгоритм анализа данных о параметрах функционирования автомобиля, снимаемых как со стандартных датчиков систем автомобиля, так и с дополнительных сенсоров системы диагностики и прогнозирования технического состояния автомобиля.

Структура аналитической системы показана на рис.3.

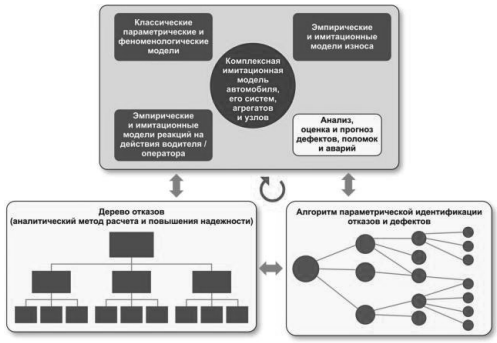


Рис.3. Структура аналитической системы

Алгоритм работы аналитической системы выглядит следующим образом:

- программный модуль запрашивает информацию из БД по конкретному автомобилю и на основании данных о режимах движения и воздействий окружающей среды (возмущений) составляет карту режимов движения;

- карта режимов движения обрабатывается модулем, включающим комплексную модель автомобиля, его узлов и агрегатов;

- результаты моделирования сравниваются с реальными данными с измерительной подсистемы автомобиля;

- на основании трендов и сравнительного анализа формируется экспертное заключение о техническом состоянии автомобиля, его узлов и агрегатов и необходимости вмешательства;

- на основании набранной истории параметров происходит корректировка комплексной модели автомобиля.

Используя показанные выше компоненты, разработаны архитектура и подсистемы моделеориентированной системы диагностики (рис. 4).

Рис.4. Архитектура и подсистемы моделеориентированной системы диагностики

III. ВЫВОДЫ

В работе показана разработка системы диагностики и прогнозирования технического состояния роботизированного транспортного средства на основе моделеориентированного подхода. Ключевой особенностью является использование параметрической информации о работе механических и электронных компонент автомобиля, получаемых в режиме реального времени. Анализ этих данных даёт возможность предупреждать о возможных поломках, отказах и аварийных ситуациях. Для беспилотного транспортного средства это является очень важным моментом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

[1] On-Board Model-Based Fault Diagnosis for Autonomous Proximity Operations, Dr. Peter Z. Schulte, 2018.

[2] An Approach for the Reliability Analysis of Automotive Control Systems, Mikhail Glukhikh, Mikhail Moiseev, St. Petersburg State Polytechnical University St. Petersburg, Russia, 2011.

[3] Software Reliability Growth Models Predict Autonomous Vehicle Disengagement Events, Robert Merkel, 2018.

[4] DoDMaintenance SymposiumOrlando, FloridaNovember 13-16, 2007, Robert M. Cranwell, Manager Center for Systems Reliability System Sustainment & Readiness Programs Sandia National Laboratories (SNL).

[5] Reliability and Failure in Unmanned Ground Vehicle (UGV), Phuoc-Nguyen Nguyen-Huu Joshua Titus, 2009.

[6] Model-Based Prognostics, Matthew Daigle, Prognostics Center of Excellence Intelligent Systems Division, NASA Ames Research Center, 2014.

[7] Prediction of Vehicle Reliability using ANN, B. Hari Prasad, 2012.

[8] An Integrated Self-Diagnosis System for an Autonomous Vehicle Based on an IoT Gateway and Deep Learning, YiNa Jeong, 2018.

Формирование и обработка шумоподобных сигналов в сверхширокополосных системах

Чернышев С.Л.
Московскимй государственный технический университет им. Н.Э.Баумана
Москва, Россия
chernshv@bmstu.ru

Виленский А.Р.
Московскимй государственный технический университет им. Н.Э.Баумана
Москва, Россия
temaforyou@yandex.ru

***Abstract* — The possibility of realization in ultra-wideband systems for the formation and processing of noise-like signals on distributed structures is considered. The developed methods and algorithms allowed to synthesize ultra-wideband filters that provide correlation processing and also the formation of signals having correlation functions with the lowest side-lobe level and the narrowest and sharpest peak**

Ключевые слова — шумоподобный сверхширокополосный сигнал, корреляционная обработка, формирование сигнала, нерегулярные структуры.

I. Введение

Повышение пропускной способности C подсистем передачи и извлечения информации, входящих в состав систем управления, в соответствии с формулой К.Шеннона возможно с увеличением полосы рабочих частот Δf :

$$\lim_{\Delta f\to\infty} C = \lim_{f\to\infty}[\Delta f \log_2(1+\frac{P_c}{N_0})] \approx 1{,}44\frac{P_c}{N_0},$$

где P_c - мощность сигнала; N_0 - спектральная плотность мощности белого шума. В связи с этим наибольшей информативностью обладают сверхширокополосные (СШП) системы, обладающие относительной полосой рабочих частот более 50%. Интенсивное развитие сверхширокополосной техники [1-3] требует создания новых устройств и элементной базы. В связи с тем, что СШП системы оперируют сигналами невысокой мощности, отношение сигнал/шум в них зачастую оказывается меньше единицы. Поэтому актуальна задача корреляционной обработки таких сигналов и применения сигналов, обладающих наиболее острой корреляционной функцией и низким уровнем боковых лепестков. К таким сигналам относятся шумоподобные сигналы, в частности, М-последовательности [4]. Они имеют повышенную базу, значительно превышающую единицу, и обеспечивают высокую помехозащищенность, кодовое разделение каналов и другие преимущества. Шумоподобные сигналы применяются в радиолокации, навигации, связи, в вычислительных системах, системах автоматики и телемеханики [5-8]. Сверхширокая полоса частот приводит к тому, что прямая цифровая обработка таких сигналов становится невозможной. Поэтому следует применять обработку на нерегулярных распределенных структурах [5]. Данная статья посвящена обработке и формированию СШП шумоподобных сигналов в виде М-последовательностей на таких структурах.

©2019 ИПУСС РАН, СамГТУ, IEEE

II. Синтез формирователя

Разработка алгоритма синтеза нерегулярных линий по заданной импульсной характеристике на отражение [9] позволяет создавать устройства, осуществляющие обработку сверхширокополосных сигналов. До настоящего времени формирование и обработка шумоподобных сигналов со сверхширокой полосой не применялись, и упомянутый алгоритм расширяет возможности создания сверхинформативных систем передачи и извлечения информации, обладающих высокой помехозащищенностью. Сочетание сверхширокополосных свойств сигналов с шумоподобным видом этих сигналов открывает новые возможности для систем управлениюю

Нерегулярные структуры представляют собой каскадное соединение локальных неоднородностей в виде скачков волнового сопротивления передающих линий. В них воспроизводится механизм возникновения отраженных волн от протяженного объекта, когда геометрическая длина падающего на него сверхширокополосного сигнала много меньше длины этого объекта. Формируемый отраженный сигнал представляет собой пачку импульсов, отраженных от локальных неоднородностей объекта в линии, дополненную импульсами, вызванными отражениями между этими неоднородностями. На рис.1 приведен вид ступенчатой неоднородной структуры, которую можно реализовать на линии передачи.

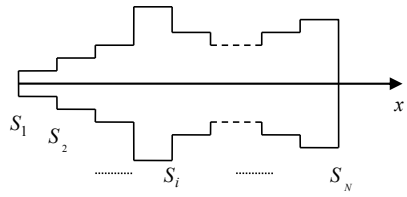


Рис. 1. Ступенчатая нерегулярная структура

В такой линии волновые параметра изменяются скачками, образуя неоднородности с разными коэффициентами отражения S_i . Эти скачки формируют дискретные волны в виде пачек импульсов. Период дискретизации таких волн составляет двойное время задержки на отдельном участке линии между скачками.

Алгоритм синтеза позволяет учесть механизм возникновения этих волн и обеспечивает нахождение коэффициентов отражения от неоднородностей S_i. По этим коэффициентам находим волновые параметры линии на всех участках, обеспечивающих заданную импульсную характеристику $g_{ref}(t)$.

Первый коэффициент отражения определяется просто:

$$S_1 = g_{ref}(1) / a_{in}(1),$$

где $a_{in}(1) = 1$ при синтезе по импульсной характеристике.

Затем алгоритм предусматривает определение отсчета падающей на второй скачок волны $a_2(2)$, и расчет волны $b_2(2)$, требуемой при отражении от этого скачка. Второй коэффициент отражения находим из выражения

$$S_2 = b_2(2) / a_2(2).$$

Все последующие коэффициенты отражения определяются аналогично:

$$S_i = b_i(i) / a_i(i).$$

Расчет в алгоритме прекращается, когда коэффициенты отражения принимают очень малое значение.

Следует отметить, что в ходе расчетов в алгоритме происходит проверка на устойчивость. В случае, если сходимость по заданному критерию нарушается, расчет прекращается и автоматически выдается необходимая рекомендация по корректировке данных.

На рис. 2 приведена конфигурация микрополоскового фильтра, синтезированного для формирования сверхширокополосного шумоподобного сигнала в виде М-последовательности с длиной $N = 7$ (-1, -1, 1, -1, 1, 1, 1). Величина задержки сигнала на одном участке линии составляет 25 пс. Как видно из рис. 1, фильтр состоит из двух частей основной части, обеспечивающей формирование М-последовательности и «хвоста», который компенсирует отражения сигнала между неоднородностями, обеспечивая «чистоту» импульсной характеристики.

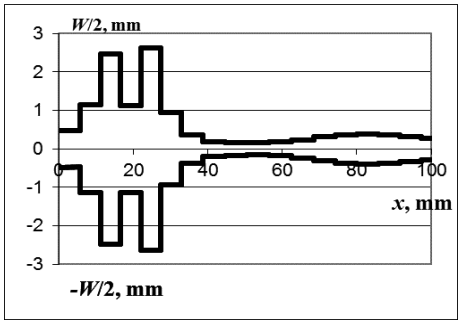


Рис. 2. Конфигурация формирующего фильтра для *N*=7

Реальный одиночный сверхширокополосный сигнал $a_{in}(t)$ с основным пиком длительностью 50 пс, который подается на вход фильтра, имеет вид, изображенный на рис. 3. На этом рисунке $b_{ref}(t)$ - сформированный сверхширокополосный сигнал, который незначительно отличается от идеальной импульсной характеристики $g_{ref}(t)$ вследствие применения реального падающего сигнала.

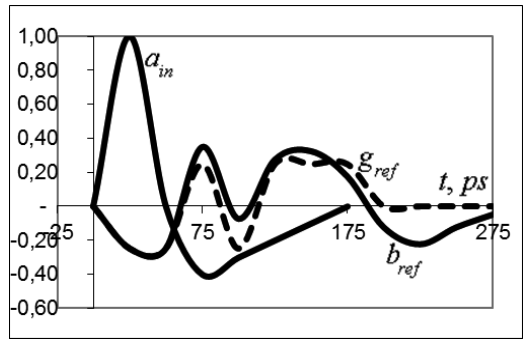


Рис. 3. Падающий сигнал a_{in}, импульсная характеристика g_{ref}, сформированный сигнал b_{ref}

III. Корреляционная обработка

Синтезированный фильтр является согласованным фильтром для сигнала в виде М-последовательности 1, 1, 1, -1, 1, -1, -1. При подаче такого сигнала на вход фильтра отраженный сигнал будет представлять собой корреляционную функцию. В нерегулярной структуре происходит свертка падающего сигнала с импульсной характеристикой.

На рис. 4 показана идеальная корреляционная функция $b_{cor}(t)$ (пунктир) и реальная корреляционная функция $b_{cor_real}(t)$ (сплошная линия). Видно, что при применении реального сигнала боковые лепестки корреляционной функции искажены по сравнению с идеальным случаем, однако основной пик остается острым, что свидетельствует о правильном сжатии такого сверхширокополосного шумоподобного сигнала.

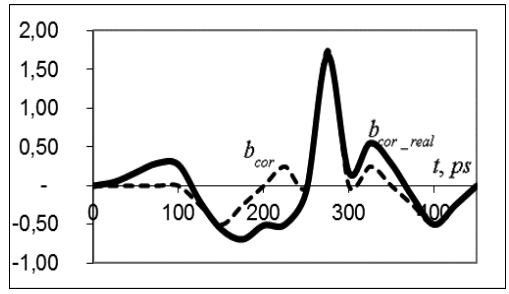


Рис. 4. Идеальная корреляционная функция b_{cor} и реальная корреляционная функция b_{cor_real}

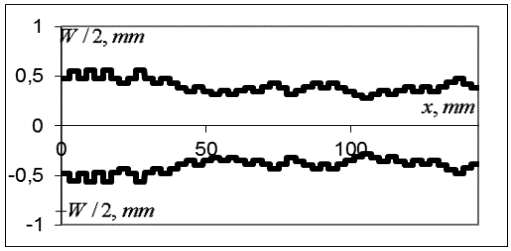


Рис. 5. . Конфигурация формирующего фильтра для *N*=63

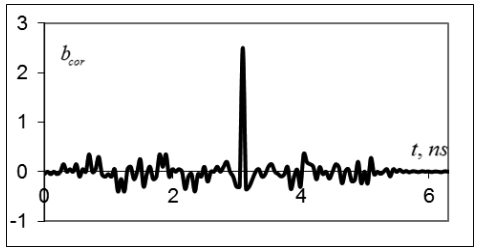


Рис. 6. Кореляционная функция для *N*=63

На рис. 5 приведена конфигурация синтезированного микрополоскового фильтра, согласованного с сигналом в виде М-последовательности с длиной $N = 63$. Длительность такого сигнала составляет чуть больше 3 пс, поэтому канал передачи данных системы обработки или извлечения информации будет обладать высокой пропускной способностью.

Видно, что в результате синтеза определены волновые параметры линии, на которой реализован фильтр, образующие скачки. Эти скачки формируют требуемую дискретную импульсную характеристику, обеспечивающую сжатие падающего шумоподобного сверхширокополосного сигнала. Количество скачков оказалось больше, чем 63. Это объясняется тем, что отраженная волна формируется не парциальными отражениями от неоднородностей, а с учетом отражений между скачками. Поэтому для обеспечения заданной формы импульсной характеристики потребовались дополнительные неоднородности, которые компенсируют упомянутый выше «хвост» взаимных отражений.

На рис. 6 проказана кореляционная функция, образующаяся при отражении от такого фильтра, если на вход подан сигнал, с которым фильтр согласован. По горизонтальной оси для удобства приведены номера дискретов k , которые отсчитываются с шагом 50 пс. Видно, что уровень боковых лепестков значительно ниже, а пик – острее.

Приведенные примеры формирования и обработки сверхширокополосных шумоподобных сигнгалов на распределенных структурах сигналов являются частными случаями. Разработанный метод синтеза позволяет обрабатывать шумоподобные сигналы в сверхширокополосных системах как в виде М-последовательностей длиной $N = 2^k - 1$, $k = 3, 4, 5, 6,..$, так и виде других шумоподобных сигналов (кодов Баркера, функций Радемахера, функций Уолша и др.).

IV. Заключение

Рассмотренный синтез формирователей и фильтров обработки шумоподобных сигналов открывает возможность достижения новых свойств сверхширокополосных систем передачи, извлечения информации и управления. Сочетание сверхширокополосных свойств сигналов с шумоподобным видом этих сигналов обеспечивает высокую промехозащищенность систем.

Список литературы

[1] Решение ГКРЧ № 09-05-02 от 15 декабря 2009 г.

[2] Решение Федеральной комиссии по связи (FCC) США № FCC 02-48 от 14.02.2002

[3] J.D.Teylor. Introduction to Ultra-Wideband Radar Systems. CRC Press LLC. 1995

[4] S.Golomb. Shift Registers Sequenses, World Scientific Publishing, 2017, 272 p.

[5] В.Е.Гантмахер, Н.Е.Быстров, Д.В.Чеботарев. Шумоподобные сигналы. Анализ, синтез, обработка.-СпБ: Наука и Техника, 2005, 400 с.

[6] S.Haykin. Adaptuve filter theory. Forth Edition.-Prentice Hall, 2003, 920p.

[7] Л.Е.Варакин. Системы связи с шумоподобными сигналами.-М.: Радио и связь, 1985, 380 с.

[8] Г.А.Травин, В.В.Горюнов, В.И.Суровцев. Пеленгование и распознавание сложных дискретно-кодированных шумоподобных сигналов малозаметных РЛС на основе применения компьютерных технологий // Научные ведомости Белгородского государственного университета, 2012. № 13. С.123-127.

[9] S.L.Chernyshev, “Analysis and Synthesis of UWB Filters and Shapers in Time Domain” // 2013 IEEE International Conference on Microwave Technology & Computational Electromagnetics, Proceedings. 6812452. Qingdao, China, 2013. PP.127-130.

Высокопроизводительный цифровой алгоритм вычисления оценки гармонического спектра сложных сигналов

Якимов В.Н.
Кафедра информационных технологий
Самарский государственный технический университет
Самара, Россия
yvnr@hotmail.com

Батищев В.И.
Кафедра информационных технологий
Самарский государственный технический университет
Самара, Россия
vib@list.ru

Акулов В.А.
Кафедра информационных технологий
Самарский государственный технический университет
Самара, Россия
vladislav.a.akulov@gmail.com

Машков А.В.
Кафедра информационных технологий
Самарский государственный технический университет
Самара, Россия
mavstu@list.ru

***Abstract* — The paper considers the high-performance digital algorithm for the harmonic analysis of complex signals. Binary sign analog-stochastic quantization formed the development basis of the algorithm. This type of quantization is used as the primary conversion of the analyzed signal to digital form. The discrete-event model of the binary sign analogue-stochastic quantization permitted the analytical calculation of integration operations in the transition to the computation of amplitude spectrum estimates in digital form. As a consequence, the developed harmonic analysis algorithm does not require performing digital multiplication operations in contrast to the classical algorithms based on the calculation of the direct Fourier transform. The elimination of digital multiplication operations increases in the computational efficiency of frequency spectrum estimation. Experimental research of the developed algorithm was carried out using simulation modeling. The simulation results showed that the algorithm allows calculating the amplitude spectrum of complex signals with high precision and frequency resolution in the presence of external additive noise. This algorithm can be used as part of diagnosability provision for a broad-based of technical objects.**

Ключевые слова — гармонический анализ, бинарное знаковое аналого-стохастическое квантование, цифровой алгоритм, спектр амплитуд, диагностическое обеспечение

I. Введение

Работа вращающихся машин и механизмов разной степени сложности сопровождается механическими вибрациями. Бесконтрольное развитие процессов вибрации может привести к необратимым дефектам и стать причиной частичного или полного нарушения нормального режима эксплуатации технических объектов. В зависимости от способа механического соединения и динамического взаимодействия деталей и узлов большая часть дефектов проявляет себя в виде распределенной совокупности слабых и сильных гармонических компонент в составе вибрационных процессов. Вследствие этого предупреждение развития дефектов приводит к необходимости постоянного мониторинга спектрального состава процессов вибрации в широком диапазоне частот [1-6].

Анализа частотного состава процессов вибрации осуществляется с использованием диагностического обеспечения, которое представляет собой комплекс взаимоувязанных правил, методов, алгоритмов и средств, необходимых для диагностирования на всех этапах жизненного цикла объекта [7]. Основу диагностического обеспечения составляют различные методы и средства спектрального анализа. Реальные механические вибрации представляют собой сложные по составу многокомпонентные колебательные процессы. Одним из наиболее эффективных методов анализа спектрального состава таких процессов является гармонический анализ Фурье. Данный вид анализа обеспечивает идентификацию спектральных компонент в широком диапазоне частот [8-10].

Интенсивное развитие вычислительной техники привело к тому, что в настоящее время гармонический анализ преимущественно осуществляется в цифровом виде с использованием программных средств. Переход к цифровым методам гармонического анализа объясняется улучшением разрешения по частоте и повышением способности обнаруживать слабые гармонические составляющие. Однако непрерывное совершенствование и усложнение производственных процессов приводит к необходимости повышения ресурсной и временной эффективности средств цифрового гармонического анализа. Решение данной задачи приобретает особое значение, когда требуется оперативное установление наличия неисправностей в условиях экстремального режима работы объекта диагностики.

II. Постановка задачи

Традиционно задача повышения эффективности цифровой обработки сигналов решается или за счет улучшения схемотехнических решений и повышения общей производительности вычислительных средств, или путем подготовки исходных данных в виде упорядоченных алгебраических структур и оптимизации программного кода [11-19]. Однако данная задача не может быть успешна решена только за счет возрастающей мощности вычислительной техники и использования структурно-организационного подхода к реализации вычислительных процедур.

Вычислительные характеристики программных средств во многом определяются математической моделью получения конечного результата и выбором алгоритмических решений и конструкций [20]. Поэтому разработка математического обеспечения и синтез на его основе алгоритмического обеспечения, приводящего к снижению системных издержек и повышению

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научных проектов № 19-08-00228-А и № 18-08-00253-А.

©2019 ИПУСС РАН, СамГТУ, IEEE

вычислительной эффективности программных средств гармонического анализа, является актуальной задачей.

Обычно в процессе разработки цифровых алгоритмов первичное преобразование сигналов в цифровую форму рассматривается как предопределенная вынужденная процедура. При этом априори считают, что подлежащие цифровой обработке отсчеты сигнала формируются с использованием классического аналого-цифрового преобразования. Суть такого преобразования состоит в том, что исходный цифровой код мгновенных значений непрерывного аналогового сигнала получают в результате выполнения операций равномерной дискретизации во времени и многоуровневого квантования. Это приводит к тому, что классические цифровые алгоритмы гармонического анализа связаны с необходимостью выполнения существенного количества многоразрядных операций умножения, что требует значительных временных затрат. При этом с увеличением разрядности цифровых отсчетов сигнала или размерности дискретного преобразования Фурье эти затраты возрастают. Поэтому перспективным подходом к решению задачи разработки эффективных в вычислительном отношении программных средств для гармонического анализа являются алгоритмические способы ускорения выполнения операций цифрового умножения и уменьшение их общего числа.

III. Разработка алгоритма гармонического анализа с использованием бинарного знакового аналого-стохастического квантования

Предпосылкой решения поставленной задачи послужила концепция обобщенного уравнения статистических измерений. Это уравнение определяет процедуру измерения вероятностных характеристик в операторной форме [21, 22].

Согласно обобщенному уравнению статистических измерений алгоритм оценивания любой вероятностной характеристики можно однозначно представить как выполнение в определенной последовательности совокупности взаимосвязанных измерительных и вычислительных преобразований. В случае цифровых алгоритмов обязательным является преобразование сигналов в цифровую форму. При этом данный вид преобразования можно рассматривать как предварительную обработку анализируемого сигнала, которая непосредственно влияет на вычислительную сложность последующих цифровых процедур, осуществляемых в процессе получения конечного результата. Следовательно, разработать экономичный в вычислительном отношении цифровой алгоритм гармонического анализа можно за счет выбора такого метода дискретного представления сигналов, который позволил бы упростить цифровую обработку сигналов. Исходя из этого, в качестве первичного аналого-цифрового преобразования сигналов предлагается использовать бинарное знаковое аналого-стохастическое квантование. Такое квантование позволяет осуществлять двухуровневое квантование без систематической погрешности независимо от статистических свойств анализируемых сигналов [22-24]. Математически результат бинарного знакового аналого-стохастического квантования можно записать в следующем виде:

$$z(t)=\begin{cases}-1, & x(t)+\xi(t)<0;\\ +1, & x(t)+\xi(t)\ge 0;\end{cases}$$

где $x(t)$ – реализация анализируемого сигнала $X(t)$; $\xi(t)$ – вспомогательный равномерно распределенный в пределах от $-\xi_{max}$ до $+\xi_{max}$ случайный сигнал.

Значение величины ξ_{max} должно быть больше максимально возможного по модулю значения квантуемой реализации $x(t)$.

Гармонического анализа Фурье направлен на представление сигналов в виде суммы гармонических составляющих, которые образуют амплитудный спектр. В соответствии с этим математическая модель центрированного (т.е. без постоянной составляющей) сигнала может быть записана следующим образом:

$$\overset{o}{X}(t)=\sum_{k=1}^{K}\alpha_k\cos(2\pi f_k t+\varphi_k)+e(t),\quad f_k=kf_0,$$

где – α_k, φ_k и f_0 – амплитуды, начальные фазы и основная частота гармонических составляющих; $e(t)$ – статистически независимый по отношению к сигналу аддитивный широкополосный шум с нулевым математическим ожиданием.

Амплитуды α_k определяются следующим образом:

$$\alpha_k=\sqrt{a_k^2+b_k^2},$$

где a_k и b_k – коэффициенты ряда Фурье.

Пусть гармонический анализ сигнала $\overset{o}{X}(t)$ осуществляется на интервале времени длительностью T. В пределах этого интервала времени с учетом выполнения бинарного знакового аналого-стохастического квантования оценки коэффициентов ряда Фурье будем искать в следующем виде [25-30]:

$$\hat{a}_k=\lambda\int_0^T z(t)\cos 2\pi k\Delta f t dt,\ \hat{b}_k=\lambda\int_0^T z(t)\sin 2\pi k\Delta f t dt,$$

где $\lambda=2\xi_{max}\Delta f$; $\Delta f=1/T$ – разрешение по частоте.

Тогда будем иметь:

$$\hat{\alpha}_k^2=\lambda^2\int_0^T z(t_1)\int_0^T z(t_2)\cos 2\pi k\Delta f(t_2-t_1)dt_1 dt_2.$$

Результат выполнения бинарного знакового аналого-стохастического квантования принимает только значения –1 и +1. Поэтому, согласно теории дискретно-событийного моделирования, его можно представить во времени как дискретную последовательность событий, где каждому событию соответствует смена его текущего значения [31]. С учетом такой модели, результат

бинарного знакового аналогово-стохастического квантования на интервале времени $0 \le t \le T$ можно однозначно представить в виде его начального значения $z(t_0)$ и множества отсчетов времени $\{\tau_i : 1 \le i \le I-1\}$, в которые он последовательно меняет значения [22, 31]. При этом $\tau_0 = t_0 = 0$ и $\tau_I = T$. Исходя из этого, оценку $\hat{\alpha}_k^2$ представим в виде суммы интегралов:

$$\hat{\alpha}_k^2 = \lambda^2 \sum_{i=0}^{I-1}(-1)^i \sum_{j=0}^{I-1}(-1)^j \int_{\tau_i}^{\tau_{i+1}} \int_{\tau_j}^{\tau_{j+1}} cos\, 2\pi k \Delta f (t_2 - t_1) dt_1 dt_2 .$$

Интегралы по переменным t_1 и t_2 можно вычислить аналитически. После их вычисления будем иметь:

$$\hat{\alpha}_k^2 = A_k^2 \left(G + \sum_{i=h}^{I-2}(-1)^i \sum_{j=i+1}^{I-1}(-1)^j cos\, 2\pi k \Delta f (\tau_j - \tau_i) \right),$$

где $A_k = 2\xi_{max}\sqrt{2}/\pi k$ и $G = (I-h)/2$; $h = 0$, если I четное, и $h = 1$, если I нечетное.

Изменим порядок суммирования. Тогда оценка $\hat{\alpha}_k^2$ примет вид:

$$\hat{\alpha}_k^2 = A_k^2 \left(G + \sum_{j=1}^{I-1-h}(-1)^j \sum_{i=h}^{I-j-1} cos\, 2\pi k \Delta f (\tau_{j+i} - \tau_i) \right).$$

Для того чтобы получить алгоритм вычисления оценки $\hat{\alpha}_k^2$ в цифровом форме, перейдем к числовому представлению дискретных отсчетов моментов времени $\{\tau_i : 1 \le i \le I-1\}$. Это можно сделать, если использовать классический подход к цифровому представлению интервалов времени. Согласно этому подходу $\tau_i = \eta_i^z \Delta t$, где Δt – период следования счетных импульсов. Тогда будем иметь множество целых чисел $\{\eta_i, 1 \le i \le I-1\}$. Отметим, что $\eta_0 = 0$. Время анализа равно $T = N\Delta t$. Следовательно $\eta_I = N$. Окончательно получаем:

$$\hat{\alpha}_k^2 = A_k^2 \left(G + \sum_{j=1}^{I-1-h}(-1)^j \sum_{i=h}^{I-j-1} cos\, 2\pi k N^{-1} (\eta_{j+i} - \eta_i) \right).$$

Полученное соотношение определяет процедуру вычисления оценок амплитуд $\hat{\alpha}_k$ гармонических составляющих на дискретных частотах $f_k = k\Delta f$ с разрешением по частоте $\Delta f = (N\Delta t)^{-1}$. На основе этого соотношения разработан цифровой алгоритм для оценивания спектрального состава непрерывных сигналов. На рис. 1 представлена краткая запись выполнения основных действий, определяемых этим алгоритмом. В отличие от существующих классических алгоритмов гармонического анализа, которые основаны на вычислении прямого дискретного преобразования Фурье, разработанный алгоритм практически не требует выполнения многоразрядных операций цифрового умножения. Нетрудно видеть, что его практическая реализация сводится в основном к выполнению простых логических и арифметических операций сложения и вычитания отсчетов косинусоидальной функции $cos\, 2\pi k N^{-1}(\eta_{j+i} - \eta_i)$. Такой результат обеспечивает повышение вычислительной эффективности оценивания амплитудного спектра сложных сигналов. Разработанный алгоритм послужил основой для разработки специализированного программного модуля, который может быть использован в составе метрологически значимых программных компонент диагностического обеспечения для комплексного мониторинга различных по построению и составу технических объектов.

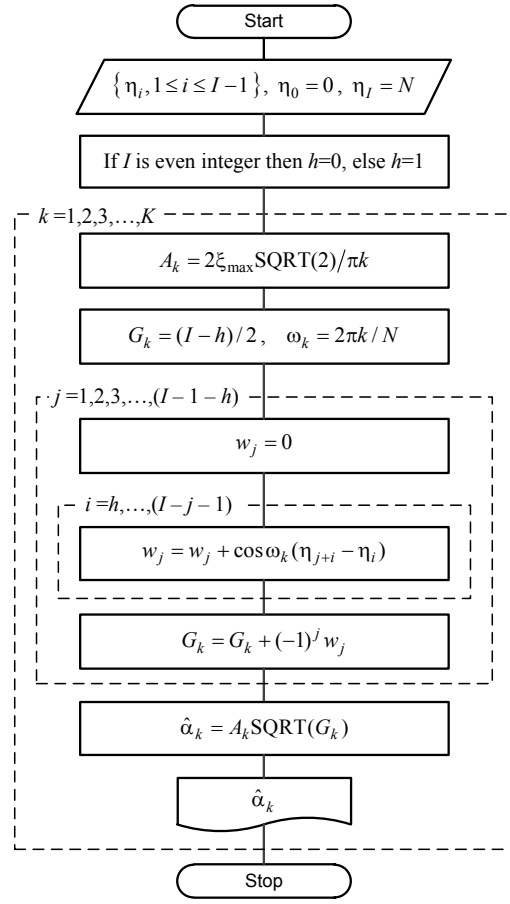


Рис. 1. Краткая запись схемы алгоритма вычисления оценки гармонического спектра

IV. Результаты численного эксперимента

Экспериментальные исследования разработанного алгоритма проводились на основе имитационного моделирования бинарного знакового аналого-стохастического квантования. При этом модель

центрированной реализации анализируемого сигнала представляла собой аддитивную смесь гармонических составляющих с нормированными частотами $f_k^н \in]0; 0.5]$ и амплитудами $\alpha_k \in]0; 1]$. Начальные фазы φ_k задавались равномерно распределенными в пределах от $-\pi$ до $+\pi$. Шум *e(t)* представлял собой аддитивный белый шум с нулевым математическим ожиданием и единичной дисперсией. В частности такая модель содержала девять гармонических составляющих, параметры которых приведены в таблице I. В этой же таблице представлены результаты вычисления оценок $\hat{\alpha}_k$ и значения относительных погрешностей для этих оценок $\delta_\alpha = 100 \times (\hat{\alpha}_k - \alpha_k)/\alpha_k$ в процентах.

ТАБЛИЦА I. ПАРАМЕТРЫ ГАРМОНИЧЕСКИХ СОСТАВЛЯЮЩИХ И ИХ ОЦЕНКИ

k	$f_k^н$	α_k	φ_k,	$\hat{\alpha}_k$	δ_α, **%**	α_k/σ_e, **dB**
1	0.05	0.15	0.553	0.154	2.73	-16.5
2	0.1	0.5	1.866	0.504	0.80	-6.0
3	0.125	1.0	2.297	1.001	0.14	0
4	0.15	0.75	-0.112	0.757	0.97	-2.5
5	0.2	0.45	2.594	0.448	-0.40	-6.9
6	0.25	0.35	-2.312	0.353	0.88	-9.1
7	0.3	0.25	1.770	0.249	-0.28	-12.0
8	0.4	0.1	-2.60	0.102	2.60	-20.0
9	0.45	0.07	1.916	0.072	3.0	-23.1

На рис. 2 - 3 представлены сумма гармонических составляющих и модель реализации сигнала с учетом добавления аддитивного белого шума. На рис. 4 - 5 представлены оценка спектра амплитуд $\hat{\alpha}_k$ и эта же оценка в децибелах, которые вычислены с разрешением 0,001 единиц нормированной частоты.

Результаты моделирования показывают, что разработанный алгоритм обеспечил обнаружение всех гармонических составляющих. Положение оценок $\hat{\alpha}_k$ в спектре точно соответствует табличным данным. Ложных линий в спектре не наблюдается. Расщепления спектральных линий нет. Они четко различимы, и не маскируются шумом. Значения оценок $\hat{\alpha}_k$ вычислены с относительными погрешностями δ_α, которые не превышают трех процентов по абсолютной величине. Это позволяет говорить о высокой точности оценивания спектра амплитуд в статистическом смысле.

Следует особо отметить то, что спектральная оценка шума *e(t)* остается на достаточно низком уровне по отношению к оценкам амплитуд $\hat{\alpha}_k$. Она практически не превышает –40 дБ. Это свидетельствует о высокой устойчивости алгоритма к внешним аддитивным шумам.

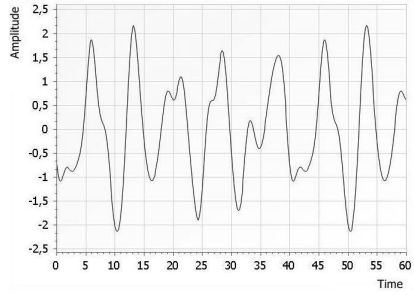


Рис. 2. Сумма гармонических составляющих

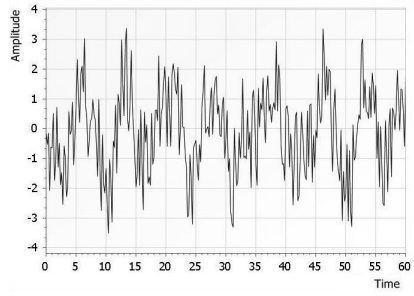


Рис. 3. Модель реализации сигнала

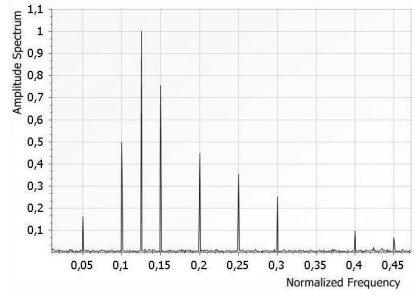


Рис. 4. Оценка спектра амплитуд

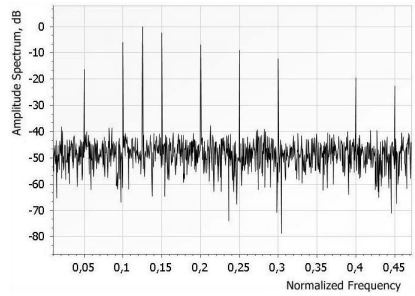


Рис. 5. Оценка спектра амплитуд в децибелах

V. Заключение

В работе рассмотрен высокопроизводительный цифровой алгоритм оценивания гармонического спектра. Он разработан на основе использования бинарного знакового аналого-стохастического квантования для преобразования анализируемого сигнала в цифровую форму. Результаты экспериментальных исследований показали, что данный алгоритм позволяет вычислять оценки амплитудного спектра с высокой точностью и частотным разрешением в широком диапазоне частот. При этом алгоритм является простым в вычислительном отношении. Он не требует формировать многоразрядные выборки анализируемого сигнала и осуществлять их последующую обработку с использованием операций цифрового умножения, как этого требуют классические цифровые алгоритмы гармонического анализа. Все это значительно расширяет область возможного применения разработанного алгоритма для решения задач, связанных с оценкой спектрального состава сложных сигналов. Алгоритм может быть использован для анализа вибрационных сигналов роторных машин и механизмов в условиях сложной шумовой обстановки.

Список литературы

[1] Неразрушающий контроль и диагностика: Справочник / В.В. Клюев, Ф.Р. Соснин, А.В. Ковалев и др.; Под. ред. В.В. Клюева. 2-е изд. – М.: Машиностроение, 2003. – 656 с.

[2] Benaroya H., Nagurka M., Han S. Mechanical vibration: Analysis, uncertainties, and control. 4th ed. – CRC Press, Taylor & Francis Group, 2017. – 579 p.

[3] Adams M.L. Rotating machinery vibration: from analysis to troubleshooting. 2nd ed. – CRC Press, Taylor & Francis Group, 2010. – 476 p.

[4] Brandt A. Noise and vibration analysis: Signal analysis and experimental procedures. – Chichester: Wiley, 2011. – 464 p.

[5] Randall R.B. Vibration-based condition monitoring: Industrial, aerospace and automotive applications. 1st ed. – CRC Press, John Wiley & Sons, 2011. – 308 p.

[6] Taylor J.I. The vibration analysis handbook: A practical guide for solving rotating machinery problems. 2nd ed. – VCI, 2003. – 375 p.

[7] ГОСТ 20911-89. Техническая диагностика. Термины и определения. – М.: Стандартинформ, 2009.

[8] Lyons R.G. Understanding digital signal processing, 3rd ed. – Prentice Hall PTG, 2011. – 944 p.

[9] Proakis J.G., Manolakis D.G. Digital signal processing. Principles, algorithms and applications. 4th ed. – Pearson Prentice Hall, 2007. – 1084 p.

[10] Manolakis D.G., Ingle V.K. Applied digital signal processing: Theory and practice. 1st ed. – Cambridge University Press, 2011. – 991 p.

[11] Blahut R.E. Fast algorithms for signal processing. – Cambridge University Press, 2010. – 453 p.

[12] Bi G., Zeng Y. Transforms and fast algorithms for signal analysis and representations. 1st ed. – Springer-Science+Business Media, LLC, 2004. – 422 p.

[13] Britanak V., Yip P.C., Rao K.R. Discrete cosine and sine transforms: General properties, fast algorithms and integer approximations. 1st ed. – Academic Press, 2006. – 368 p.

[14] Chu E. Discrete and continuous Fourier transforms: Analysis, applications and fast algorithms. 1st ed. – CRC Press, Taylor & Francis Group, 2008. – 423 p.

[15] Madisetti V.K. (ed.). The digital signal processing handbook. Digital signal processing fundamentals. 2nd ed. – CRC Press, Taylor & Francis Group, 2009. – 904 p.

[16] Солонина А.И., Уляхович Д.А, Яковлев Л.А. Алгоритмы и процессоры цифровой обработки сигналов. – СПб.: БХВ-Петербург, 2002. – 464 с.

[17] Сюзев В.В. Основы теории цифровой обработки сигналов. – М.: РТСофт, 2014. – 752 с.

[18] Yaroslavkina E.E. Investigation of Methods for Determining the Integral Characteristics of Periodic Signals Separated in Time // Proceedings of the International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon2018). Publisher: IEEE. Conference Location: Vladivostok, Russian Federation, 2018. Pp. 1-4. Date Added to IEEE Xplore: 07 January 2019.

[19] Ярославкина Е.Е., Муратова В.В., Поздеева Е.В. Анализ инструментальной погрешности системы измерения параметров гармонических сигналов на основе сравнения их ортогональных составляющих // Вестник СамГТУ. Серия «Технические науки», 2015. №4(48). – С.50-55.

[20] Ульянов М.В. Ресурсно-эффективные компьютерные алгоритмы. Разработка и анализ. – М.: Физматлит, 2008. – 304 с.

[21] Цветков Э.И. Основы теории статистических измерений. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1986. – 256 с.

[22] Якимов В.Н. Цифровой комплексный статистический анализ на основе знакового представления случайных процессов // Известия самарского научного центра РАН, 2016. Т. 18. № 4(7). – С. 1346-1353.

[23] Max J. Methodes et techniques de traitement du signal et applications aux mesures physiques. Tome 1. Principes generaux et methodes classiques. – Paris: Masson, 1996. – XXVII-355 p.

[24] Мирский Г.Я. Характеристики стохастической взаимосвязи и их измерения. – М.: Энергоиздат, 1982. – 320 с.

[25] Yakimov V.N. Digital harmonic analysis of multicomponent random processes // Measurement techniques. – Springer US, New York, 2006. Vol. 49. No 4. – Pp. 341-347.

[26] Якимов В.Н., Машков А.В., Горбачев О.В. Цифровой гармонический анализ на основе метода усреднения Фурье-преобразования псевдоансамбля сегментов знакового сигнала // Цифровая обработка сигналов, 2016. № 2. – С. 31-34.

[27] Якимов В.Н Машков А.В. Знаковый алгоритм анализа спектра амплитуд и восстановления гармонических составляющих сигналов в условиях присутствия некоррелированных фоновых шумов // Научное приборостроение, 2017. Т 27. № 2. – С. 83–90.

[28] Yakimov V.N., Gorbachev O.V. Firmware of the amplitude spectrum evaluating system for multicomponent processes // Instruments and experimental techniques. – Springer US, New York, 2013. Vol. 56. No 5. – Pp. 540-545.

[29] Якимов В.Н., Машков А.В. Цифровой алгоритм экспериментального оценивания спектрального состава непрерывных сигналов для специализированных систем статистического анализа // Датчики и системы, 2018. № 6 (226). – С. 25-30.

[30] Якимов В.Н., Машков А.В. Цифровой алгоритм оценивания спектрального состава многокомпонентного процесса вибрации // Контроль. Диагностика, 2018. № 8. – С. 40-45.

[31] Wainer G.A., Mosterman P.J. Discrete-Event Modeling and Simulation: Theory and Applications. 1st ed. – CRC Press, Taylor & Francis Group, 2011. – 493 p.

Многопоточный подход к программной реализации быстродействующих алгоритмов спектрального анализа многокомпонентных сигналов

Якимов В.Н.
Кафедра информационных технологий
Самарский государственный технический университет
Самара, Россия
yvnr@hotmail.com

Машков А.В.
Кафедра информационных технологий
Самарский государственный технический университет
Самара, Россия
mavstu@list.ru

Забержинский Б.Э.
Кафедра информационных технологий
Самарский государственный технический университет
Самара, Россия
zab.borislav@gmail.com

Буканова Ю.В.
Кафедра информационных технологий
Самарский государственный технический университет
Самара, Россия
tuliya@bk.ru

***Annotation* — The article discusses the development of specialized software measuring-computing system, designed to operational spectral analysis of multicomponent signals based on data processing, obtained by simulating the procedure of binary sign-function quantization. The need to create of specialized software measuring-computing system that implements the evaluation of the spectral components of multicomponent processes is caused by the fact that existing proprietary software products either have redundant functionality to solve highly specialized tasks or do not provide the necessary flexibility in the provision, support and modification of libraries that meet specific requirements. The software structure consists of the following main software components: a module for visualization of measurement data, a module for implementing the algorithm for spectral analysis of multicomponent signals, and a data processing converter between the user interface and the module for implementing algorithms. The graphical user interface is implemented using the high-tech integrated development environment Intellij IDEA in the Java 8 multi-platform programming language, which allows extending the functionality of the measurement system. The modules of the metrologically significant part of the software that perform the functions of processing, storing and transmitting measurement data and spectral analysis results are implemented in the resource efficient C ++ 17 language. The use of C ++ provided an opportunity to apply a multi-threaded programming approach in order to improve the performance of the procedures for calculating spectral estimates. Using the mechanism of multithreaded algorithm execution, it became possible to parallelize processor calculations and input-output operations and, as a result, reduce the computational costs of obtaining estimates of the time-frequency characteristics of signals by introducing alternation mechanisms for performing various weakly interconnected subtasks requiring simultaneous execution into a separate multithreading subsystem.**

The results of experimental testing showed the resource efficiency of the software implementation of complex data processing algorithms based on the sign model of analog-stochastic quantization in the process of complex analysis of signals.

Keywords — digital signal processing, spectral analysis, binary sign-function analog-stochastic quantization, software measuring-computing system, resource-efficient algorithms, multithreaded programming.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научных проектов № 19-08-00228-А.

©2019 ИПУСС РАН, СамГТУ, IEEE

I. Введение

Многокомпонентные сигналы представляют собой аддитивную смесь зашумленных узкополосных составляющих локально распределенных в пределах широкого диапазона частот. Для получения полного представления о динамике частотно-временного развития таких сигналов необходимо осуществлять их комплексное исследование, связанное с проведением гармонического и спектрального анализа.

Современный уровень развития цифровой вычислительной техники привел к тому, что в настоящее время для анализа многокомпонентных сигналов в частотной и временной области применяются функционально сложные измерительно-вычислительные системы, в которых измерительные преобразования выполняется с использованием метрологически значимого программного обеспечения [1-4].

Метрологически значимое программное обеспечение, состоит из независимых программных компонентов. При этом классические алгоритмы, реализующие эти компоненты, могут быть неоднородны по своей структуре и организации вычислительного процесса. Поэтому результаты анализа сигналов с использованием такого программного обеспечения, могут отличаться по своим статистическим и точностным свойствам. Отсюда следует, что принципиально важной задачей является обеспечение возможности совместного использования комплекса алгоритмов для анализа многокомпонентных сигналов в составе измерительно-вычислительных систем. Выполнение этого требования приводит к необходимости решения проблем структурной, функциональной, информационной и метрологической совместимости используемых алгоритмов.

Структурная совместимость требует однородность состава и иерархический характер построения вычислительных процедур, реализующих комплекс алгоритмов. Функциональная совместимость означает возможность расширения свойств для наращивания дополнительного функционала по мере необходимости, что позволяет обеспечить масштабируемость, заменяемость и возможность повторного использования программных компонент. Информационная совместимость характеризуется возможностью

использования стандартизированного механизма взаимодействия при передачи данных через интерфейс программного обеспечения между вычислительными компонентами. Метрологическая совместимость должна обеспечивать защиту от случайных или непреднамеренных изменений измерительных данных, получаемых из метрологически значимых частей программного обеспечения.

Единый подход к реализации в виде однородных по своей структуре метрологически значимых программных компонентов, а также комплексирование таких компонент в сочетании с возможностями информационно-вычислительной техники и системным программным обеспечением позволил создать высокопроизводительное программное обеспечение для оперативного анализа многокомпонентных сигналов и обеспечить эффективность в плане использования ресурсов времени и памяти.

II. Постановка задачи

В ходе комплексного исследования многокомпонентных сигналов решение задачи повышения быстродействия сводится к разработке, как самих быстродействующих алгоритмов, реализующих непосредственно измерительные процедуры, так и к программной обработке результатов вычислений этих процедур.

Традиционно проблема обеспечения оперативности цифровых вычислений решается либо за счет повышения общей производительности вычислительных средств, либо путем специальной подготовки данных в виде упорядоченных алгебраических структур и оптимизации программного кода [5, 6, 7, 8]. Однако быстродействие классических цифровых алгоритмов спектрального анализа, предполагающих классическое первичное многоуровневое аналого-цифровое преобразование сигналов, не обеспечивает предварительную обработку сигналов с последующим упрощением и повышением производительности вычислительных процедур.

В [9, 10, 11] рассмотрен метод первичного преобразования, который обеспечивает рациональное соотношение между точностью и простотой представления многокомпонентных сигналов в цифровом виде, а также позволяет разработать экономичный в вычислительном отношении цифровой алгоритм спектрального анализа. Для решения поставленной задачи в качестве первичного преобразования в цифровую форму многокомпонентных сигналов используется бинарное знаковое аналого-стохастическое квантование. Структурная схема реализации такого квантования представлена на рис. 1. На этой схеме $X(t)$ – исследуемый, исходный сигнал, $\xi(t)$ – равномерно распределенный вспомогательный случайный сигнал, $\mathrm{sgn}\{...\}$ – оператор знакового преобразования, $Z(n\Delta t)$ – знаковый сигнал.

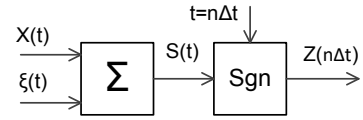


Рис. 1. Структурная схема бинарного знакового аналого-стохастического квантования

Результат бинарного знакового аналого-стохастического квантования $Z(n\Delta t)$ ограниченный по уровню двумя значениями -1 и +1, и его можно рассматривать как непрерывный во времени знаковый сигнал. При этом вся информация будет содержаться в длительности временных интервалов. Обработка такого сигнала в цифровой форме обеспечивают снижение вычислительных затрат.

На рис. 2 показан алгоритм бинарного знакового аналого-стохастического квантования, где производится расчет $S(t)$, которая является суммой исходного сигнала $X(t)$ и вспомогательного случайного сигнала $\xi(t)$, чтобы при сравнении с нулем получить знак $Z(n\Delta t)$, т.е. 1 или -1, T_a – время анализа.

Для снижения вычислительных затрат результатов работы измерительных процедур вычисление знаковых сигналов $Z(n\Delta t)$ помещается в отдельный линейный массив знакочередования и выносится в отдельный цикл, в котором используется режим многопоточного программирования.

Программная реализация алгоритмов предполагается с использованием методологии структурного программирования в виде совокупности независимых управляющих и метрологически значимых программных модулей с возможностью их комплексирования и параллельного (многопоточного) выполнения, а также с учетом обмена данными между функционально однородными процедурами числовой обработки данных.

На основе использования бинарного знакового аналого-стохастического квантования разработан цифровой алгоритм и соответствующий ему специализированный программный модуль вычисления оценок амплитудного спектра многокомпонентного процесса [12, 13, 14].

Необходимость в создании специализированного программного обеспечения измерительно–вычислительной системы, реализующего оценивание спектральных составляющих многокомпонентных сигналов, вызвана тем, что существующие проприетарные программные продукты либо имеют избыточный функционал для решения узкоспециализированных задач, либо не обеспечивают гибкости в предоставлении, поддержки и модификации библиотек, удовлетворяющих специфическим требованиям.

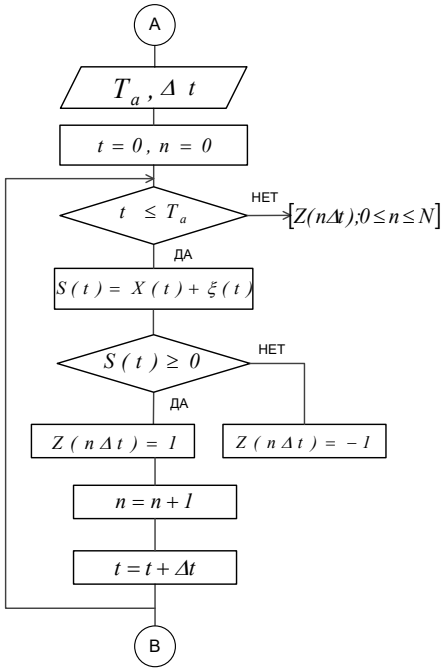


Рис. 2. Схема алгоритма вычисления знакового сигнала $Z(n\Delta t)$

III. Разработка специализированного программного обеспечения измерительно–вычислительной системы

Программное обеспечение измерительно–вычислительной системы разработано на основе парадигмы объектно-ориентированного программирования, что обеспечивает абстрагирование используемых объектов в виде классов и позволяет расширять набор функциональных программных компонент для подготовки и проведения спектрального анализа данных. На разработанное специализированное программное обеспечение измерительно–вычислительной системы авторами получены ряд свидетельств о регистрации программы для ЭВМ [15, 16, 17].

Структура программного обеспечения состоит из следующих основных программных компонент: модуль визуализации измерительных данных, модуль реализации алгоритма спектрального анализа многокомпонентных сигналов и конвертор обработки данных между пользовательским интерфейсом и модулем реализации алгоритмов [18, 19].

Графический интерфейс взаимодействия с пользователем реализован с помощью высоко технологичной интегрированной среды разработки Intellij IDEA на мультиплатформенном языке программирования Java 8, что позволяет расширить функциональные возможности измерительной системы [20,21]. Модули метрологически значимой части программного обеспечения, выполняющие функции обработки, хранения и передачи измерительных данных и результатов спектрального анализа реализованы на ресурсно–эффективном языке C++17. Использование C++ предоставило возможность применить подход многопоточного программирования с целью повышения производительности процедур вычисления спектральных оценок [22, 23].

Для распределения нагрузки между процессорами используется механизм многопоточного выполнения алгоритма (см. рис. 3).

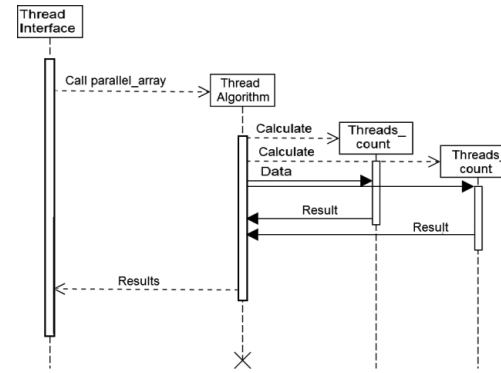


Рис. 3. Диаграмма многопоточного выполнения алгоритма

Алгоритм содержит блоки подготовки данных путем записи в массив. Такие блоки можно разложить на потоки выполнения – threads_count, в случае если каждое значение массива не зависит от предыдущего или может быть вычислено. Например, подсчет данных для графика функции, состоящей из суммы значений гармонических компонент в каждой точке, может быть разбит на потоки для вычисления нескольких фрагментов графика параллельно.

Допустим необходимо построить график на 801 значение (см. рис. 4). Для начала необходимо произвести разбиение на количество потоков (threads_count), которое равно удвоенному числу процессоров, в нашем случае 8. Получается, что на каждый поток выделяется 100 значений, т.е. integer(801/80) = 100. В цикле от 0 до количества потоков [from, to) рассчитываются поочередно первое и последние значение аргумента, между которыми поток будет вычислять значения. Потокам с № 1 - 7 достанется по 100 значений, последнему все оставшиеся, т.е. 101.

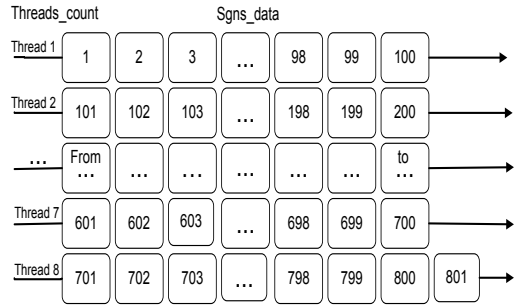


Рис. 4. Подсчет значений для суммы гармонических компонент

Далее вызывается функция-адаптер func в параметрах parallel_array, которая поочередно получает диапазон значений аргумента func[from, to) и возвращает экземпляр потока с необходимым алгоритмом вычисления. Каждый экземпляр потока помещается в пул, и ожидает там создания всех возможных потоков, после чего извлекается в порядке очереди, выполняется и возвращает результат поток интерфейса.

Данная функция-адаптер является частью цикла, который выполняется в два этапа. На первом этапе в многопоточном режиме выполняется вычисление значений знакового сигнала $Z(n\Delta t)$, после чего полученные значения используются для дальнейшей подготовки данных на следующем этапе. На втором этапе функция вычисления линейного массива знакочередования calculate_part получает ранее упомянутый диапазон значений аргумента и линейный массив знакочередования sgns_data (в нем лежат все значения $Z(n\Delta t)$), в который будут записаны результаты вычислений. Далее выполняется реализация алгоритма и конечные значения помещаются в буфер.

Результаты экспериментального тестирования показали ресурсную эффективность программной реализации сложных алгоритмов обработки данных на основе знаковой модели аналого-стохастического квантования в процессе комплексного анализа сигналов.

IV. Заключение

В заключение стоит отметить, что для повышения оперативности статистических измерений с использованием в качестве первичного преобразования в цифровую форму непрерывных сигналов бинарного аналого-стохастического квантования было разработано соответствующее высокопроизводительное алгоритмическое и программное обеспечения для частотно-временного анализа многокомпонентных сигналов. Последовательное прохождение всех стадий и этапов создания программного обеспечения измерительно–вычислительной системы позволило осуществить построение структурно-однородных алгоритмов, обеспечивающих разработку функционально, информационно и метрологически совместимых программных компонент, для которых в соответствии с принципами комплексирования разработан план использования в составе метрологически значимого программного обеспечения для выполнения комплексного частотно-временного анализа сигналов.

Использование распараллеливания процессорных вычислений и операций ввода-вывода в модуле реализации цифрового алгоритма спектрального анализа многокомпонентных сигналов позволило снизить вычислительные затраты получения оценок частотно-временных характеристик сигналов за счёт вынесения механизмов чередования выполнения различных слабо взаимосвязанных подзадач, требующих одновременного выполнения, в отдельную подсистему многопоточности.

При таком подходе начальное количество потоков заранее может быть определено и сопоставлено множеству вычислительных задач. В случае, когда количество задач для выполнения больше, чем количество доступных потоков, освободившийся поток получает другое задание и при этом не происходит создание нового потока. При выполнении некоторых задач такое разделение позволяет достичь более эффективного использования ресурсов вычислительной системы, таких как процессор и память.

Список литературы

[1] ГОСТ 8.654-2015. Требования к программному обеспечению средств измерений. Основные положения. Введ. 2016-03-01. М.: Стандартинформ, 2015. 8 с.

[2] ГОСТ 8.596-2002. Метрологическое обеспечение измерительных систем. Основные положения. Введ. 2003-03-01. М.: Стандартинформ, 2008. 12 с.

[3] ГОСТ Р 8.883-2015. Программное обеспечение средств измерений. Алгоритмы обработки, хранения, защиты и передачи измерительной информации. Методы испытаний. Введ. 2016-03-01. М.: Стандартинформ, 2016. 16 с.

[4] ГОСТ Р 8.839-2013/OIMLD 31:2008. Общие требования к измерительным приборам с программным управлением. Введ. 2015-01-01. М.: Стандартинформ, 2014. 42 с.

[5] Depraetere B.; Stoev J., Pinte G., Swevers J. Identification of linear systems with binary output measurements using short independent experiments // Mechanical systems and signal processing. 2015. V. 50-51. No. 1. P. 296-306.

[6] Guoa J., Zhao Y. Recursive projection algorithm on FIR system identification with binary-valued observations // Automatica. 2013. V. 49. No. 11. P. 3396–3401 p.

[7] He Q. Wang L.Y., Yin G.G. System identification using regular and quantized observations: Applications of large deviations principles. – Springer New York, 2013. – 95 p

[8] Kan S., Yin G. G. Wang L.Y. Parameter estimation in systems with binary-valued observations and structural uncertainties // International journal of control. 2014. V. 87. No. 5. P. 1061-1075.

[9] Manolakis D., Ingle V. Applied digital signal processing. Theory and practice. Cambridge university press, 2011. 1009 p.

[10] Max J. Methodes et techniques de traitement du signal et applications aux mesures physiques. Tome 1. Principes generaux et methodes classiques. – Masson, 1981. – 302 p.

[11] Yakimov V.N., Mashkov, A.V. Digital Estimation of Correlation Function Moments Using Analog-Stochastic Sign Quantization of a Random Process // Measurement Techniques, 2016, Vol. 59, No. 1, pp. 12–15.

[12] Якимов В.Н., Машков А.В. Алгоритм вычисления оценки спектральной плотности мощности на основе обработки знаковых сигналов с использованием временных весовых функций // Цифровая обработка сигналов. – 2016. № 4. – С. 3-8.

[13] Якимов В.Н., Машков А.В. Знаковый алгоритм анализа спектра амплитуд и восстановления гармонических составляющих сигналов в условиях присутствия некоррелированных фоновых шумов // Научное приборостроение. 2017. Т. 27, № 2. С. 83-90.

[14] Yakimov V.N., Numerical estimation of a spectral power density (SPD) on the basis of the signed stochastic quantization of continuous processes // Pribory i Sistemy Upravleniya. 2001. No.12, pp. 60-64.

[15] Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ №2018618247, Рос. Федерация. Программа-имитатор для частотного анализа полигармонических сигналов в аддитивном шуме на основе бинарного знакового квантования / В.Н. Якимов (РФ), А.В. Машков (РФ), А.В. Желонкин (РФ). – Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 10.07.2018г. Заявка №2018616362, 21.05.2018.

[16] Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ №2016612729, Рос. Федерация. Прикладная программа вычисления спектральной плотности мощности на основе знакового подхода к оцениванию корреляционной функции и интегрального косинус-преобразования функции корреляционного окна / В.Н. Якимов (РФ), А.В. Машков (РФ). – Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 09.03.2016г. Заявка №2016610066, 12.01.2016.

[17] Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ №2017662407, Рос. Федерация. Прикладная программа вычисления значений импульсной переходной функции на основе корреляционного метода обработки знаковых сигналов / В.Н. Якимов (РФ), А.В. Машков (РФ). – Зарегистрировано в

Реестре программ для ЭВМ 07.11.2017г. Заявка №2017615876, 23.05.2017.

[18] Машков А.В., Желонкин А.В. Программный комплекс статистического анализа измерительной информации // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия: Технические науки. 2018. № 3 (59). С. 97-105.

[19] Yakimov V.N., Gorbachev O.V. Firmware of the Amplitude Spectrum Evaluating System for Multicomponent Processes // Instruments and Experimental Techniques, 2013, Vol. 56, No. 5, pp. 540–545.

[20] Gonzalez J. F. Mastering Concurrency Programming with Java 9 - Second Edition: Fast, reactive and parallel application development – Packt Publishing; 2nd Revised edition, 2017. 516 p.

[21] Romain Manni-Bucau. Java EE 8 High Performance – Packt Publishing; 1 edition, 2018. 352 p.

[22] Richard H. Carver, Kuo-Chung Tai. Modern Multithreading: Implementing, Testing, and Debugging Multithreaded Java and C++/Pthreads/Win32 Programs – Wiley-Interscience; 1 edition, 2007. 480 p.

[23] Ульянов М.В. Ресурсно-эффективные компьютерные алгоритмы. Разработка и анализ. – М.: Физматлит, 2008. – 304 с.

Акустико-эмиссионная система для исследования влияния модификатора AlTi5Bl на процесс кристаллизации алюминия

Ярославкина Е.Е.
Кафедра «ИИТ»
ФГБОУ ВО
«Самарский государственный технический университет»
Самара, Россия
yaroslavkina.ee@samgtu.ru

Тюрин Е.А.
Кафедра «ИИТ»
ФГБОУ ВО
«Самарский государственный технический университет»
Самара, Россия
genja140595@mail.ru

Зобнин П.Ю.
Кафедра «ИИТ»
ФГБОУ ВО
«Самарский государственный технический университет»
Самара, Россия
pavelzobnin1995@yandex.ru

Мельников Е.В.
Кафедра «ИИТ»
ФГБОУ ВО
«Самарский государственный технический университет»
Самара, Россия
mev163@yandex.ru

Ярославкин А.Ю.
Кафедра «ИИТ»
ФГБОУ ВО
«Самарский государственный технический университет»
Самара, Россия
yaroslavkin@yandex.ru

Бочкарев А.В.
Кафедра «ИИТ»
ФГБОУ ВО
«Самарский государственный технический университет»
Самара, Россия
thetearm@gmail.com

***Abstract* — The article discusses a system for studying the parameters of the crystallization of aluminum alloys by the method of acoustic emission. The main functions of the system are to determine the controlled parameters of the metal during crystallization, such as identifying phase transitions, determining the quality of alloys, determining the average grain size of the casting. The main feature of the system is to determine the controlled parameters of the metal during its crystallization, such as the detection of internal defects, as well as the analysis of the content of dissolved gases directly in the liquid metal. In conducting the study, a small container is filled with liquid metal. A cylindrical waveguide is placed into this container, at the end of which a piezoelectric transducer is located. The investigate of the acoustic signal allows determining the dependence of acoustic emission parameters on the structure of the controlled metal in the liquid phase. The main features of the acoustic signal are identified for various metal structures by statistical processing of a series of experiments.**

Ключевые слова — структура металла, акустическая эмиссия, ультразвуковая установка, волновод

I. Введение

Соблюдение технологии производства алюминиевых слитков является основным фактором, влияющим на качество получаемого изделия [1]. Технологический контроль может состоять из нескольких этапов: до начала производства - определение химического состава; непосредственно при литье - измерение температуры жидкого металла и скорости кристаллизации; после получения слитков – изучение структуры различными методами (например, металлографическим). В современной металлургии отсутствует оперативный контроль получаемой структуры металла, между процессом кристаллизации и анализом полученной структуры проходит много времени. Решение такой задачи для металлургических производств, стремящихся к сокращению различных издержек из-за брака и различных литейных дефектов, актуально и востребовано [2, 3], потому что позволит усилить контроль основных параметров, относящиеся к структуре металла, позволит оптимизировать производственный цикл, снизить энергозатраты.

В промышленности для определения структурных характеристик материалов, используют метод металлографического анализа [4]. Сущность этого метода состоит в оптическом измерении размеров зёрен материала, видимых визуально или в микроскоп на шлифованной, полированной и протравленной кислотами поверхности образцов, вырезанных из соответствующих участков отлитых изделий. Недостатком такого метода является длительность и трудоёмкость измерений, невозможность определения параметров до окончания процесса отливки, определение среднего размера зерна вырезанного участка материала, высокая стоимость исследования, а также тот факт, что образец в процессе исследования разрушается [5].

Известен интегральный способ оценки структуры материала по критерию «хорошая»-«плохая» с помощью ультразвука [6]. Он заключается в прозвучивании контролируемых изделий эхо-методом на заданной частоте f и сравнении амплитуды донного сигнала на эталонном образце с «хорошей» структурой с амплитудами донных сигналов на испытуемых изделиях. При уменьшении амплитуды донного сигнала в изделии на определенную величину относительно амплитуды донного сигнала на эталонном образце структура считается «плохой» и изделие бракуется.

В зависимости от его свойств сигнал будет изменяться и соответственно можно получить информацию о том, какая структура в слитке формируется в данный момент времени отливки.

Такой метод позволяет повысить уровень информативного сигнала, что очень востребовано в условиях шумного производства. Недостаток данного метода заключается в небольшой глубине исследуемого

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант 18-08-00253)

©2019 ИПУСС РАН, СамГТУ, IEEE

материала, невозможность различить одновременно крупные зерна на глубине и мелкие зерна на поверхности.

В данной статье рассматривается установка экспресс-оценки и контроля структуры металла в процессе литья с использованием акустико-эмиссионного (АЭ) метода.

II. Способ исследования

АЭ метод контроля кристаллизации позволяет получать сведения о всех возможных перестройках структуры. Данный метод в отличии от существующих методов контроля может оперативно определять различные отклонения в процессе изготовления слитков [2], прогнозировать макроструктуру металла во время его кристаллизации, и при этом он не оказывает никого влияния на протекающие физические процессы.

Метод основан на регистрации сигнала акустической эмиссии на всем протяжении времени затвердевания расплава [7]. Такая технология применима как на заливке отдельных небольших образцов, так и на производстве машинами непрерывного литья алюминиевых слитков [8]. Измерительную систему можно использовать на производстве не только алюминиевых изделий, но и отливки из других металлов и сплавов.

Недостатком данного метода являются сложности формирования адекватной картины возникновения дефектов или отклонений в виде нарушения формирования правильного размера зерна [2]. Сложности вызваны невысоким уровнем информативного сигнала на фоне общего шума, а также слабо изученной на сегодняшний день математической модели возникновения акустических сигналов в процессе кристаллизации [3].

III. Описание установки

Экспериментальные исследования проводились в лаборатории с использованием измерительной установки, изображённой на рис. 1.

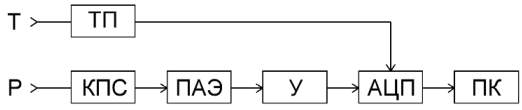


Рис. 1. Структурная схема информационно-измерительной системы

В данной установке регистрировались параметры P механических колебаний, возникающих в расплаве алюминия от эффекта акустической-эмиссии кристаллизации [9], и температура металла T. Механические колебания возбуждались внутри жидкого металла при возникновении центров кристаллизации, росте и взаимодействии зёрен, а также образования усадочной раковины при завершении опыта и при образовании пор из-за выделения водорода из жидкого металла [10]. Сигнал из расплава алюминия проходил по каналу передачи сигналов (КПС), в качестве которого был использован кварцевый волновод с графитовым тиглем, далее (ПАЭ) датчик акустической эмиссии Globaltest GT205 преобразовывал механические колебания в электрический сигнал, который усиливался с помощью усилителя (У) GT200A. Усиленный сигнал и сигнал температуры с термопреобразователя (ТП) поступали в аналогово-цифровой преобразователь (АЦП) E-502 LCard. Сигнал в цифровом виде записывался на персональном компьютере (ПК) с помощью программы L-graph.

В процессе эксперимента проведено 34 опыта: 17 образцов из чистого алюминия (99,9 %); 17 образцов чистого алюминия (99,9 %) с добавлением модификатора, в качестве которого использовался AlTi5B1 [11] в различных пропорциях.

Частички модификатора AlTi5B1 при затвердевании расплава алюминия выступают в качестве многочисленных центров кристаллизации по всему объёму заготовки, поэтому чем больше концентрации модификатора в расплаве, тем больше центров кристаллизации алюминия и, следовательно, меньший размер зерна в конечном затвердевшем материале.

Из-за особой чистоты использованного алюминия (99,9%) в опытах в расчетах не учитывалась возможность образования пор от растворенного в металле водорода.

Эксперименты выполнялись следующем образом.

В печи разогретой до 730 ^{0}C расплавлялась заготовка массой 180 г. Перед началом заливки в центр тигеля опускалась тонкая термопара для контроля температуры расплава. Запись сигнала акустической эмиссии производилась в системе Lgraph. В первые 20 секунд записи оценивался уровень посторонних шумов для установления порога сигнала. Далее в разогретый тигель заливался расплав. Время кристаллизации составляло около 60 с. Запись сигналов останавливалась после окончания кристаллизации по окончанию образования усадочной раковины на поверхности отливки.

Для проведения экспериментов был использован кварцевый волновод диаметром 15 мм. Известно [12], что основная часть акустической энергии передаётся по волноводу симметричными волнами Похгаммера-Кри. При этом минимальные искажения сигналов АЭ при их передаче по волноводу будут достигнуты в том случае, если в волноводе станет возможно существование мод волн Похгаммера-Кри только нулевого порядка (симметричной (S_0) и антисимметричной (A_0)). Это обеспечивается подбором диаметра волновода с учётом следующего известного условия [13]:

$$d \cdot f / C_0 \le 0,4 \qquad (1)$$

где C_0 - скорость стержневой волны (для кварцевого стекла 5760 м/с [12]; f – максимальная частота диапазона контроля. Подставляя f = 115 кГц, получаем, что условие (1) выполняется при d=20 мм.

На рис. 2 представлена схема экспериментальной установки, а в таблицах I и II – результаты анализов, а также данные, характеризующие исследуемый образец и процедуру анализа.

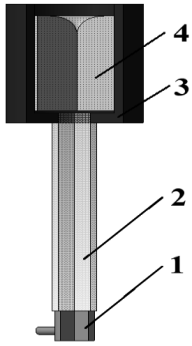


Рис. 2. Схема установки с волноводом:
1-пьезоэлектрический датчик, 2-волновод из кварцевого стекла,
3-графитовый тигель с вырезом в дне под волновод,
4-лабораторный образец из алюминия

IV. Результаты исследования

На рис. 3, 5 представлены графики изменения среднеквадратического отклонения σ во времени, вычисленные для скользящего окна, определенные [14] для опытов кристаллизации чистого Al и алюминия с добавлением модификатора (2,2 г.).

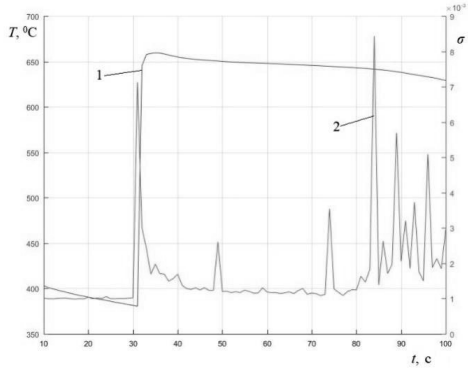


Рис. 3. Сигнал АЭ с добавлением модификатора массой 2,2 г.
(1- график температуры кристаллизации, 2- сигнал СКО процесса кристаллизации)

На рис. 4,6 представлена структура металла после меаллографического анализа.

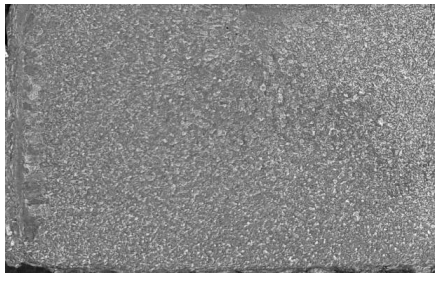


Рис. 4. Структура металла после травления с добавлением модификатора массой 2,2 гр.

ТАБЛИЦА I. Результаты анализа с модификатором

Наименование	Значение
Коэф-нт эксцесса	36.06
Коэф-нт асимметрии	0.08
Энергия АЭ	133
Средний размер зерна, мм	0.27
Маса модификатора, мг	2.2
Масса образца, мг	185
Анализируемая площадь образца, см^2	4

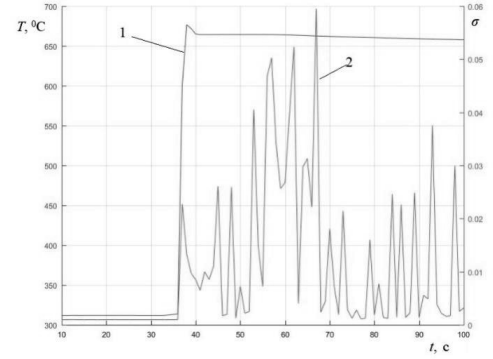


Рис. 5. Сигнал чистого Al, без добавления модификатора
(1- график температуры кристаллизации, 2- сигнал СКО процесса кристаллизации)

На графиках визуально видно большое количество импульсов с очень короткой длительностью и высокой амплитудой. В среднем уровень σ в начале заливки выше 0,002.

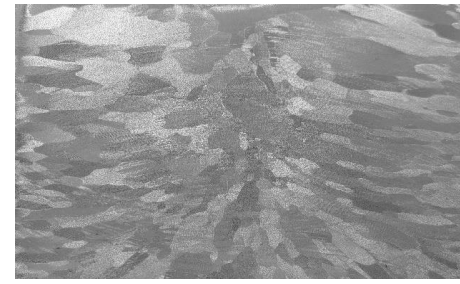


Рис. 6. Струткруа металла (чистый алюминий) после травления

При анализе графиков видно, что добавление модификатора приводит к снижению амплитуд колебаний сигнала, снижению частоты появлений отдельных выбросов.

ТАБЛИЦА II. Результаты анализа чистого Al

Наименование	Значение
Коэф-нт эксцесса	17.77
Коэф-нт асимметрии	0.05
Энергия АЭ	102
Средний размер зерна, мм	1.43
Маса модификатора, мг	0
Масса образца, мг	176
Анализируемая площадь образца, см^2	4

Из полученных результатов можно делать вывод, что добавление модификатора AlTi5Bl уменьшает размер зерна, энергия акустической эмиссии становится меньше.

В таблице III показано среднее число зависимости энергии АЭ от добавления модификатора по проведённым опытам

ТАБЛИЦА III. ЗАВИСИМОСТЬ АЭ ОТ ДОБАВЛЕНИЯ МОДИФИКАТОРА

Наименование	Энергия АЭ
Чистый AL	От 120-160
Al с добавлением модификатора AlTi5Bl	Менее 112

V. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Процесс кристаллизации является очень сложным, качественно измерить структуру зерна и сделать выводы о необходимости внесения изменений на стадии литья-актуальная задача. Рассматриваемая установка позволяет в процессе литья прослеживать структуру будущего слитка с возможностью оперативной корректировки технологии производства.

В процессе эксперимента было сделано следующее заключение:

- графики среднеквадратического отклонения сигнала акустической эмиссии алюминия с модификатором носят более монотонный характер, для чистого алюминия график содержит больше пиков и выбросов;

- коэффициент эксцесса показывает, что добавление модификатора делает график островершинным, выбросы на графике больше по величине, чем на графике для чистого алюминия;

- в чистом алюминии сигнал АЭ характеризуется большей мощностью, что связано с процессом кристаллизации большего по размеру зерна;
- добавление модификатора уменьшает размеры зерна алюминиевого слитка.

Мониторинг параметров АЭ на протяжении всей стадии изготовления изделия с выведением результатов в итоговый отчет позволит создавать акустические паспорта на слитки. Определение размера зерна с помощью описанной системы открывает возможности для дальнейших исследований, которые могут в металлургической области качественно поменять технологию производства в целом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

[1] ГОСТ 5639-82 Стали и сплавы. Методы выявления и определения величины зерна /Межгосударственный стандарт. - М.: ИПК Издательство стандартов, 2003

[2] Бочкарев А.В., Ярославкина Е.Е., Ярославкин А.Ю., Муратова В.В.Разработка эксперементальной установки прогнозирования размера зерна алюминия акустико-эмиссионным методом // сб. научн. статей 2-й Всерос. Научн. Конф. перспективных разработок молодых ученых: в 3 томах. Юго-Западный государственный университет; Московский политехнический университет. 2018. С. 235-238.

[3] Ланге П.К., Ярославкин А.Ю. Система для измерения размера зерна металлического сплава с использованием аппроксимационного спектрального анализа сигнала акустической эмиссии кристаллизации // Вестник СамГТУ Серия: «Технические науки». 2012. № 2 (34). С. 68-74.

[4] Шулаев И.Л. Контроль в производстве черных металлов. М: Металлургия, 1978, 248 с.

[5] Паврос С.К., Паврос К.С., Курков А.В. Патент 2350944 Способ измерения среднего размера зерна материала поверхностными акустическими волнами /ГОУВПО "Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет "ЛЭТИ" (RU), 2008

[6] Крауткрамер Й., Крауткрамер Г. Ультразвуковой контроль материалов. Справочник, М.: Металлургия, 1991, 752 с.

[7] Tasic M, Andic Z., Vujovic A., Jovanic P. Analysis of the process of cristallization of continuous cast special brass alloys with the acoustic emission – Mate, 2010, 44(6), pp 397-401

[8] Wang X., Févotte G., Huang Y., Michelitsch T. Acoustic emission dur- ing the solvent mediated cooling crystallization of citric acid. Powder Technology, Elsevier, 2016, 301, pp.70 - 77.

[9] Шокаров Х.Б. Акустический эффект фазовых переходов в конденсированных средах: дис. ... д-ра. физ-мат. наук: 01.04.14 / Шокаров Хасанби Баширович. - Нальчик., 2001. - 294 с.

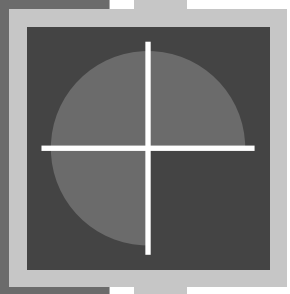
[10] Воронцов В.Б., Никитин К.В. Определение класса пористости металла методо акусто-эмисси // Литье и металлы. Технология, оборудование, САПР и экология литейного производства. М.: 2009, 3(52) - С. 104-108

[11] ГОСТ Р 53777-2010 Лигатуры алюминиевые /Национальный стандарт российской федерации . М.: Стандартинформ, 2010

[12] Баранов В.М., Гриценко А.И., Карасевич А.М., Кудрявцев Е.М., Ремизов В.В., Сарычев Г.А. Акустическая диагностика и контроль на предприятиях топливно-энергетического комплекса. М.: Наука, 1998, 304 с.

[13] Растегаев И.А., Мерсон Д.Л., Данюк А.В., Афанасьев М.А., Хрусталев А.К. Универсальный волновод для акустико-эмиссионного контроля высокотемпературных промышленных объектов // Дефектоскопия, 2018, №3 - С. 19-30

[14] Yakimov V.N., Gorbachev O.V. Firmware of the amplitude spectrum evaluating system for multicomponent processes. Instruments and Experimental Techniques, Publisher: Springer US, New York, Vol. 56, No. 5, pp. 540-545, September 2013.



Intelligent systems and technologies
Интеллектуальные системы и технологии

Matching digital copies of documents based OCR

O. A. Slavin
Federal Research Center "Computer Sciences and Control" Russian Academy of Sciences
Moscow, Russia
oslavin@isa.ru

E. I. Andreeva
OOO "Smart Engines Service", "Moscow Institute of Physics and Technology (State University), MIPT"
Moscow, Russia
andreeva@phystech.edu

N.B.Paramonov
Bruk Institute of Electronic Control Machines, (INEUM)"
Moscow, Russia
paramonov_n_b@mail.ru

***Abstract* — The paper deals with methods for comparison of digitized copies of business documents. This task arises when comparing two copies of documents signed by two parties in order to find possible modifications made by one party, for example, in the banking sector during conclusion of contracts in paper form. The comparison method of two digitized images based on the combination of several ways of comparing the words images that are descriptors of text feature points is proposed. The proposed method is well proven on own dataset (Russian). The results show the high quality and reliability of differences search in two samples of the same document.**

Keywords — comparison of documents, images segmentation, feature point, recognition of documents, Levenshtein distance

I. Introduction

When concluding contracts in paper form, a situation may arise when one of the parties may make changes to its copy of the contract, and these changes are unwanted for the opposite party. For example, the bank customer may change the terms of the contract in his favor. It is necessary to compare documents or documents images to avoid signing of modified documents. The purpose of comparison is to find possible modifications in the text of the document. This paper discusses business documents with a simplified structure. Business documents differ from arbitrary documents by a simplified structure and design, meant for a quick understanding of the document by a person. For example, contractual documents include one or two columns, the text is one-coloured.

The scanned pages consisting of lines, words and individual characters were the objects for comparison of the documents.

Several types of possible modifications to the content of the document were considered:

- replacement of one or more characters in a word;
- replacement of one word with another;
- addition of a word or a group of words;
- removal of a word or group of words.

Other modifications that corrupt the design of the document may also be considered, for example,

- change the style of words (size, fonts, type);
- change words document fields;
- change the number of paragraphs;
- change fields.

The problem of comparing documents can be considered as document forgery detection problem.

The paper [13] describes a method of automatic detection of fakes, based on the features of the characters. This method is aimed at detecting outliers of the characters in the space of discriminant features, and the detection of compatible (similar) images of the characters. The set of features is calculated for all characters, and then, based on the distance between characters of the same class, the character is classified as genuine or fake.

A simplified approach for the comparison of documents coming from the same source was used in the works [14, 15]. The problem when comparing different copies of structured documents from the same source is the need to distinguish between static and variable parts of the document. Different invoices from the same source may have nothing in common except series data.

In the work [16] the main distortion associated with the search for falsifications is called non-uniform vertical scaling. When a printed document is scanned and printed again, the contents of the re-printed document have slightly different vertical distances compared to the original.

The listed methods show the high quality of comparison of documents, for example, proposed methods of comparison in the work [16] allow to find all the fakes for a test set containing invoices and doctor bills (40 original and 12 fake documents), upon that 30% of the original documents belong to the suspicious class. However, these methods have not been well proven for documents printed in Cyrillic, and are aimed not at finding modifications of separate words or symbols, but to proof of the hypothesis on the falsification of the document as a whole.

In this paper we will describe a new method that allows to detect the specified modifications in scanned images of business documents.

The research is carried out with partial financial support of The Russian Foundation for Basic Research (projects: 16-07-01051, 17-29-03297).

©2019 ИПУСС РАН, СамГТУ, IEEE

II. METHODDESCRIPTION

Let's consider the problem of inconsistencies search between scanned images of two copies of a business document pages. One image is a model page, another is a testing one. In the model image words are pre-allocated, for which information about the size and relative positions is available. In the test image it is necessary to search for possible modifications and highlight the found words modifications.

We will use the concept of a *text feature point* as sequences of characters (words) and its properties:

$$W=(T(W), m_1(W), m_2(W), m_3(W))$$

where

- $T(W)$ – *the core* of the text feature point, that is, a sequence of characters of a word consisting of characters of a certain alphabet;
- $m_1(W)$ – *boundaries* of the text feature point consisting of normalized coordinates $m_{4x1}(W)$, $m_{4y1}(W)$, $m_{4x2}(W)$, $m_{4y2}(W)$ in the range [0,1];
- $m_2(W)$ – a sign of dependence on a case (case sensitive/insensitive) when comparing the symbols;
- $m_3(W)$ – threshold when *comparing* two words $t(W)$ and W^r. To compare two words we used the Levenshtein distance [1] or a simplified function that takes into account only the number of operations to replace one character with another. If $d(t(W),W^r)<m_1(W)$, then the word W^r and text feature point W are *identical*, otherwise they are different. In the simplest case, $m_3(W)$ – is the maximum number of replacement operations when transforming $t(W)$ into W_r.

The boundaries of the text feature point are naturally formed when the image of the document is recognized. The term text feature point corresponds to the general notion of a feature (key) point consisting of a pair of coordinates and a descriptor that allows distinguishing a feature point from adjacent points of the image. Well-known examples of descriptors are SIFT, SURF, ORB, YAPE [5]. A descriptor of a textual feature point is the core $T(W)$. A detector of a textual feature point is some OCR.

Feature points are used for the analysis of documents, for example, the work [7] describes methods of analysis of identification of documents images with a distinctive graphical structure in the form of unchanged text zones (field labels: first name, last name, etc.), fields with changeable text (personal data) and the same background. During the training feature points which correspond to each teaching image of one class were allocated. To speed up the process of direct comparison at time of classification, each constructed model was indexed by random trees, the constructed models are ranked by the distance to the object (image) during the classification. Further the converse comparison of the feature points and the models with feature points of the query image was carried out for all the models. Whereby the algorithm RANSAC [4] for the search of geometric transformation that displays the largest number of pairs of feature points and eliminates outliers was applied.

Proposed method in the present work is based on the document model as a set of text feature points and comparing of the model text feature points with the similar feature points of the test image.

Let's define document D as a set of lines $\{L_i^d\}_{i=1}^{|D|}$, each of the lines L^d is a set of text feature points $L^d = \{W_j^l\}_{j=1}^{|L^d|}$.

The method of inconsistence search consists of the following steps:

- processing of test image:
  - preprocessing of image,
  - segmentation of text into lines,
  - segmentation of lines into words,
- coordination of lines and words of model and test images.

The first step of preprocessing of the scanned images was noise rejection and standardization of the image (correction angle), after which the text lines were strictly horizontal. The algorithm of Hough fast transform [3] was used for this purpose.

The next step is the selection of lines and words. Vertical segmentation into lines and horizontal segmentation of the obtained lines into words is carried out by analysis of histograms and morphological operations. The following morphological operations were applied: dilation, erosion, close and open [17]. After segmentation, the images were presented as a coordinates set of word frame.The operation options related to the thickness of lines and distance between lines was determined according to the known characteristics of the characters from the model image.

The most important stage is the coordination of words and lines running through the text comparison of text feature points, constituting lines. Two lines are considered to be coordinated if the proportion of coordinated words in these lines is greater than the specified δ_{line} threshold.

The search for modifications in the document D in relation to the model document D_E is carried out after if all the lines and words are coordinated in them.

A combination of several methods is used to compare words.

The first method is based on text recognition in scanned images. We used two tools for recognition:

- freely licensed program for text recognition OCR Tesseract;
- smart ID Reader recognition library [6].

The paper [2] lists the advantages of OCRTesseract: possibility of free distribution and reporting of recognition results in HOCR (HTML OCR) format, which contains information about the frames coordinates of the recognized word. Such distinctive errors for Tesseract OCR (we used version 4.0), as wrong recognition of the page structure and the errors of characters recognition complicate the comparison of documents and make false positives in the results of the comparison.

Smart Engines recognition library the basic principles of which are described in paper [8], having less functionality compared to OCR Tesseract, provides more accurate

recognition of documents, primarily Russian. Recognition in this library is based on two types of neural networks. The first neural network each convolution layer follows subsampling layer, and each layer subsampling layer and directly-connected layer – heuristic layer of random partial reset. Hyperbolic tangent was used as activation functions. In order to increase the accuracy of segmentation and character recognition, a combination of convolutional network and two-way recurrent neural network was used. Recurrent neural networks of long short-term memory architecture, effective for the analysis of sequences of various objects, in particular for the recognition of printed and handwritten texts were used [9].

We describe a comparison of words represented as text feature points. Using the Levenshtein distance [1] lev(A,B) we determine the similarity coefficient for two words as follows:

$K_{OCR}(A,B) = 1 - \text{lev}(A,B)/\max(|A|,|B|)$

where $|A|$ and $|B|$ - are lenghts of words A and B.

Two text feature points will be considered coordinated if their similarity coefficient was greater than the specified threshold: $K_{OCR}(A,B)>\delta_{OCR}$. Upon that the order of close text feature points in the model line must be preserved. Namely, when checking the coordination of the test text feature point W_T and the model point W_E, it is necessary to place to the adjacent W_T points W^l_T and W^r_T, already coordinated with the points W^l_E and W^r_E. That is, if the model text feature point W_E was placed between W^l_E and W^r_E points, then the W_T test point must be placed between $W^l_T$and W^r_T points.

For comparison of recognized words, the following operations related to the features of recognition OCR Tesseract are to be applied:

- ignoring a case;
- assimilation of some characters, such as short and long dashes, hyphen, and minus sign;
- ignoring a punctuation;
- assimilation of characters which are similar in the context of the recognition mechanism, for example, such as the letter O and number 0, the letter З and number 3 [11].

During the proposed method, false responses occur, the number of which can be reduced by combining with other methods of comparing the words images based on the comparison of feature points.

Feature points were detected for the words of the model and test images and RFD descriptors were calculated for the found feature points [5].

The descriptors of points located in the model image on the transformed test image were calculated, and then two sets of binary descriptors of points with geometrically close location were compared. After comparison, the algorithm based on the RANSAC method [4] was cleaned from outliers and the similarity coefficient was calculated:

$$K_{fp}(A,B) = 1 - |n_{outliners}| /(|n_{outliners}|+|n_{inliners}|),$$

where $n_{outliners}$ - a number of outliers, $n_{inliners}$ - a number of inliers. Two words were considered coordinated if their similarity coefficient was greater than the prespecified threshold: $K_{fp}>\delta_{fp}$.

Another method of comparing the words images is based on the symmetry defined as follows was used: for each image I, an extended image $O^{(1)}(I)$, is constructed, including the image I itself and its unit neighborhood. The distance between the images was calculated by the formula:

$$\mu_1(A,B) = \sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n}\left(a_{ij} \cdot \overline{O}^{(1)}_{b,ij} + b_{ij} \cdot \overline{O}^{(1)}_{a,ij} \right),$$

where $O^{(1)}(A) = \|O^{(1)}_{a,ij}\|$, $O^{(1)}(B) = \|O^{(1)}_{b,ij}\|$ - enhanced images A and B.

When comparing images A and B, several shifts of the image $A=\|a_{ij}\|$ in different directions were carried out, the minimum value of the obtained values was chosen as the distance between the centered images A and B

$$d_1(A, B) = \min(\mu_1(A^{(h,v)}, B)),$$

where $h,v \in S_p(z) = \{-z, \dots, 0, \dots, z\}$, z – positive integer number. The image $A=\|a_{ij}\|$ was shifted in different directions as follows:

$$A^{(h,v)} = \left\| a^{(h,v)}_{ij} \right\|,$$

where $h,v \in S_p(z)=\{-z, -z+1, \dots, -1, 0, 1, \dots, z-1, z\}$,

$a^{(h,v)}_{ij} = a_{i+v,j+h}$ if $0<i+v\le M$ и $0<j+h\le N$,

$a^{(h,v)}_{ij} = 0$ in the remaining cases.

The results of combining of the described methods of comparing page images consist in the found correspondences of text feature points of the model and test images. The number of false positives in the comparison results was reduced by the analysis of words that are neighbors of uncoordinated words.

We checked the gluing of two words and the division of the word into several parts, which are the result of incorrect segmentation. The example is when most of the split word will be placed according to the model word, and the smaller part will be considered as an inserted word.

The figures below show several cases of false responses. In figures 1-6, words that do not match are marked in red and if the test word is coordinated with the word from the model page, the top word corresponds to the model document, and the bottom word corresponds to the test document are marked in blue.

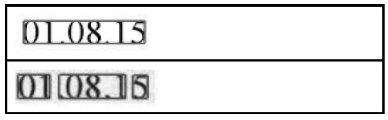


Fig. 1. The test word is divided into parts, no correspondence is established for either the model word or parts of the test word.

Fig. 2. Two test words are glued together, no correspondence is established for either the model word or parts of the test word.

Fig. 3. Two test words are glued together, no correspondence is established for the second part of the model word, the rest words are coordinated.

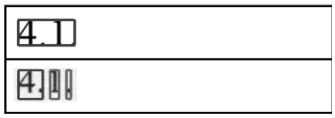


Fig. 4. The test word is divided into parts, the model word and the first word consisted of parts of the test word are coordinated, and no correspondence is found to the other parts of the test word.

Fig. 5. Two test words are glued together, no correspondence is established for the first part of the model word, the rest words are coordinated.

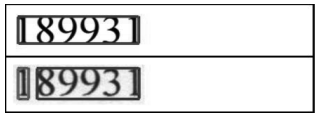


Fig. 6. The test word is divided into parts, the model word and the second word consisted of parts of the test word are coordinated, and no correspondence is found to the first part of the test word.

For such cases, the clarification of words coordination was carried out by combining or dividing the relevant parts of the words.

Also, a check for the shift of words by lines (an example is shown in figure 6) was made. When you make modifications to the word insertion and deletion type, the words can be shifted or moved to other lines, which prevents line-by-line comparison, as the shifted words will be considered as a modification, as shown in the figure. In order to avoid such false responses, a check for words shift by lines is made. To do this, when a shift is detected, the next and the previous line is considered and the words on them are compared, regardless of the position on the line.

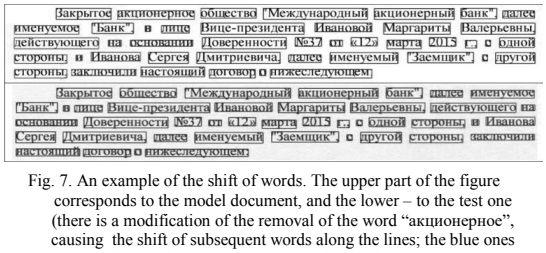


Fig. 7. An example of the shift of words. The upper part of the figure corresponds to the model document, and the lower – to the test one (there is a modification of the removal of the word "акционерное", causing the shift of subsequent words along the lines; the blue ones are the words that are matched, and the red ones are those that are not found).

III. The results of experiments

For the experiments, we prepared our own test data set consisting of 210 pairs of documents consisting of about seventy thousand words, with 820 modifications, including insertion and deletion of lines. Half of the test images was scanned at 200 dpi resolution and the other half at 300 dpi. Most of the images did not contain tables and graphic elements.

Testing of the algorithm consisted of counting:

- a number of correctly found modifications*tp*,
- a number of false positives *fp*
- a number of real unfounded modifications*fn*,

and definition of the precision and recall characteristics:

$$Precision = tp / (tp + fp),$$
$$Recall = tp / (tp + fn).$$

Table I presents the results obtained using only OCR Tesseract, table II presents the results of the experiment when combining OCR Tesseract recognition results with OCR Smart Engines.

TABLE I. The results of the experiments (OCR Tesseract)

	Precision	*Recall*	*fn*
300 dpi	64,62%	96,36%	2
200 dpi	64,14%	98,00%	2

TABLE II. The results of the experiments (OCR Tesseract and OCR Smart Engines).

	Precision	*Recall*	*fn*
300 dpi	90,91%	98,18%	0
200 dpi	74,38%	98,00%	0

As it is seen from tables I and II, the use of OCR Smart Engines significantly increases the determination of modifications accuracy: at 10% for 200 dpi images and at 26% for 300 dpi images, while it practically does not affect to the completeness of modifications detection. The total completeness of modifications detection is quite large and is 98% for images of 300 dpi and 200 dpi. Accuracy is reduced due to false responses caused by recognition errors.

Degradation of accuracy for the case of 200 dpi is also associated with an increase in the number of recognition errors, examples of which are shown in figure 8.

Fig. 8. Examples of typical errors. Images of words are presented on the left, results of recognition are on the right.

Note that there are no type II errors (*fn*=0) in the results of the experiment presented in Table 2.

IV. Conclusion

The offered combination of several methods allows to solve the problem of inconsistencies search between scanned copies of business documents. The experiments show that the images scanned with a resolution of 300 dpi achieved precision of 90.9%, recall was 98.2%, type II errors (*fn*=0) are detected for these images.

The development of the proposed methods can be the use of artificial neural networks to compare the images of two words.

References

[1] Levenshtein V.I. Binary codes with correction of drops, inserts and substitution of symbols. Moscow: Doklady AN SSSR [Reports of the USSR Academy of Sciences], vol. 163, № 4, 1965, pp. 845-848. (in Russian).

[2] Slavin O.A. Method of classification of recognized pages of business documents based on the template matching method. Trudy Sed'moj Mezhdunarodnoj konferencii "Sistemnyj analiz i informacionnye tehnologii" (SAIT – 2017) [Proc. of the Seventh International conference "System analysis and information technologies" (SAIT – 2017)], 2017, pp. 667-671. (in Russian)

[3] Nikolaev D., Karpenko S., Nikolaev I., and Nikolayev P. Hough transform: underestimated tool in the computer vision field. Proc. of the 22th European Conference on Modelling and Simulation. 2008. P. 238–246,

[4] Fischler M.A., Bolles R.C. Random Sample Consensus: A Paradigm for Model Fitting with Applications to Image Analysis and Automated Cartography. Comm. Of the ACM 24: 381–395. June 1981. DOI:10.1145/358669.358692.

[5] Shemyakina Y.A., Zhukovsky A.E., Faradzhev I.A. Investigation of algorithms for computing the projective transformation in the problem of guidance to a planar object from feature points. Moscow: Iskusstvennyj intellekt i prinjatie reshenij [Artificial intelligence and decision – making], № 1, 2017, pp. 43-49. (in Russian)

[6] Bulatov K., Arlazarov V., Chernova T. V., Slavin A., Nikolaev D. Smart IDReader: document recognition in a video stream // the 14th IAPR International conference on document Analysis and Recognition (ICDAR 2017), master classes and lessons: November 9-12, Kyoto, Japan, 2017 – pp. 39-44. ISSN: 2379-2140 http://ieeexplore.ieee.org/document/8270294/

[7] Awal A.M., Ghanmi N., Sicre R., Furon T. Complex Document Classification and Localization Application on Identity Document Images // Proc. 14th IAPR International Conference on Document Analysis and Recognition. – 2017. – P. 427-432. doi 10.1109/ICDAR.2017.77

[8] Chernov T. S., Ilyin D. A., Bezmaternykh P.V., Farajev I.A., KarpenkoS.M. Research of Segmentation Methods for Images of Document Textual Blocks Based on the Structural Analysis and Machine Learning. Vestnik RFFI [Journal of RFBR], № 4 (92) October - December 2016, pp. 55-71, DOI: 10.22204/2410-4639-2016-092-04-55-71. (in Russian)

[9] Tang Z., Wang D.,Zhang Z. Recurrent neural network training with dark knowledge transfer. IEEE international conference on acoustics, speech and signal processing (ICASSP) – 2016. – P. 5900–5904

[10] Slugin D.G., Arlazarov V.V. Search document text fields by using image processing methods. Moscow: Trudy ISA RAN [Proc. of ISA RAS], Vol. 67, No. 4. 2017. P. 65-73. (in Russian)

[11] Bulatov B.K., Ilin D.A., Polevoy D.V., Chernyshova Y.S. Problems of recognition machine-readable zones, using small-format digital cameras of mobile devices. Trudy ISA RAN [Proc. of ISA RAS], 2015, vol. 65, No. 3, pp. 85-94. (in Russian).

[12] Sidère N., Cruz F., Coustaty M. and Ogier J-M. A Dataset for Forgery Detection and Spotting in Document Images / in Proc. of Seventh International Conference on Emerging Security Technologies (EST) (2017). DOI: 10.1109/EST.2017.8090394 https://sci-hub.tw/10.1109/EST.2017.8090394

[13] Bertrand R., Terrades O. Gomez-Kramer R., Franco P., P., and Ogier J. A conditional random field model for font forgery detection // in 13th International Conference on Document Analysis and Recognition, Nancy, France, 2015. [Online]. Available: http: //dx.doi.org/10.1109/ICDAR.2013.29

[14] Beusekom J., Shafait F., and Breuel T. M. Automated OCR ground truth generation // in Proc. of the 8th IAPR Workshop on Document Analysis Systems, Nara, Japan, September 2008, pp. 111–117. https://sci-hub.tw/10.1109/DAS.2008.59

[15] Beusekom J., Shafait F., and Breuel T. M. Document signature using intrinsic features for counterfeit detection // in Proceedings of the 2nd international workshop on Computational Forensics, ser. IWCF '08. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2008, pp. 47–57. https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2F978-3-540-85303-9_5.pdf

[16] Ahmed A. G. H., Shafait F. Forgery Detection Based on Intrinsic Document Contents. 2014 11th IAPR International Workshop on Document Analysis Systems. doi:10.1109/das.2014.26

[17] Rafael C. Gonzalez Digital Image Processing / Rafael C.Gonzalez, Richard E.Woods; translated from English. – Moscow: Technosfera 2005. – 1072 page

Многоагентная система маршрутизации транспортных средств в стохастической транспортной сети

Агафонов А.А.
Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева
Самара, Россия
ant.agafonov@gmail.com

Мясников В.В.
Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева
Самара, Россия
vmyas@geosamara.ru

Бородинов А.А.
Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева
Самара, Россия
aaborodinov@yandex.ru

***Abstract* — The paper considers the architecture of a multiagent decentralized routing system in which each vehicle is represented by an agent that interacts with the road infrastructure. Each vehicle reserves a space-time slot on the road segments included in the route, which makes it possible to predict the load of the segments and estimate the travel time with greater accuracy. To estimate the travel time, it is proposed to take into account the stochastic properties of the network; consider not only the average travel time, but also the variance of time. The proposed approach is compared with alternative routing strategies: uncontrolled routing and with Underwood speed-density relation. The experiments are done in microscopic simulation of a real-world traffic environment using SUMO modelling software.**

Ключевые слова — маршрутизация транспортных средств, резервирование маршрутов, кратчайший путь, моделирование движения, SUMO

I. Введение

Дорожные заторы являются одной из основных проблем в современных транспортных системах, особенно в крупных городах. Рост уровня трафика уменьшает эффективность транспортной инфраструктуры, что ведет к увеличению времени поездок, повышению расхода топлива и, как следствие, увеличению уровня загрязнения окружающей среды.

Основной причиной возникновения дорожных заторов является не только недостаточный уровень пропускной способности транспортной сети, но и отсутствие эффективных инструментов управления трафиком для поддержки изменяющегося транспортного спроса.

Развитие интеллектуальных транспортных систем и бортовых навигационных систем, а также разработка автономных транспортных средств, позволяет рассматривать задачу управления транспортными потоками с точки зрения маршрутизации отдельных транспортных средств. Такой подход позволит предотвращать или быстрее реагировать на образование дорожных заторов, в т.ч. из-за дорожно-транспортных происшествий.

В работе рассматривается архитектура многоагентной децентрализованной системы маршрутизации, в которой каждое транспортное средство представляется агентом, взаимодействующим с дорожно-транспортной инфраструктурой. При построении маршрута движения каждое транспортное средство резервирует пространственно-временной слот на сегментах дорожной сети, входящих в маршрут, что позволяет прогнозировать загрузку сегментов дорожной сети и оценивать время движения с большей точностью. Для оценки времени прохождения сегмента в работе предлагается учитывать стохастические свойства сети, т.е. рассматривать не только среднее время прохождения сегмента, но и дисперсию времени. Разрабатывается стохастическая модель соотношений скорости и плотности транспортного потока в предположении, что характеристики сегмента зависят от количества зарезервированных слотов на сегменте. Следует отметить, что построение маршрута движения для нового транспорта средства обновляет состояние резервирования сегментов сети и затрагивает в том числе ранее построенные маршруты. Кроме того, очевидно, что предположение о том, что все транспортные средства будут двигаться с указанной скоростью, является невыполнимым, поэтому на практике ожидаются значительные отклонения наблюдаемой дорожной ситуации от прогнозируемой. Для уменьшения отклонения между прогнозным и наблюдаемым временем движения и достижения транспортного равновесия в сети предлагается использовать итеративную процедуру. Предложенный подход сравнивается с альтернативными стратегиями маршрутизации: с использованием детерминированного соотношения скорости-плотности транспортного потока и неконтролируемой динамической маршрутизацией, основанной на использовании текущей информации о состоянии транспортных потоков в сети. Экспериментальное исследование предложенной модели проведено на основе микроскопического моделирования движения транспортных средств.

Статья организована следующим образом. Во втором разделе кратко приводится обзор литературы по смежным с настоящей работой темам. В третьем разделе приводится формулировка проблемы. Описание предлагаемого решения представлено в четвертом разделе. В пятом разделе представлены постановка и результаты экспериментов, выполненных в системе микроскопического транспортного моделирования. В завершении работы представлено заключение.

II. Обзор литературы

Существуют различные подходы к классификации систем маршрутизации транспортных средств. В [1]

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке грантов РФФИ № 18-07-00605 А, № 18-29-03135-мк.

©2019 ИПУСС РАН, СамГТУ, IEEE

исследуются статические и динамические, детерминированные и стохастические, реактивные и прогнозные, а также централизованные и децентрализованные системы построения маршрутов. Обзор существующих методов управления дорожными заторами представлен в [2]. В статье изучаются многоагентные системы, показано преимущество гибридных систем, в которых принятие решений распределено между транспортные средствами и объектами транспортной инфраструктуры, что позволяет учитывать пользовательские предпочтения при построении маршрута, основываясь на данных о распределении транспортных потоков в сети.

В реактивных многоагентных системах предполагается, что маршрутизация транспортных средств – агентов – может быть выполнена наилучшим образом, основываясь на текущей информации о состоянии транспортных потоках. Существующие алгоритмы поиска пути, реализованные в составе интеллектуальных транспортных систем, картографических сервисов или бортовых навигационных систем, в основном позволяют находить кратчайший маршруты на основе текущей информации о распределении транспортных потоков и не позволяют быстро реагировать на изменение дорожной ситуации и предлагать альтернативный маршрут движения. К тому же, предоставление схожих маршрутов движения и информации о состоянии транспортных потоков разным водителям может приводить к образованию новых заторов, т.к. большинство водителей будут выбирать менее загруженные маршруты движения. Такое поведение, как показано в [3], приводит к колебаниям состояния сети и ухудшает транспортную ситуацию в целом.

В отличие от реактивных систем, проактивные многоагентные системы прогнозируют условия движения, учитывая планируемые маршруты движения агентов – транспортных средств [4-6]. При возникновении дорожных заторов выполняется перестроение маршрутов движения.

В [4] рассматривается децентрализованный подход к маршрутизации транспортных средств на основе многоагентных систем. После нахождения маршрута движения каждый агент – транспортное средство информирует инфраструктурные агенты о предполагаемом маршруте движения. Эта информация используется для улучшения оценки маршрутов движения других агентов. В [7] авторы предлагают несколько эвристических методов перестроения маршрутов для предотвращения образования дорожных заторов, включая: случайный выбор пути из k кратчайших путей; распределение потока транспортных средств по различным маршрутам; максимизация энтропии маршрутов.

В [5] предложен метод резервирования маршрутов, который заключается в разбиении сегментов дорожной сети на слоты в пространственной и временной областях и резервировании областей для каждого транспортного средства. В соответствии с этим методом, дорожный сегмент доступен для движения только в том случае, если количество зарезервированных слотов не превышает критическую плотность транспортного потока на сегменте. Однако время прохождения дорожного сегмента считается постоянным и не зависит от количества транспортных средств на сегменте. Схожий подход был использован в [6], однако скорость прохождения сегмента считалась зависящей от количества зарезервированных слотов на сегменте. В [8] для выбора маршрутов движения в многоагентной системе применяется муравьиный алгоритм.

Обучение с подкреплением для решения задачи управления движением автономных транспортных средств на перекрёстке используется в [9-10].

Несколько работ посвящено решению задачи нахождения системного оптимума распределения транспортных потоков с использованием аппарата теории игр [11-13]. Однако представленные алгоритмы являются вычислительно сложными и не могут быть использованы для маршрутизации транспортных средств в режиме реального времени.

Практически все рассмотренные работы считают время прохождения дорожных сегментов не зависящим от количества зарезервированных слотов / планируемых маршрутов движения, проходящих по указанным сегментам. В то же время, скорость движения на дорожном сегменте напрямую зависит от плотности транспортного потока на сегменте. В [14] сделан обзор основных соотношений скорости-плотности потока и представлена новая обобщенная модель, основанная на микроскопическом моделировании движения транспортных средств. В [15] предложено использовать логистические функции для описания соотношения скорости-плотности потока. Зависимость дисперсии скорости прохождения дорожного сегмента от плотности потока исследовалась в [16]. В [17] рассматриваются стохастические фундаментальные диаграммы транспортных потоков и стохастические соотношения скорости-плотности.

В данной работе для оценки времени прохождения сегмента в работе предлагается учитывать стохастические свойства сети, т.е. рассматривать не только среднее время прохождения сегмента, но и дисперсию времени.

III. Формулировка проблемы

Улично-дорожную сеть будем рассматривать в виде ориентированного графа $G=(V, E)$, в котором вершины V, $N_V = |V|$ соответствуют перекрёсткам дорожной сети, ребра E, $N_E = |E|$ соответствуют сегментам дорожной сети между перекрёстками.

Пусть U – множество транспортных средств. Для каждого транспортного средства $u_k \in U$ считаются известными вершины отправления O_k и назначения D_k, а также время начала движения τ_k.

Пусть p_h обозначает h-й возможный путь транспортного средства $u_k \in U$ из вершины отправления O_k к вершине назначения D_k, $p_h = \left(v_1^h, v_2^h\right), \left(v_2^h, v_3^h\right), \ldots, \left(v_{L_h-1}^h, v_{L_h}^h\right)$, где $v_j^h \in V$ – j-я посещённая вершина в h-м пути, $v_0^h = O_k, v_{L_h}^h = D_k$, L_h – количество вершин в h-м пути.

Время прохождения дорожного сегмента $(i, j) \in E$. между вершинами $i \in V$ и $j \in V$ в момент времени t обозначим как $c_{ij}(t)$. Обозначим как $n_{ij}(t)$ общее количество транспортных средств, зарезервировавших временной слот t на дорожном сегменте $(i, j) \in E$. Величина $p_{ij}(t) = n_{ij}(t) / (\lambda_{ij} N_{ij})$ определяет мгновенную плотность транспортного потока на дорожном сегменте $(i, j) \in E$ в момент времени t. Будем считать, что время (и скорость) прохождения дорожного сегмента зависит от плотности транспортного потока на этом сегменте.

Обозначим $d^h_{v_j}$ время прибытия в вершину v_j при движении по пути p_h. Тогда время прибытия в каждую вершину может быть записано в следующем виде:

$$\begin{aligned} & d^h_{O_k} = \tau_k, \\ & d^h_{v_0} = d^h_{O_k} + c_{v^h_0, v^h_1}(d^h_{O_k}), \\ & \dots \\ & d^h_{D_k} = d^h_{v^h_{L_h-1}} + c_{v^h_{L_h-1}, D}(d^h_{v_{L_h-1}}). \end{aligned} \quad (1)$$

Тогда задача маршрутизации заключается в нахождении пути с наименьшим ожидаемым временем прибытия в вершину назначения и может быть записана как:

$$d^*_D = \min_{p_h} d^h_D. \quad (2)$$

IV. Метод резервирования маршрутов

A. Алгоритм резервирования маршрутов

По сути, задача маршрутизации одного транспортного средства заключается в нахождении кратчайшего пути в зависящем от времени графе. Однако, на практике необходимо осуществлять маршрутизацию с учётом маршрутов движения других транспортных средств в транспортной сети.

Для решения этой задачи в работе предлагается использовать метод резервирования маршрутов в рамках интеллектуальной транспортной системы (ИТС) [6]. Время дискретизируется во временные интервалы с шагом дискретизации T_{dicr}. Для каждого временного интервала и каждого сегмента сети хранится оценка количества транспортных средств, которые будут находиться на дорожном сегменте в выбранный интервал времени при движении по заданному маршруту.

Введем дополнительное обозначение $T_{reroute}$ – интервал перестроения маршрута транспортного средства. Процедура маршрутизации состоит из двух частей: отправка координат текущего положения транспортного средства каждые $T_{reroute}$ секунд для построения / перестроения маршрута движения и непосредственно расчёт пути в ИТС.

Алгоритм резервирования маршрутов состоит из следующих шагов:

1) Если для выбранного транспортного средства маршрут движения был рассчитан - удалить транспортное средство из зарезервированного трафика на каждом сегменте, входящего в маршрут движения.
2) Рассчитать кратчайший путь между вершинами отправления и назначения, используя алгоритм A* [17]. Время прохождения дорожных сегментов рассчитывается исходя из аккумулированного трафика на сегменте с помощью выбранного соотношения скорости и плотности транспортного потока.
3) Обновить зарезервированный трафик для дорожный сегментов, входящих в новый маршрут движения.

Введем следующие обозначения: τ_{in} и τ_{out} – время въезда на дорожный сегмент и время выезда с дорожного сегмента соответственно, $[z]$ – целая часть числа z, **A*** (O_k, D_k, n) – расчёт кратчайшего пути алгоритмом **A*** из вершины O_k в вершину D_k с учётом состояния загрузки транспортной сети *n*. Тогда алгоритм в виде псевдокода может быть описан следующим образом:

Входные данные: O_k, D_k, τ_k, k
if $p_k \neq \varnothing$ **then** //Очистить зарезервированный трафик
  for $(i, j) \in p_k$ **do**
    $\tau_{in} = [d_i / T_{discr}]$;
    $\tau_{out} = [d_j / T_{discr}]$;
    for $t = \tau_{in}, \tau_{out}$ **do**
      $n_{ij}(t) = n_{ij}(t) - 1$;
    end for
  end for
end if

$p_k =$ **A*** (O_k, D_k, n); //Обновить маршрут

for $(i, j) \in p_k$ **do** //Обновить зарезервированный трафик
  $\tau_{in} = [d_i / T_{discr}]$;
  $\tau_{out} = [d_j / T_{discr}]$;
  for $t = \tau_{in}, \tau_{out}$ **do**
    $n_{ij}(t) = n_{ij}(t) + 1$;
  end for
end for

Для построения маршрута движения необходимо оценить скорость движения на сегментах дорожной сети в зависимости от их прогнозируемой загрузки. В отличие от работы [6] в данной работе предлагается учитывать не только среднюю скорость, но и дисперсию скорости движения.

B. Оценка скорости движения по плотности потока

Скорость прохождения дорожного сегмента $V_{ij}(t)$ напрямую зависит от плотности транспортного потока

на сегменте. В [14] приведён обзор основных детерминированных соотношений скорости и плотности транспортного потока. В [6] для оценки скорости при решении задачи маршрутизации лучший результат был показан с использованием модели Андервуда (Underwood):

$$V^{Und}(p) = V_f \, exp\left(-\frac{p}{p^{jam}}\right), \quad (3)$$

где V_f – скорость прохождения дорожного сегмента в свободном потоке, p^{jam} – плотность потока, соответствующая дорожному затору.

В [15] для оценки скорости движения используется 5-параметрическая логистическая модель (5PL) следующего вида:

$$V^{5PL}(p) = V_b + \frac{V_f - V_b}{\left(1 + exp\left((p - p_b)/\theta_1\right)\right)^{\theta_2}}, \quad (4)$$

где V_b – скорость прохождения дорожного сегмента в условиях дорожного затора, p_b – значение плотности потока, соответствующей переходу из свободного движения к затрудненному движения, θ_1, θ_2 – параметры, определяющие форму кривой.

Пример исходных данных, полученных в результате моделирования движения в нерегулируемой тестовой сети малого размера [19], и моделей оценки скорости движения показан на рис. 1.

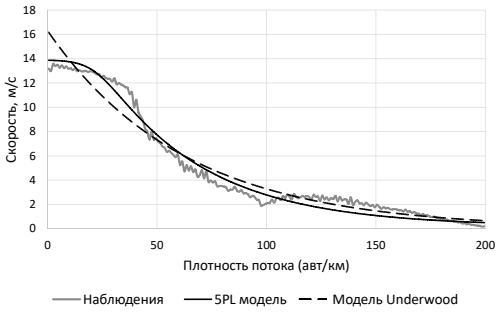


Рис. 1. Оценка скорости движения

Для оценки параметров соотношений (3) и (4) использовался итеративный алгоритм Левенберга-Марквардта. В качестве исходных данных о скорости/плотности транспортного потока использовались данные микроскопического моделирования движения транспортных средств в пакете моделирования SUMO [20].

C. Оценка дисперсии скорости движения

Задача оценивания дисперсии скорости движения в зависимости от значения плотности транспортного потока рассматривалась в [16]. Была предложена зависимость следующего вида:

$$\sigma^{5PL}(p) = \delta^2 \left(1 + \tau V^{5PL}(p)\left(V_f - V^{5PL}(p)\right)\right), \quad (5)$$

где δ^2, τ - параметры модели.

В работе предлагается использовать логнормальное соотношение (Log-Normal) следующего вида:

$$\sigma^{LN}(p) = \frac{\vartheta_1}{p\delta} exp\left(-\frac{\left(\vartheta_2 \, ln(p) - \mu\right)}{2\delta^2}\right), \quad (6)$$

где $\vartheta_1, \vartheta_2, \delta^2, \mu$ - параметры модели.

Для оценки параметров соотношений (5) и (6) также использовался итеративный алгоритм Левенберга-Марквардта. Пример исходных данных зависимости дисперсии скорости от плотности транспортного потока и моделей оценки дисперсии показан на рис. 2.

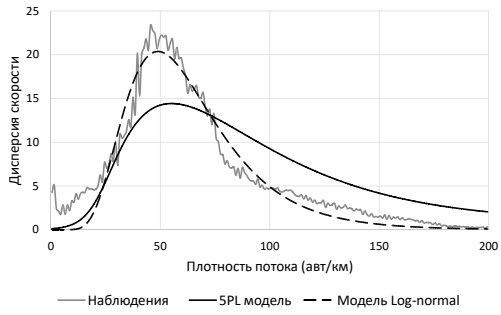


Рис. 2. Оценка дисперсии скорости движения

D. Гибридный алгоритм оценки скорости движения с учетом дисперии

На практике для моделирования движения транспортных средств необходимо учитывать стохастические свойства транспортной сети. В частности, необходимо учитывать отклонения как в прогнозируемой загрузке сегментов дорожной сети, так и в оценке скорости движения, исходя из прогнозируемой плотности транспортного потока на сегменте.

Для оценки скорости движения предлагается учитывать следующие величины: t – момент времени, для которого требуется получить оценку скорости, t^{cur} – текущий момент времени, p_{ij}^{cur} – наблюдаемая плотность транспортного потока на сегменте (i, j) в текущий момент времени, V_{ij}^{cur} – наблюдаемая скорость прохождения сегмента (i, j) в текущий момент времени.

В работе предлагается следующее соотношение оценки скорости:

$$V_{ij}^{hyb}=\begin{cases} V_{ij}^{cur},\ \left|p_{ij}^{cur}-p_{ij}\right|<\Delta_p^{max}\wedge \\ \qquad\wedge\left|\sigma\left(p_{ij}^{cur}\right)-\sigma\left(p_{ij}\right)\right|<\Delta_\sigma^{max}; \\ V\left(p_{ij}\right),\ \sigma\left(p_{ij}\right)<\Delta_\sigma^{stable}; \\ \left(1-\dfrac{t-t^{cur}}{\Delta_t^{max}}\right)V^{cur}+\dfrac{t-t^{cur}}{\Delta_t^{max}}V\left(p_{ij}\right),\text{иначе.} \end{cases} \quad (7)$$

где $\Delta_p^{max},\Delta_\sigma^{max},\Delta_\sigma^{stable}$ – пороговые параметры, Δ_t^{max} – максимальный интервал времени, для которого оценивается скорость движения.

Согласно (7), для оценки скорости учитываются несколько состояний сети:

1) Если оценки наблюдаемой и прогнозной плотностей транспортного потока и их дисперсии различаются на величины, меньшие пороговых значений Δ_p^{max} и Δ_σ^{max}, то текущая и прогнозная дорожная ситуации схожие, и в качестве оценки скорости используется наблюдаемая скорость V_{ij}^{cur}.

2) Если оценка дисперсии прогнозной плотности меньше порогового значения Δ_σ^{stable}, то дорожная ситуация в момент времени t является стабильной (свободное движения или движения в условиях дорожного затора), и в качестве оценки скорости используется прогнозная скорость $V\left(p_{ij}\right)$.

3) Иначе используется взвешенное среднее наблюдаемой и прогнозной оценок скорости.

В качестве прогнозной оценки скорости $V\left(p_{ij}\right)$ используется 5PL модель (4), в качестве оценки дисперсии скорости $\sigma\left(p_{ij}\right)$ используется логнормальное соотношение (6).

V. Экспериментальные исследования

Для моделирования движения транспортных средств использовался пакет микроскопического моделирования с открытым исходным кодом SUMO [20], предназначенный для моделирования интермодальных сценариев движения в крупномасштабных транспортных сетях. Для моделирования движения транспортных средств использовались модели следования за лидером Крауса [21] и IDM [22].

Проводилось сравнение алгоритма резервирования маршрутов с использованием оценки скорости соотношением Андервуда (3), оценки скорости гибридным алгоритмом (7), а также алгоритма неконтролируемой динамической маршрутизацией, основанной на использовании текущей информации о скорости движения в сети (SUMO). Сравнение проводилось по критериям среднего времени движения, среднего времени задержки отправления и средней потери времени из-за движения ниже идеальной скорости. Интервал времени перестроения маршрутов фиксировался и составлял $T_{reroute}=60$ секунд.

На первом этапе проведения экспериментальных исследований был выбран тестовый сценарий в нерегулируемой дорожной сети малого размера [19]. Результаты сравнения алгоритмов для модели следования за лидером Крауса показаны в таблице 1, для модели IDM – в таблице 2.

ТАБЛИЦА I. Результаты маршрутизацции для модели следования за лидером Крауса

	SUMO	***Соотношение Андервуда***	***Гибридный алгоритм***
Среднее время движения, с	1439.7	1254.5	1170.4
Среднее время задержки отправления, с	1249.5	520.2	836.0
Средняя потеря времени, с	895.0	813.3	704.7

ТАБЛИЦА II. Результаты маршрутизацции для модели следования за лидером IDM

	SUMO	***Соотношение Андервуда***	***Гибридный алгоритм***
Среднее время движения, с	1734.0	2725.0	1706.8
Среднее время задержки отправления, с	1701.5	1490.1	1257.1
Средняя потеря времени, с	1208.5	2248.1	1229.3

По критерию среднего времени движения предложенная модель показала лучшие результаты в обоих рассмотренных сценариях движения. Модель с использованием соотношения Андервуда показала лучший результат по критерию среднего времени задержки отправления при использовании модели Крауса, однако значительно уступила при использовании модели IDM.

Основной интерес представляет выполнение сценария маршрутизации в крупномасштабной транспортной сети. Для тестирования был выбран общедоступный сценарий «TAPAS Cologne» [23]. Для моделирования использовалась транспортная сеть г. Кёльн, содержащая 71368 дорожных сегментов. Рассматривался период моделирования в утренний час пик, с 6 до 9 утра. Среднее время поездки (в секундах) в зависимости от масштаба спроса (относительного количества моделируемых транспортных средств) показано на рис.3. Среднее время задержки отправления (в секундах) в зависимости масштаба спроса показано на рис. 4.

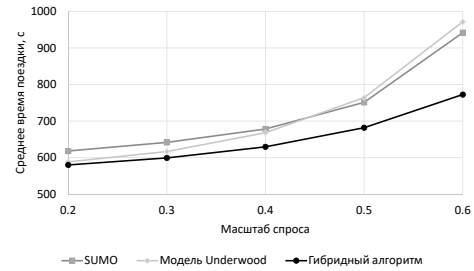


Рис. 3. Среднее время движения

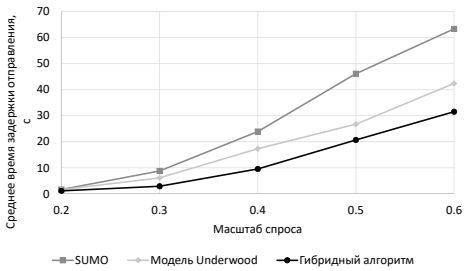


Рис. 4. Среднее время движения

Предложенный алгоритм оценки скорости показал лучший результат по всем рассматриваемым критериям.

VI. Заключение

В работе проведено исследование алгоритма маршрутизации на основе метода резервирования маршрутов с возможностью перестроения маршрутов в ходе движения. Для прогнозирования плотности потока учитывается загрузка дорожных сегментов в пространственной и временной областях. Для оценки скорости прохождения дорожных сегментов предложено учитывать стохастические свойства транспортной сети, в частности, оценку дисперсии скорости движения в зависимости от прогнозируемой плотности транспортного потока. Экспериментальные исследования подтверждают, что результаты маршрутизации, полученные с помощью предложенного алгоритма оценки скорости прохождения дорожных сегментов, позволяют уменьшить среднее время поездки, а в крупномасштабной сети позволяют снизить как среднее время поездки, так и среднее время задержки отправления.

Список литературы

[1] E. Schmitt and H. Jula, “Vehicle Route Guidance Systems: Classification and Comparison,” in 2006 IEEE Intelligent Transportation Systems Conference, Toronto, ON, Canada, 2006, pp. 242–247.

[2] P. Desai, S. W. Loke, A. Desai, and J. Singh, “Multi-agent based vehicular congestion management,” in 2011 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV), Baden-Baden, Germany, 2011, pp. 1031–1036.

[3] S. Çolak, A. Lima, and M. C. González, “Understanding congested travel in urban areas,” Nature Communications, vol. 7, 2016.

[4] R. Claes, T. Holvoet, and D. Weyns, “A Decentralized Approach for Anticipatory Vehicle Routing Using Delegate Multiagent Systems,” IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, vol. 12, no. 2, pp. 364–373, Jun. 2011.

[5] C. Menelaou, P. Kolios, S. Timotheou, C. G. Panayiotou, and M. P. Polycarpou, “Controlling road congestion via a low-complexity route reservation approach,” Transportation Research Part C: Emerging Technologies, vol. 81, pp. 118–136, Aug. 2017.

[6] А. А. Агафонов and В. В. Мясников, “Исследование численного метода резервирования маршрутов в геоинформационной задаче маршрутизации автономных транспортных средств,” Компьютерная оптика, vol. 42, no. 5, pp. 912–920, 2018.

[7] J. Pan, I. S. Popa, K. Zeitouni, and C. Borcea, “Proactive vehicular traffic rerouting for lower travel time,” IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 62, no. 8, pp. 3551–3568, 2013.

[8] V. Gokula Krishnan and N. Sankar Ram, “Analyze traffic forecast for decentralized multi agent system using I-ACO routing algorithm,” Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing, Aug. 2018.

[9] I. Lamouik, A. Yahyaouy, and M. A. Sabri, “Smart multi-agent traffic coordinator for autonomous vehicles at intersections,” in 2017 International Conference on Advanced Technologies for Signal and Image Processing (ATSIP), Fez, Morocco, 2017, pp. 1–6.

[10] M. Seshadri, Z. Cao, H. Guo, J. Zhang, and U. Fastenrath, “Multiagent-based cooperative vehicle routing using node pressure and auctions,” in 2017 IEEE 20th International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC), Yokohama, 2017, pp. 1–7.

[11] O. Jahn, R. H. Möhring, A. S. Schulz, and N. E. Stier-Moses, “System-Optimal Routing of Traffic Flows with User Constraints in Networks with Congestion,” Operations Research, vol. 53, no. 4, pp. 600–616, Aug. 2005.

[12] N. Groot, B. De Schutter, and H. Hellendoorn, “Toward System-Optimal Routing in Traffic Networks: A Reverse Stackelberg Game Approach,” IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, vol. 16, no. 1, pp. 29–40, Feb. 2015.

[13] L. Z. Varga, “Benefit of Online Real-Time Data in the Braess Paradox with Anticipatory Routing,” in 2016 IEEE International Conference on Autonomic Computing (ICAC), Wurzburg, 2016, pp. 245–250.

[14] O. Derbel, T. Péter, B. Mourllion, and M. Basset, “Generalized velocity–density model based on microscopic traffic simulation,” Transport, vol. 33, no. 2, pp. 489–501, Apr. 2017.

[15] H. Wang, J. Li, Q.-Y. Chen, and D. Ni, “Logistic modeling of the equilibrium speed–density relationship,” Transportation Research Part A: Policy and Practice, vol. 45, no. 6, pp. 554–566, Jul. 2011.

[16] H. Wang, Z. Li, D. Hurwitz, and J. Shi, “Parametric modeling of the heteroscedastic traffic speed variance from loop detector data” Journal of Advanced Transportation, vol. 49, no. 2, pp. 279–296, Mar. 2015.

[17] X. Qu, J. Zhang, and S. Wang, “On the stochastic fundamental diagram for freeway traffic: Model development, analytical properties, validation, and extensive applications,” Transportation Research Part B: Methodological, vol. 104, pp. 256–271, Oct. 2017.

[18] P. E. Hart, N. J. Nilsson, and B. Raphael, “A Formal Basis for the Heuristic Determination of Minimum Cost Paths,” IEEE Transactions on Systems Science and Cybernetics, vol. 4, no. 2, pp. 100–107, 1968.

[19] A. Chakirov, PJ Fourie, “Enriched Sioux Falls Scenario with Dynamic and Disaggregate Demand”. Singapore ETH Centre (SEC): Future Cities Laboratory; 2014.

[20] D. Krajzewicz, J. Erdmann, M. Behrisch, L. Bieker, “Recent Development and Applications of SUMO - Simulation of Urban Mobility”, International Journal On Advances in Systems and Measurements, vol. 5, pp.128–138, 2012.

[21] S. Krauss, P. Wagner, and C. Gawron, “Metastable states in a microscopic model of traffic flow,” Physical Review E - Statistical Physics, Plasmas, Fluids, and Related Interdisciplinary Topics, vol. 55, no. 5, pp. 5597–5602, 1997.

[22] M. Treiber, A. Hennecke, and D. Helbing, “Congested traffic states in empirical observations and microscopic simulations,” Physical Review E - Statistical Physics, Plasmas, Fluids, and Related Interdisciplinary Topics, vol. 62, no. 2, pp. 1805–1824, 2000.

[23] Simulation of Urban MObility (https://sourceforge.net/projects/sumo/files/traffic_data/scenarios/TAPASCologne/

Устранение аномалий и выбросов в выборках данных системы предиктивной аналитики энергетического оборудования

Андрюшин А.В.
Кафедра АСУТП
ФГБОУ ВО НИУ "МЭИ"
Москва, Россия
andriushinav@mpei.ru

Щербатов И.А.
Кафедра АСУТП
ФГБОУ ВО НИУ "МЭИ"
Москва, Россия
sherbatov2004@mail.ru

Цуриков Г.Н.
Кафедра АСУТП
ФГБОУ ВО НИУ "МЭИ"
Москва, Россия
grishatsurikov9826@yandex.ru

***Abstract* — The systems that provide monitoring and forecasting of the technical condition of the power engineering equipment make it possible to plan in advance and take timely measures to repair tisequipment. These systems can be assigned to the class of predictive analytics systems that provide forecasting based on big data processing methods and new knowledge from historical data. The forecast of the technical condition is based on the values of diagnostic parameters (they allow to establish a connection between the parameters and the reliability of power engineering equipment) coming from sensors installed on this equipment or various information systems where, for example, test and measurement results are recorded. In the process of measuring, outliers and anomalies (atypical values of parameters that are significantly different from other elements of the sample) can be observed. These outliers and anomalies have an impact on obtaining forecasts using a predictive model. The presence of outliers and anomalies may indicate measurement errors, malfunctions of the measuring instrument, it means that they must be identified and handled accordingly to eliminate the possible impact on the forecast. Therefore, the problem can be formulated as follows. It is required to identify the outliers or the anomalous value of the diagnostic parameter and to restore its value in order to exclude the formulation of an erroneous forecast using the predictive model. In this paper, authors made a review of methods for searching for anomalies and identifying outliers, justifying the choice of the neural network approach as the basic mathematical apparatus for solving the problem. Also, in this paper, a classifier that allows the obtained values of diagnostic parameters to be assigned to one of two classes — the normal value, the outlier (anomaly)is implemented. The algorithm for restoring the diagnostic parameter value works with a segment of values of the finite size.The number of elements in a segment does not change over time. The mathematical apparatus for the realization of the restoration of diagnostic parameter values in the presence of outliers and anomalies is an artificial neural network in the form of a multilayered perceptron of direct signal propagation.The neural network allows you to set the functional dependence of the recovery of the surge or anomalous value in the sample for one value of the diagnostic parameter.The results of experimental studies that confirm the effectiveness of the proposed approach in the systems of predictive analytics of power engineering equipment are presented. Formulated recommendations of using of neural network data recovery algorithms in the presence of outliers and anomalies in the energy sector.**

Ключевые слова — предиктивная аналитика, обнаружение выбросов данных, машинное обучение, искусственные нейронные сети

I. Введение

Системы, обеспечивающие мониторинг и прогнозирование технического состояния энергетического оборудования, позволяют заранее планировать и своевременно проводить мероприятия по приведению оборудования в надлежащее техническое состояние. Эти системы могут быть отнесены к классу систем предиктивной аналитики, обеспечивающих получение прогноза на основе методов обработки больших данных и получения новых знаний из ретроспективных данных. Большие данные зачастую являются не однородными [1]. Поэтому методы обработки больших данных (BigData) [2] и системы предиктивной аналитики неразрывно связаны.

Под большими данными будем понимать неструктурированную телеметрическую информацию, привязанную к реальным временным отсчетам и поступающую от систем уровня АСКУЭ и SCADA, а также учетных систем (например, фиксирующих дефекты, результаты диагностики и пр.), MES (ManufacturingExecutionSystem, система управления производственными процессами), ERP (EnterpriseResourcePlanning, планирование ресурсов предприятия), EAM (EnterpriseAssetManagement, управление основными фондами предприятия) [3]. Большие данные и возможности по их обработке должны обеспечить энергетике качественный скачок вперед в ближайшем будущем [4]. Фактически умение обрабатывать большие данные (совместно с использованием данных высококвалифицированных экспертов) может стать одним из конкурентных преимуществ современного энергетического предприятия.

Этот аспект обуславливает необходимость предварительной обработки поступающей информации. При реализации систем предиктивной аналитики и методов работы с большими данными в энергетике крайне важным аспектом является техническая сторона данного вопроса, отражающая сложность реализации алгоритмов и их применимость для конкретных типов данных [5], а также получения прогнозов неисправностей и отказов [6].

Прогноз технического состояния строится на основе значений диагностических параметров (позволяют установить связь между параметрами и надежностью энергетического оборудования), поступающих от датчиков, установленных на оборудовании или различных информационных систем, в которых, например, фиксируются результаты испытаний и

©2019 ИПУСС РАН, СамГТУ, IEEE

измерений. В процессе проведения измерений могут наблюдаться выбросы и аномалии (нетипичные значения параметров, существенно отличающиеся от других элементов выборки), которые оказывают влияние на получение прогнозов с использованием предиктивной модели. Наличие выбросов и аномалий может свидетельствовать об ошибках измерений, неисправности средства измерения, а значит, они должны быть идентифицированы и обработаны соответствующим образом для исключения возможного влияния на получение прогноза.

Выброс – элемент, существенно отличающийся от других элементов выборки. Выбросы могут свидетельствовать [7]:

- об ошибках при измерениях технологических параметров или их записи в базы данных информационных и управляющих систем;
- о загрязнениях данных (данные могут принадлежать двум или более распределениям), поступающих в систему предиктивной аналитики;
- о неправильной или ошибочной гипотезе распределения технологических параметров;
- о том, что наблюдения являются редкими и не могут быть отнесены к выбросам.

В случае если существует возможность определить вид распределения параметра, то в соответствии с [7] по таблице 1 выбирается соответствующий способ определения выбросов.

ТАБЛИЦА I. СПОСОБЫ И КРИТЕРИИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЫБРОСОВ

Вид распределения	Способ/критерий определения выбросов
Нормальное	Обобщенное экстремальное стьюдентизированное отклонение (GESD)
Экспоненциальное	Критерий Гринвуда, критерии выявления выбросов среди наименьших/наибольших значений выборки
Логнормальное	GESD и/или графический критерий выявления выбросов к преобразованной выборке
Гумбеля	Критерий Гринвуда, критерии выявления выбросов среди наименьших/наибольших значений выборки и/или графический критерий выявления выбросов к преобразованной выборке
Вейбула	Критерий Гринвуда, критерии выявления выбросов среди наименьших/наибольших значений выборки и/или графический критерий выявления выбросов к преобразованной выборке
Гамма	GESD и/или графический критерий выявления выбросов к преобразованной выборке
Неизвестное ассиметричное	Преобразование (Бокса-Кокса или Джонсона) для получения распределения близкого к нормальному и применение критерия Гринвуда, критериев выявления выбросов среди наименьших/наибольших значений выборки

При применении рекомендаций из [7] возникает сложность, обусловленная необходимостью знать вид распределения, что не всегда возможно [8]. Существуют более сложные методы и алгоритмы поиска выбросов (и аномалий в целом) в измеряемых параметрах, которые могут применяться в системах предиктивной аналитики:

- итерационные методы или методы построения выпуклых оболочек [9], которые исключают необходимость подгонки под конкретный вид распределения (построенная выпуклая оболочка удаляется из рассмотрения, т.к. точки, которые ей принадлежат, считаются выбросам), но по трудоемкости данные методы существенно превосходят остальные;
- метрические методы (например, метод LOC – LocalOutlierFactor [10]) базируются на оценке удаленности элемента (должна существовать соответствующая метрика) выборки от подмножества ближайших к нему элементов, но плохо работают с выборками, которые содержат одновременно две области – плотное расположение значений параметра и область «разрежения» [8];
- кластеризация – разбиение на кластеры может являться способом выделения аномалий, в том смысле, что выбросы будут принадлежать маленькому кластеру, в котором содержится мало значений [11];
- спектральная декомпозиция [8] использует метод главных компонент (PCA – PrincipalComponentAnalysis) и разбивает множество значений параметра на подмножества нормальных, аномальных значений и подмножество шумов;
- классификация позволяет относить измерения к одному из двух классов (в самом простом случае) – нормальные и аномальные значения, но для этого должна быть предварительная информация о выбросах значений для построения классификатора [12].

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Требуется идентифицировать выброс или аномальное значение диагностического параметра и восстановить его значение для исключения постановки ошибочного прогноза с использованием предиктивной модели.

Пусть имеется $D=\{d_0,...,d_i,..\},i\in \mathrm{N}^+$ – измеренные значения технологических параметров и характеристик. В системе предиктивной аналитики обрабатывается только часть (один сегмент) бесконечно большого (в общем виде, с учетом дискретности измерений и времени функционирования единицы оборудования) ряда измеренных значений $D_{\Delta t}=\{d_t\},t\in\Delta t$. Тогда задача восстановления выброса или аномального значения в выборке по одному технологическому параметру может быть формализована в общем виде следующим образом $\forall d_t\in D_{\Delta t}\exists FA(D_{\Delta t})=\begin{cases}0\\1\end{cases}$, где $FA(D_{\Delta t})$ – функциональная зависимость, обеспечивающая восстановление выброса в выборке значений конкретного технологического параметра, значение 0 – отсутствие аномалии (выброса), а 1 означает ее наличие.

III. Определение аномалий в выбросах

Рассмотрим решение задачи определения выбросов данных, поступающих в систему предиктивной аналитики в результате недостоверности показаний средств измерений и погрешностей, появляющихся в каналах передачи информации. Исходными данными являются значения электрической мощности парогазовой установки (*N*), которые в дальнейшем необходимо спрогнозировать, в зависимости от температуры окружающего воздуха (*T_okr*), давления в конденсаторе паровой турбины (*p_k*), атмосферного давления (*p_atm*) и относительной влажности воздуха (*humidity*). Перечисленные параметры представлены в виде 9586-ти усредненных за час значений, измеряемых в течение шести лет работы станции при полной нагрузке (с 2006-го по 2011-ый годы).

A. Получение выборки данных

Решим поставленную задачу, как задачу классификации, где выбросы данных будут принадлежать к единичному классу и обозначаться цифрой 1, данные, не относящиеся к выбросам, будут принадлежать нулевому классу и обозначаться цифрой 0. В качестве методов решения задачи будем использоватьследующие алгоритмы машинного обучения (ML): алгоритм бэггинга деревьев решений, алгоритм взвешенных к-ближайших соседей, алгоритм бэггинга к-ближайших соседей, алгоритм искусственных нейронных сетей (ИНС).

Произведем выборку данныхдля обучения модели классификации. Составим корреляционную матрицу (рис. 1) для оценки влияния исследуемых параметров друг на друга.

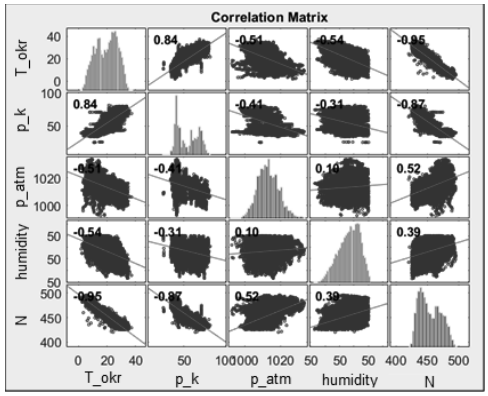


Рис. 1. Матрица корреляции исследуемых параметров

Как видно из графика, наибольшее влияние на мощность парогазовой установки производят параметры *T_okr*и *p_k*. Таким образом, основываясь на корреляционном анализе, определим состав обучающей выборки - она будет включать в себя информацию о следующих показателях:температуре окружающего воздуха, давлении в конденсаторе паровой турбины и значениях мощности ПГУ при данных параметрах. Определим количество элементов обучающей выборки - для этого представим имеющуюся зависимость *N = f(T_okr, p_k)* в трехмерном виде и сформируем набор данных, состоящий из ста элементов, среди которых визуально легко определить значенияпараметров, заметно отличающихся от остальных.

B. Определение потенциальных выбросов в выборке

Кроме того, для каждого элемента обучающей выборки добавим информацию о его принадлежности к выбросам. Для этого разметим выборку на выбросы и данные, не относящиеся к таковым, с помощью методики ГОСТ Р ИСО 16269-4-2017. Данная методика применима в силу того, что основана на апробированных и хорошо зарекомендовавших себя на практике международных стандартах ISO, применяемых для поиска выбросов данных.

Для решения поставленной задачи представим имеющуюся зависимость мощности от температуры и давления в виде линейной регрессии. После этого будем производить поиск выбросов по компонентам *Y, X1* и *X2*, где *Y* - значение мощности, *X1* - температура окружающего воздуха X2 - давление в конденсаторе паровой турбины.

Для получения выбросов по параметру *Y*, которые могут являться кандидатами на выбросы производится расчет стьюдентизированной ошибки. Найденное значение ошибки сравнивается с показателем распределения Стьюдента при следующих параметрах: доверительной вероятности 0.995; количестве степеней свободы*k = n-p-2*, где *n* - количество элементов в выборке, *p* - количество переменных, влияющих на значения *Y*. Если полученное значение ошибкипревышает указанный показатель, то элемент выборки, для которого производится расчет, считается потенциальным выбросом.

Для поиска выбросов по компонентам *X*необходимо вычислить параметр*h*. Данный параметр характеризует расстояние между значением, принимаемым случайной величиной *X* в *i*-ой точке и средним арифметическим всех *n* значений, принимаемых *X*. Элемент выборки считается потенциальным выбросом, если его значение больше, чем результат выражения $h \geq 2(p+1)/n$.

C. Определение реальных выбросов в выборке

Установление факта, что потенциальный выброс является именно выбросом, производится с использованием следующих показателей: расстояние Кука и показатель *DFFITS*. Рассчитанное расстояние Кука сравнивается с показателем *F*-распределения (характеризуется процентилем уровня, равным 50%, значением *p+1*, значением *n-p-1*).

Показатель DFFITS сравнивается с результатом выражения $2(p+1)/n$. Если для исследуемого элемента данных расстояние Кука и показатель *DFFITS*превышает указанные выше уровни, то данный элемент можно считать реальным выбросом.

D. Классификация выбросов в данных

После формирования обучающей выборки перейдем к решению поставленной задачи. Проведем исследование наиболее применяемых методов классификации данных для выбора. Первоначально, для классификации данных применим один из алгоритмов машинного обучения - алгоритм бэггинга деревьев принятия решений. Данный алгоритм представляет собой совокупность (ансамбль) алгоритмов: алгоритм

бутстрэп-агрегирования (бэггинга) и алгоритм деревьев принятия решения. Основным алгоритмом обучения является метод деревьев принятия решения.

Суть данного метода заключается в построении дерева классификации, которое используется, как средство поддержки принятия решений. Структура дерева представлена на рис. 2. В узлах дерева расположены признаки, от которых зависит значение целевой функции. Значения же целевой функции, в данном случае 0 или 1, записываются на листьях дерева. Остальные узлы дерева решений представляют собой атрибуты, по которым различаются всевозможные пути классификации. Для корректной классификации необходимо последовательно пройти дерево решений до листьев и получить соответствующее значение целевой функции. Это позволитидентифицировать конкретный элемент выборки как выброс или отнести его к множеству нормальных значений, необходимых для совершения качественного прогноза.

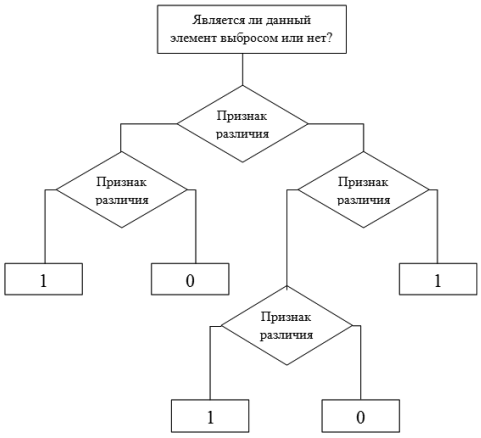


Рис. 2. Структура алгоритма деревьев принятия решений.

Дополнительным алгоритмом в совокупности методов, позволяющим повысить точность классификации, является бутсрэп-агрегирование (бэггинг). Этот алгоритм случайным образом варьирует обучающую выборку и позволяет получить несколько различных деревьев решений. После чего производится присвоение определенных весов к каждому значению целевой функции и осуществляется голосование, полученные результаты, в итоге, усредняются, при этом точность классификации повышается.

При обучении на полученной выборке, точность алгоритма составила 92%, то есть правильно были определены 6 выбросов из 9 и 85 нормальных элементов из 91-го. Кроме того, полученная классификационная модель была протестирована на контрольной выборке, состоящей из пятидесяти элементов. В результате тестирования алгоритм допустил 6% ошибок, т.е. правильно классифицировал 47 элементов.

Кроме того, был исследован алгоритм взвешенных *k*-ближайших соседей, который основан на определении оценок сходства между элементами (он классифицирует элемент выборки таким образом, чтобы тот принадлежал множеству схожих с ним элементов). Пусть имеется обучающая выборка пар $X^m = \{(x_1, y_1),\ldots,(x_1, y_1)\}$ (элемент выборки - класс, к которому данный элемент относится) на множестве элементов *n*определяется евклидова функция расстояния $d(x.x') = \sum_{i=1}^{n}(x_i - x_i')^2$. Чем меньше значение данной функции, тем более схожи элементы выборки *x* и x'.

Пусть существует произвольный элемент *t*, который необходимо классифицировать, расположим для него элементы выборки x_i в порядке возрастания до *t*: $d(t.x_{1,t}) \le d(t.x_{2,t}) \le \ldots \le d(t.x_{m,t})$, где $x_{i,t}$ - *i*-ый сосед элемента *t*. Пусть $y_{i,t}$ - класс, к которому относится данный элемент. Тогда математически алгоритм взвешенных *k*-ближайших соседей определяется следующим образом: $a(t) = \arg\max_{y \in Y} \sum_{i=1}^{m} [x_{i,t} = y]\omega(i,t)$, где $\omega(i,t)$ - некоторая весовая функция, присваиваемая элементу. То есть, произвольный элемент выборки относится к тому классу, чей суммарный вес среди *k* ближайших соседей является наибольшим.

Все имитационные эксперименты выполняются в среде инженерных расчетов Matlab. Для повышения точности работы алгоритма и получения более надежной классификации можно использовать его в совокупности (ансамбле) с алгоритмом бэггинга. Тогда несколько раз (случайным образом) формируется состав обучающей выборки. Этот аспект позволяет получить несколько отличающихся результатов, которые затем подвергаются усреднению с целью получения улучшенной модификации первоначального алгоритма.

Точность работы алгоритмов взвешенных *k*-ближайших соседей и бэггинга *k*-ближайших соседей также составила 92% на обучающей выборке. При этом в обоих случаях (рис. 3) количество верно определенных нормальных элементов составило 89 из 90, однако, количество правильно определенных выбросов составило всего 2 из 9.

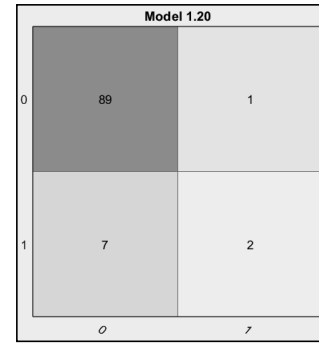


Рис. 3. Результаты работы алгоритмов взвешенных k-ближайших соседей и бэггинга k-ближайших соседей.

Аналогичная точность была получена при проверке алгоритма на тестовой выборке.

E. Классификация выбросов в данных с использованием искусственных нейронных сетей

Перейдем к решению задачи с помощью алгоритма искусственных нейронных сетей (ИНС). Для классификации выбросов настроим нейронную сеть прямого распространения без обратных связей (многослойный персептрон с количеством нейронов в скрытом слое, равным 800). Данная архитектура ИНС получена в ходе предварительных исследований. На вход ИНС поступает обучающая выборка, далее, в скрытом слое каждому ее элементу присваивается определенный вес и производится обработка поступающей информации, после чего данные о классификации поступают на выход сети. В случае, если на выходе сети обнаружена какая-либо погрешность, происходит корректировка весов и, затем, выдается окончательный ответ.

При применении ИНС для решения поставленной задачиточность составила 100%, как во время обучения, так и при работе на контрольной выборке. Это означает, что все выбросы и нормальные значения элементов были классифицированы верно. Вычисления производились с использованиемNeuralNetworkToolboxсреды инженерных расчетов Matlab.

В табл. 2 представлен фрагмент с результатами работы ИНС на тестовой выборке.

ТАБЛИЦА II. ИДЕНТИФИКАЦИЯ ВЫБРОСОВ С ПОМОЩЬЮ НЕЙРОННОЙ СЕТИ

***T_okr*, °C**	***p_k*, кПа**	***N*, МВт**	**Идент-ия выбросов по ГОСТ**	**Идент-ия выбросов с помощью нейросети**
8.34	4.077	480.48	0	0.0001
23.64	5.849	445.75	0	0.0005
29.74	5.69	438.76	1	0.9983
19.07	4.969	453.09	0	0.0003
11.8	4.066	464.43	0	0.0044
13.97	3.916	470.96	0	0.0067
22.1	7.129	442.35	0	0.0023
14.47	4.176	464	0	0.0002
31.25	6.951	428.77	0	0.0006
6.77	3.818	484.31	0	0.0045
29.3	7.004	426.25	1	0.9924

На рис. 4 представлена диаграмма с результатами работы ИНС на совокупности обучающей и тестовой выборок.

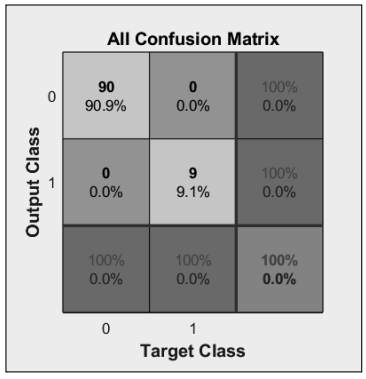


Рис. 4. Результаты работы нейронной сети

Как можно заметить, среди ста элементов выборки, 9% выбросов определены правильно, остальные 90% данных, не относящихся к выбросам также определены верно. Суммарная точность составила 100%.

IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, можно сделать вывод о том, что для повышения эффективности прогнозирования параметров, режимов и технического состояния оборудования энергетики при реализации систем предиктивной аналитики целесообразно применять нейросетевые алгоритмы поиска и устранения выбросов в данных. В качестве дальнейшего направления работы следует указать синтез алгоритмов прогнозирования значений текущих параметров, характеризующих режимы работы энергетического оборудования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

[1] Wang J., Zhang W., Shi Y., Duan S., Liu J. Industrial Big Data Analytics: Challenges, Methodologies, and Applications. 2018 : [Электронный ресурс] Режим доступа : https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1807/1807.01016.pdf.

[2] Bi Z.M., Cochran D.S. Big data analytics with applications // Journal of Management Analytics. 2014. Vol. 1, No. 4. P. 249–265.

[3] Kumaraguru S., Kulvatunyou B., Morris K.C. Integrating Real-Time Analytics and Continuous Performance Management in Smart Manufacturing Systems. Proceedings of the IFIP Advances in Information and Communication Technology. 2014. P. 175-182.

[4] Chidambaram V., Evans H., Etheredge K. Big Data: Is the Energy Industry Starting to See Real Applications? // Supply Chain Management Review. 2015. No. 12. P. 62-64.

[5] Schuelke-Leech B.-A., Barry B., Muratori M., Yurkovich B.J. Big Data Issues and Opportunities for Electric Utilities // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2015. Vol. 52. P. 937-947.

[6] Kozjek D., Vrabic R., Kralj D., Butala P. A Data-Driven Holistic Approach to Fault Prognostics in a Cyclic Manufacturing Process. Proceedings in The 50th CIRP Conference on Manufacturing Systems. 2017. Vol. 63. P. 664-669.

[7] ГОСТ Р ИСО16269-4-2017 Статистические методы. Статистическое представление данных. Часть 4. Выявление и обработка выбросов [Текст]: утв. Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 10 августа 2017 г. № 865-ст. М.: Стандартинформ.

[8] Marti L., Sanchez-Pi N., Molina J.M., Bicharra Garcia A.C. Anomaly Detection Based on Sensor Data in Petroleum Industry Applications // Sensors. 2015. № 15. pp. 2774-2797.

[9] Johnson T., Kwok I., Ng R.T. Fast Computation of 2-Dimensional Depth Contours. In Proceedings of the ACM KDD Conference, New York, NY, USA, 27–31 August 1998. pp. 224–228.

[10] Breunig M.M., Kriegel H.P., Ng R.T., Sander J. LOF: Identifying density-based local outliers. In Proceedings of the 2000 ACM SIGMOD International Conference on Management of Data, Dallas, TX, USA, 16–18 May 2000; pp. 93–104; ACM: New York, NY, USA, 2000.

[11] Loureiro A., Torgo L., Soares C. Outlier Detection Using Clustering Methods: a data cleaning application. In Malerba D. and May M., editors, Proceedings of KDNet Symposium on Knowledge-based Systems for the Public Sector, 2004.

[12] Upadhyaya S., Singh K. Classification Based Outlier Detection Techniques // International Journal of Computer Trends and Technology. Vol. 3. Iss. 2. – 2012. Pp. 294-298.

Информационные технологии мониторинга профессионально обусловленных рисков здоровью

Богомолов А.В.
ГНЦ РФ – Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И.Бурназяна
Москва, Россия
a.v.bogomolov@gmail.com

Алёхин М.Д.
НПО «Электронное приборостроение»
Москва, Россия
max.d.alekhin@gmail.com

Дашевский В.П.
Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации РАН
Санкт-Петербург, Россия
spiiran@iias.spb.su

***Abstract* — The architecture and methodological support of the information-measuring control system for personalized monitoring of working conditions based on sanitary and hygienic certification of objects - sources of potentially dangerous physical factors of professional activity conditions and radio-frequency identification of an employee's trajectory in the course of activity implemented using a wireless sensor network are presented.**

Ключевые слова — мониторинг условий труда, факторы условий деятельности, беспроводная сенсорная сеть, комбинированное действие факторов, медицинская информатика, персонифицированный гигиенический мониторинг

I. Введение

Одной из приоритетных задач отечественного здравоохранения является сохранение здоровья и продления профессионального долголетия работников промышленных производств [1]. С этой целью необходимо обеспечить мониторинг физических факторов условий профессиональной деятельности, направленный на идентификацию неблагоприятных физических факторов условий деятельности в интересах установления причинно-следственных связей между воздействием факторов и здоровьем персонала [1, 2]. Реализация такого мониторинга сопряжена с необходимостью регулярного сбора и обработки большого объема информации. Поэтому большинство современных технологий гигиенического мониторинга ориентированы на использование ежегодных показателей, несмотря на то, что выраженные изменения индивидуального и популяционного здоровья, обусловленные влиянием физических факторов условий профессиональной деятельности, могут происходить за гораздо более короткие временные промежутки [3]. Очевидно, что для обеспечения объективности мониторинга необходима автоматизация обработки его результатов, а для адресного формирования программ сохранения профессионального здоровья работников - персонификация.

Перспективным для реализации в системе персонифицированного мониторинга является подход, основанный на санитарно-гигиенической паспортизации объектов – источников потенциально опасных физических факторов условий профессиональной деятельности и радиочастотной идентификации траектории работника при выполнении задач профессиональной деятельности [4-6]. *Санитарно-гигиеническая паспортизация объектов – источников потенциально опасных физических факторов условий профессиональной деятельности* – это система мероприятий по выявлению и учету организаций и их структурных подразделений (цехов, участков, рабочих мест и т.д.), а также технологических процессов, где работники могут подвергаться воздействию потенциально опасных физических факторов.

Реализация персонифицированного мониторинга условий труда на основе санитарно-гигиенической паспортизации объектов требует информации об интенсивностях потенциально опасных физических факторов, воздействующих на работника в каждый момент выполнения задач профессиональной деятельности. На основе полученной информации необходимо обеспечить расчет эффектов комбинированного воздействия нескольких потенциально опасных физических факторов, ведение гигиенического регистра доз физических факторов, полученных работником за любой интересующий период, а также решение задач мониторинга, оценивания и прогнозирования здоровья, работоспособности и надежности деятельности персонала с определением причинно-следственных связей между состоянием здоровья и воздействием факторов условий профессиональной деятельности.

Таким образом, задача персонифицированного мониторинга физических факторов условий профессиональной деятельности сводится к задаче обеспечения измерений уровней физических факторов в точках нахождения статических и динамических объектов мониторинга с последующей передачей результатов измерений в центр сбора, хранения и обработки данных [7]. Технологии решения поставленной задачи постоянно совершенствуются. Рубежным моментом, соответствующим современному уровню научно-технического прогресса, следует считать переход на использование цифровых технологий, в первую очередь – технологий беспроводных сенсорных сетей [8-10]. Поэтому актуальной является задача разработки и реализации системы персонифицированного мониторинга условий труда на основе беспроводной сенсорной сети.

II. Теоретические положения

Основной особенностью беспроводной сенсорной сети является организация измерений уровней физических факторов в точках нахождения статических и динамических объектов мониторинга передачи

©2019 ИПУСС РАН, СамГТУ, IEEE

результатов измерений в центр сбора, хранения и обработки данных по беспроводному протоколу (с использованием радиоканала) [8-10].

Объектами мониторинга являются:

а) статические объекты – источники потенциально опасных физических факторов условий профессиональной деятельности (например, промышленное оборудование);

б) динамические объекты – источники потенциально опасных физических факторов условий профессиональной деятельности (например, промышленное оборудование);

в) персонал – объекты, на которые воздействуют источники потенциально опасных физических факторов условий профессиональной деятельности (считаем, что профессиональная деятельность персонала связана со свободными, обусловленными необходимостью решения задач профессиональной деятельности перемещениями по территории).

Архитектура беспроводной сенсорной сети построена по топологии «активная звезда», в центре которой находится центр сбора, хранения и обработки данных, а сама беспроводная сенсорная сеть представляет собой множество связанных радиоканалами и работающих по единому алгоритму узлов сети, устанавливаемых в заданных точках измерений. В рамках обеспечения персонифицированного мониторинга физических факторов условий профессиональной деятельности беспроводная сенсорная сеть должна объединять три типа узлов сети: узел, закрепляемый на статических и динамических объектах – источниках потенциально опасных физических факторов условий профессиональной деятельности; узел, закрепляемый на персонале и узел-монитор.

Узел первого типа является активным узлом, объединяет параметрический регистратор, обеспечивающий распознавание режима функционирования источника физических факторов условий профессиональной деятельности, микропроцессор, приемник-передатчик и обеспечивающий их энергией автономный источник питания. Узел обеспечивает расчет в реальном времени интенсивности физического фактора, образующегося при функционировании источника (в зависимости от режима функционирования) в точке нахождения источника и передачу комбинации «идентификатор объекта – режим функционирования объекта» по радиоканалу в центр сбора, хранения и обработки данных.

Узел второго типа является пассивным узлом, представляющим собой транспондер (RFID- или Bluetooth-метка), закрепляемый на обмундировании (снаряжении) каждого работника перед началом выполнения профессиональной деятельности. Тип применяемых транспондеров (по рабочей частоте, по источнику питания, по типу памяти, по исполнению) выбирают в зависимости от специфики организаций (структурных подразделений) и от специфики профессиональной деятельности работника. В частности, за работником может быть закреплен уникальный идентификатор (для использования работником изготавливается один или несколько транспондеров с уникальным идентификатором) или же транспондер может выдаваться работнику перед началом деятельности (в этом случае идентификатор транспондера каждый раз связывается с конкретным работником).

Узел третьего типа является активным узлом, объединяет считыватель транспондеров, микропроцессор, приемник-передатчик и обеспечивающий их энергией автономный источник питания. Узел обеспечивает фиксацию в реальном времени перемещения транспондеров (в плоскости рабочих помещений) и передачу комбинации «идентификатор объекта – точка нахождения объекта» по радиоканалу в центр сбора, хранения и обработки данных.

В рабочем режиме с заданной дискретностью или в реальном времени в центр сбора, хранения и обработки данных поступает информация с узлов первого и третьего типов. В центре сбора, хранения и обработки данных выполняется:

1. Расчет полей физических факторов в каждой точке производственного помещения в каждый момент времени по информации с узлов первого типа (вид и режим функционирования источника физических факторов), на основе: априорной информации о полях физических факторов, соответствующих режиму функционирования каждого источника физических факторов; известных препятствий в распространении полей физических факторов (места расположений и характеристики экранирующих конструкций, архитектурные и конструктивные особенности производственных помещений и т.п.); погодно-климатических условий и т.п. Таким образом, становятся известными уровни физических факторов в каждой точке производственных помещений.

2. Определение уровней физических факторов, воздействующих на работника в каждый момент времени с учетом: траекторий перемещения работника в течение смены (согласно п. 1 известны уровни физических факторов в каждой точке производственных помещений); характеристик средств индивидуальной защиты, применяемых работником.

3. Расчет эффектов комбинированного воздействия нескольких потенциально опасных физических факторов [11], ведение гигиенического регистра с определением доз физических факторов, накопленных за любой интересующий период, а также решение задач социально-гигиенического мониторинга: наблюдение, анализ, оценивание и прогнозирование изменений здоровья, работоспособности и надежности деятельности персонала с определением причинно-следственных связей между состоянием здоровья и воздействием факторов условий профессиональной деятельности для своевременного принятия мер по устранению (минимизации) потенциально опасного воздействия.

Беспроводной характер связи узлов беспроводной сенсорной сети и миниатюрность узлов второго типа обеспечивает новые возможности мониторинга физических факторов условий профессиональной деятельности человека. Однако использование

беспроводной сенсорной сети, наряду с преимуществами, порождает, как минимум, две актуальные проблемы.

Первая из них связана с возможностью потери части результатов измерений при их передаче в центр сбора, хранения и обработки данных из-за разрывов беспроводных связей между узлами и центром сбора, хранения и обработки данных вследствие помех, обусловленных работой промышленного оборудования, и возможностей попадания работника в «мертвую зону». Эта проблема должна решаться с помощью методов аппроксимации и интерполяции, а также с применением технологий накопления и резервирования информации.

Вторая проблема связана с необходимостью экономного расхода энергии автономных источников питания узлов первого и третьего типа для повышения времени их функционирования. Эта проблема решается за счет перевода работы узлов на дискретный режим, в котором активные фазы чередуются с пассивными (когда узлы работают с пониженным энергопотреблением), при обеспечении синхронизации шкал времени внутренних часов узлов сети [12].

Успешное решение названных проблем обеспечит реализацию потенциальных возможностей беспроводной сенсорной сети при построении систем мониторинга объектов обслуживания с изменяемой конфигурацией.

III. Особенности автоматизированного мониторинга состояния операторов, подвергающихся воздействию авиационного шума, на основе применения персонифицированных индикаторов и дозиметров акустических факторов

Персонифицированный индикатор опасности акустической обстановки – это персональный информационно-измерительный прибор, обеспечивающий мониторинг акустической обстановки во всем нормируемом частотном диапазоне в реальном времени с информированием о ее опасности [7]. В рассчитываемой оценке опасности, определяемой величиной риска здоровью и работоспособности, можно учесть индивидуальные особенности здоровья, характеристики применяемых средств защиты и особенности профессиональной деятельности (продолжительность выполнения работы, двигательную активность и т.п.). Методики таких расчетов для различных социо-профессиональных групп работников широко представлены в литературе [1-3, 11].

Информирование об опасности осуществляется с использованием световых, звуковых или вибрационных сигналов (например, зелёный непрерывный сигнал – низкий риск; жёлтый непрерывный сигнал – выраженный риск; красный непрерывный сигнал – высокий риск; красный пульсирующий сигнал – очень высокий риск). Кроме того, используя миниатюрное табло, можно отображать оценку резервного времени сохранения работоспособности в конкретных условиях акустической обстановки [7].

Информация, получаемая с помощью персонифицированного индикатора опасности акустической обстановки, может накапливаться в медико-дозиметрическом регистре и периодически (в зависимости от особенностей профессиональной деятельности) обрабатываться в интересах формирования персонифицированных рекомендаций по сохранению здоровья [3].

Такая информация может в реальном времени передаваться для централизованного мониторинга условий труда персонала коллектива, позволяя принимать превентивные меры, направленные на сохранение здоровья и поддержание работоспособности.

Типовой персонифицированный индикатор опасности акустической обстановки включает измеритель, сигнально-информационное табло, вычислитель, блок питания, блок усилителей, блок фильтров, блок детектирования, микроЭВМ, блок управления; блок ввода информации, оперативное запоминающее устройство, постоянное запоминающее устройство, коммутатор [7].

Кумулятивные эффекты акустических факторов профессиональной деятельности учитываются с использованием процедуры «скользящего окна», длительность которой определяют исходя из особенностей профессиональной деятельности и особенностей, сопровождающих её выполнение акустических факторов (интенсивность, время экспозиции, спектральный состав акустических колебаний).

Персонифицированный индикатор опасности акустической обстановки размещают в зоне рабочих мест персонала или закрепляют на одежде (обмундировании, снаряжении), не создавая помех профессиональной деятельности. При этом измеритель, входящий в состав персонифицированного индикатора опасности акустической обстановки, ориентируют так, чтобы беспрепятственно регистрировать уровень шума, а сигнально-информационное табло должно находиться в зоне видимости работника. С учетом достижений микроэлектроники и информационно-телекоммуникационных технологий персонифицированный индикатор опасности акустической обстановки может быть реализован в миниатюрном исполнении [4, 7].

При начале выполнения профессиональной деятельности применении персонифицированный индикатор опасности акустической обстановки включают (активируют). С этого момента он начинает регистрацию показателей акустической обстановки: на основе текущего уровня звукового давления и характеристик накопленной дозы шума определяется акустическая опасность окружающей обстановки. Если сигнально-информационное табло светится зеленым – средства защиты можно не применять. При свечении табло желтым или красным следует применять средства защиты (в соответствии с особенностями профессиональной деятельности) до тех пор, пока свечение табло снова не станет зеленым.

С учетом наличия в составе персонифицированного индикатора опасности акустической обстановки постоянного запоминающего устройства он может выступать как персонифицированный акустический дозиметр, сохраняя накопленную пользователем стажевую дозу шума и другие показатели,

характеризующие кумулятивные эффекты опасной акустической обстановки.

При необходимости определения опасности акустической обстановки с учетом характеристик средств индивидуальной защиты измеритель следует разместить на внутренней поверхности средства индивидуальной защиты, обеспечив, при возможности, его нахождение на расстоянии от тела (одежды под средством защиты). В этом случае связь измерителя с остальными компонентами персонифицированного индикатора опасности акустической обстановки следует обеспечивать по беспроводному протоколу, обеспечивая заметность средства индивидуальной защиты при выполнении работником задач профессиональной деятельности.

Для централизованного мониторинга работоспособности многих работников в реальном времени коммутатор персонифицированного индикатора опасности акустической обстановки должен быть выполнен с возможностью реализации передачи информации по беспроводному протоколу в пункт мониторинга.

Если профессиональная деятельность работников осуществляется в большом помещении (например, сборочный цех), акустическую обстановку в котором можно считать однородной (например, она определяется внешним источником шума и шумом системы вентиляции), используют один персонифицированный индикатор опасности акустической обстановки, размеры сигнально-информационного табло выбирают с учетом обеспечения его заметности всеми работниками. В этом случае показатели неблагоприятных кумулятивных эффектов воздействия шума для конкретного работника следует определять с учетом его рабочего графика (нахождения в помещении в конкретные моменты времени) [3, 4].

Этот же подход применим при использовании средств коллективной защиты. В этом случае персонифицированный индикатор опасности акустической обстановки оборудуют двумя сигнально-информационными табло: одно размещают снаружи средства коллективной защиты (для сигнала работникам зайти в средство коллективной защиты), а другое – внутри средства коллективной защиты (для сигнала о возможности покинуть средство коллективной защиты при нормализации акустической обстановки). В этом случае допустим подход, предполагающий применение в составе персонифицированного индикатора опасности акустической обстановки нескольких пространственно разнесенных измерителей с определением показателей текущей акустической обстановке по «наиболее опасным» показаниям одного из измерителей.

Применение персонифицированного индикатора опасности акустической обстановки обеспечивает объективный мониторинг акустической обстановки в месте нахождения работника, позволяя оценить в реальном времени и выявить изменения рисков здоровью и работоспособности, обусловленные воздействием акустических факторов, с информированием работников и, при необходимости, руководителей. Внедрение системы медицинского контроля с использованием медико-дозиметрического регистра позволит объективно оценить весь комплекс организационных и медико-технических мероприятий по сохранению здоровья работников, профессиональная деятельность которых сопряжена с воздействием потенциально опасного промышленного и производственного шума.

Реализуемое с помощью персонифицированного индикатора опасности акустической обстановки и системы медицинского контроля накопление фактической информации о влиянии акустических факторов на человека, адекватное и достоверное количественное описание закономерностей изменения здоровья и работоспособности открывают новые возможности для проверки, корректировки и обоснования управленческих решений, направленных на сохранение здоровья и продление профессионального долголетия работников многих социо-профессиональных групп.

IV. Практическая значимость и результаты экспериментальных исследований

Практическая значимость теоретических положений оценена по результатам моделирования системы персонифицированного мониторинга условий труда на основе беспроводной сенсорной сети для работников предприятия авиационной промышленности. Основным потенциально опасным физическим фактором условий профессиональной деятельности представителей этой профессиональной группы является промышленный шум: из 45 основных профессий авиационной промышленности условия труда представителей 19 из них относят к вредным [11]; профессиональные и профессионально обусловленные заболевания выявлены у 91% персонала авиационной промышленности, причем у большинства (свыше 75%) из них установлена сочетанная патология двух и более систем организма [11].

В интересах персонифицированного гигиенического мониторинга на предприятии: должно быть создано рабочее место гигиениста; на обмундировании (снаряжении) каждого работника перед началом выполнения профессиональной деятельности должен закрепляться транспондер (RFID- или Bluetooth-метка); каждый объект – источник потенциально опасных физических факторов условий профессиональной деятельности должен быть оборудован параметрическим регистратором. Рабочее место гигиениста должно быть оборудовано компьютером, обеспечивающим ведение гигиенического регистра, содержащим информацию о дозах физических факторах, получаемых каждым работником в процессе профессиональной деятельности. Транспондер закрепляется на обмундировании (снаряжении) каждого работника перед началом выполнения профессиональной деятельности. Тип применяемых транспондеров (по рабочей частоте, по источнику питания, по типу памяти, по исполнению) выбирают в зависимости от специфики организаций (структурных подразделений) и от специфики профессиональной деятельности работника. В частности, за работником может быть закреплен уникальный идентификатор (для использования работником изготавливается один или несколько транспондеров с уникальным идентификатором) или же транспондер

может выдаваться работнику перед началом деятельности (в этом случае идентификатор транспондера каждый раз связывается с конкретным работником).

Параметрический регистратор, устанавливаемый на каждом объекте – источнике потенциально опасных физических факторов условий профессиональной деятельности, – должен обеспечивать: фиксацию в реальном времени перемещения нескольких маркированных объектов (работников, имеющих транспондер) либо идентифицировать их положение в пространстве; расчет в реальном времени интенсивности физического фактора, образующегося при функционировании оборудования (в зависимости от режима функционирования) в точке нахождения каждого фиксируемого объекта; передачу комбинации «идентификатор объекта – интенсивность физического фактора» на рабочее место гигиениста по радиоканалу.

Таким образом, при включении оборудования активируется параметрический регистратор, радиус считывания транспондеров (радиус идентификации) которого должен превышать расстояние, на котором вероятность превышения максимально возможной интенсивностью физических факторов, сопровождающих функционирование оборудования, предельно допустимых уровней отлична от нуля.

При идентификации работника (попадании транспондера в зону идентификации) параметрический регистратор обеспечивает расчет в реальном времени интенсивности физического фактора в точке нахождения каждого фиксируемого объекта (работника). Расчет может осуществляться как на основании верифицированных математических моделей физических полей, так и на результатах интерполяции прямых измерений полей физических факторов, полученных при санитарно-гигиенической паспортизации объектов. Частота (дискретность) расчетов определяется для каждого объекта (или для каждого физического фактора, если объект является источником нескольких потенциально опасных физических факторов) в зависимости от специфики решаемых задач.

Результаты «идентификатор объекта – интенсивность физического фактора» передаются на рабочее место гигиениста по радиоканалу в реальном времени или в конце рабочих смен (в зависимости от специфики решаемой задачи). На рабочем месте гигиениста осуществляется ведение гигиенического регистра с определением доз физических факторов, накопленных за любой интересующий период. При одновременном воздействии на работника нескольких потенциально опасных физических факторов могут быть оценены медико-биологические эффекты комбинированного воздействия.

Результаты гигиенического мониторинга, сопоставленные с изменениями показателей здоровья работников, позволят решать задачи социально-гигиенического мониторинга: наблюдение, анализ, оценка и прогноза состояния здоровья населения и среды обитания человека с определением причинно-следственных связей между состоянием здоровья и воздействием факторов условий профессиональной деятельности для своевременного принятия мер по устранению (минимизации) вредного воздействия.

Реализация изложенного методологического подхода к персонифицированному гигиеническому мониторингу позволит обеспечить его объективность и персонификацию с минимальными затратами на сбор информации о дозах потенциально опасных физических факторов условий профессиональной деятельности, получаемых работниками, что имеет существенное значение для обеспечения надежной деятельности и сохранения здоровья работников промышленных производств.

Результаты моделирования показали, что разработанная технология позволяет решить задачу персонифицированного мониторинга условий труда предприятия авиационной промышленности с качеством, удовлетворяющим потребностям практики. Реализация разработанной технологии впервые обеспечивает возможность реализации мониторинга акустической безопасности деятельности персонала в интересах оценивания и прогнозирования изменений здоровья, работоспособности и функциональной надежности, обусловленных действием производственного шума, а также обоснования необходимости разработки и реализации мероприятий по устранению (минимизации) потенциально опасного воздействия производственного шума.

V. Заключение

Реализация системы персонифицированного мониторинга условий труда на основе беспроводной сенсорной сети, санитарно-гигиенической паспортизации объектов – источников потенциально опасных физических факторов и идентификации траектории работника при выполнении задач профессиональной деятельности позволяет обеспечить объективность и персонификацию мониторинга с минимальными затратами на сбор информации о дозах потенциально опасных физических факторов условий профессиональной деятельности, получаемых работниками, что имеет существенное значение для обеспечения надежной деятельности и сохранения здоровья работников промышленных производств и позволяет обеспечить решение задач персонифицированного гигиенического мониторинга на отраслевом, региональном и федеральном уровне.

Список литературы

[1] Ушаков И.Б., Богомолов А.В. Информатизация программ персонифицированной адаптационной медицины // Вестник Российской академии медицинских наук. 2014. Т. 69. № 5-6. С. 124-128.

[2] Жданько И.М., Зинкин В.Н., Солдатов С.К., Богомолов А.В., Шешегов П.М. Фундаментальные и прикладные аспекты профилактики неблагоприятного действия авиационного шума // Авиакосмическая и экологическая медицина. 2014. Т. 48. № 4. С. 5-16.

[3] Ушаков И.Б., Богомолов А.В., Драган С.П., Солдатов С.К. Методологические основы персонифицированного гигиенического мониторинга // Авиакосмическая и экологическая медицина. 2017. Т. 51. № 6. С. 53-56.

[4] Крысов И.С., Сердюк В.С. Индикаторы условий труда как элемент мониторинга // Динамика систем, механизмов и машин. 2009. № 3. С. 345-350.

[5] Ронжин А.Л., Басов О.О., Соколов Б.В., Юсупов Р.М. Концептуальная и формальная модели синтеза киберфизических систем и интеллектуальных пространств // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 2016. Т. 59. № 11. С. 897-905.

[6] Назаренко Г.И., Клейменова Е.Б., Ладохин И.А., Матросова Е.В., Фомин А.А., Туров М.А., Пающик С.А., Кашевская О.П., Яшина Л.П. Перспективы использования системы радиочастотной идентификации для нормирования труда и экономического управления медицинским персоналом многопрофильной больницы // Врач и информационные технологии. 2014. № 5. С. 69-77.

[7] Богомолов А.В., Кукушкин Ю.А. Автоматизация персонифицированного мониторинга условий труда // Автоматизация. Современные технологии. 2015. № 3. С. 6-8.

[8] Терентьев М.Н. Обзор публикаций, посвящённых самоорганизации беспроводных сенсорных сетей // Труды МАИ. 2017. № 94. С. 28.

[9] Санталов Г.Д., Артемьев Б.В. Беспроводные сенсорные сети с централизованной обработкой данных // Информационные технологии. 2018. Т. 24. № 5. С. 299-305.

[10] Бузюков Л.Б., Окунева Д.В., Парамонов А.И. Проблемы построения беспроводных сенсорных сетей // Труды учебных заведений связи. 2017. Т. 3. № 1. С. 5-12.

[11] Ушаков И.Б. Комбинированное воздействие факторов среды на человека // Экология человека. 1996. №. 1. С. 61.

[12] Захарьин А.А. Математическое моделирование синхронизации времени в беспроводных сенсорных сетях // Новые информационные технологии в автоматизированных системах. 2017. № 20. С. 141-145.

Прогнозирование многомерных временных рядов на основе нечетких когнитивно-продукционных моделей

Борисов В.В.
Кафедра вычислительной техники
филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»
в г. Смоленске
Смоленск, Россия
vbor67@mail.ru

Луферов В.С.
Кафедра вычислительной техники
филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»
в г. Смоленске
Смоленск, Россия
lyferov@yandex.ru

***Abstract* — The limitations of existing models and methods for forecasting of the multidimensional time series are, first of all, the complexity of integration of the indirect influence of interdependent time series under uncertainty, and also reduction of this complex task to forecasting of the totality of individual one-dimensional time series. A variety of fuzzy rule-based cognitive models used to the forecasting of multidimensional time series under uncertainty conditions, and takes into account the direct and indirect influence of interdependent components of these series, is considered. An approach to the structural-parametric adjustment of fuzzy rule-based cognitive models for solving problems of forecasting multidimensional time series is presented. The approach provides: firstly, the parametric adjustment of neuro-fuzzy models of mutual influence weights for all concepts of this model; secondly, the structural adjustment of the model due to changes in the "retrospective depth" for the components of multidimensional time series. The accuracy of forecasting of the multidimensional time series is estimated on the basis of the proposed models in comparison with the existing approaches based on the forecasting of such series, represented by sets of one-dimensional time series. The greater accuracy in forecasting of the multidimensional time series using the developed models is achieved by: first, taking into account the direct and indirect influence of interdependent components of time series under uncertainty conditions; secondly, the implementation of flexible structural and parametric adaptation of the model; thirdly, the possibility of setting different "retrospective depths" for components of multidimensional time series..**

Ключевые слова — многомерный временной ряд, нечеткая когнитивно-продукционная модель, нейро-нечеткая модель

I. Введение

Задачи прогнозирования многомерных временных рядов (МВР) в настоящее время является востребованными для оценки и определения прогнозного состояния в как в технических, так и в различных социотехнических системах. Для решения этих задач в настоящее время предложены различные подходы, в большинстве случаев основанные на методах математической статистики, теории случайных процессов, распознавания образов. При этом, как правило, методы и модели анализа и прогнозирования многомерных временных рядов базируется на подходах, которые используются при анализе и прогнозировании одномерных временных рядов [1–3].

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ, проект № 18-29-03088_мк.

Среди факторов, стимулирующих развитие интеллектуальных методов анализа и прогнозирования многомерных временных рядов, можно отметить сложность восстановления многомерного временного ряда статистическими моделями, повышение требований к точности прогнозирования, сложность учета взаимовлияния входящих в его состав компонентов (соответствующих одномерным временным рядам).

Поэтому целесообразным является использование нечетких когнитивных моделей, позволяющих учитывать, как непосредственное, так и опосредованное влияние показателей (концептов) модели друг на друга [4]. Вместе с тем, применение существующих нечетких когнитивных карт для анализа и прогнозирования многомерных временных рядов ограничено используемыми моделями системной динамики, а также сложностью задания различной «глубины ретроспективы» при учете существенной взаимозависимости показателей [5–9].

II. Нечеткая когнтивно-продукционная модель для прогнозирования многомерных временных рядов

Представим многомерный временной ряд в следующем виде

$$MS = \left(MS_1, MS_2, \ ..., \ MS_T, ...\right),$$

$$\forall t \in \left\{1, ..., T, ...\right\}$$

$$MS_t = \begin{cases} s_1^{(t)} = F_1\left(\left(s_1^{(t-1)}, ..., s_1^{(t-L_1)}\right), \ ..., \left(s_N^{(t-1)}, ..., s_N^{(t-L_N)}\right)\right), \\ s_2^{(t)} = F_2\left(\left(s_1^{(t-1)}, ..., s_1^{(t-L_1)}\right), \ ..., \left(s_N^{(t-1)}, ..., s_N^{(t-L_N)}\right)\right), \\ ... \\ s_N^{(t)} = F_N\left(\left(s_1^{(t-1)}, ..., s_1^{(t-L_1)}\right), ..., \left(s_N^{(t-1)}, ..., s_N^{(t-L_N)}\right)\right), \end{cases}$$

где MS – многомерный временной ряд; $MS_t = \left(s_1^{(t)}, s_2^{(t)}, ..., s_N^{(t)}\right)$ – временной «срез» МВР в t-й момент времени; $s_j^{(t)}$ – значение j-го компонента МВР в t-й момент времени, L_j – «глубина ретроспективы» для j-го компонента МВР; F_j – преобразование для получения $s_j^{(t)}$, $j = 1, ..., N$, N – число компонентов МВР.

Для анализа и прогнозирования МВР рассматриваемого вида в работе [10] предложена новая разновидность нечетких когнитивно-продукционных моделей (НКПМ):

©2019 ИПУСС РАН, СамГТУ, IEEE

$$FRBCM = \langle C, W \rangle,$$
$$C = \{C_j \mid j \in 1, ..., N\},$$
$$W = \{W_{ij} \mid i, j \in 1, ..., N\},\ N = |C|,$$
$$\forall j \in 1, ..., N \quad C_j = \langle AGG_j, OUT_j \rangle,$$
$$OUT_j = \left\{ OUT_j^{(t-l_j)} \mid l_j = 0, ..., L_j \right\},$$
$$\forall i, j = 1, ..., N,\ W_{ij} = \left\{ w_{ij}^{(t-l_j)} \mid l_j = 0, ..., L_j \right\}.$$

Здесь C – множество концептов модели, которые характеризуют соответствующие компоненты МВР; W – совокупность отношений непосредственного влияния между всеми парами концептов НКПМ.

Каждый концепт C_j НКПМ реализует соответствующее ему преобразование F_j МВР.

Это преобразование в концепте C_j выполняется его моделью AGG_j, которая предназначена для агрегирования влияний со стороны концептов, непосредственно воздействующих на концепт C_j.

Каждое подмножество W_{ij} определяет упорядоченный в хронологической последовательности набор степеней влияния $w_{ij}^{(t-l_i)}$ концепта-источника C_i на концепт-приемник C_j с учетом «глубины ретроспективы» L_i соответствующего i-го компонента МВР.

В качестве моделей агрегирования AGG_j для каждого концепта C_j предлагается использовать адаптивную нейро-нечеткую модель *ANFIS*-типа (*Adaptive-Network-based Fuzzy Inference System*), в основе которой лежат, например, нечеткие продукционные правила и алгоритм нечеткого вывода Мамдани или Такаги–Сугено [11]. Выходами нечетких переменных для нейро-нечетких моделей AGG_j концепта C_j являются выходные значения тех концептов, которые оказывают на него непосредственное влияние, а также выходные значения самого концепта C_j.

На выходах модели AGG_j концепта C_j формируется множество значений $\left\{ OUT_j^{(t-l_j)} \mid l_j = 0, ..., L_j \right\}$, соответствующих значениям j-го компонента МВР:

$$OUT_j^{(t)} : s_j^{(t)},$$
$$OUT_j^{(t-1)} : s_j^{(t-1)},$$
$$OUT_j^{(t-2)} : s_j^{(t-2)},$$
$$...$$
$$OUT_j^{(t-L_j)} : s_j^{(t-L_j)}.$$

В качестве примера приведем отдельное правило модели агрегирования AGG_j для концепта C_j НКПМ, показанной на рис. 1:

$$\begin{aligned}
&If \quad w_{2j}^{(t-1)} \left(OUT_2^{(t-1)} \ is\ Low \right) AND \ ... \ AND \\
&\quad w_{2j}^{(t-L_2)} \left(OUT_2^{(t-L_2)} \ is\ Middle \right) AND \\
&\quad w_{ij}^{(t-1)} \left(OUT_i^{(t-1)} \ is\ Middle \right) AND \ ... \ AND \\
&\quad w_{ij}^{(t-L_i)} \left(OUT_i^{(t-L_i)} \ is\ High \right) AND \\
&\quad w_{jj}^{(t-1)} \left(OUT_j^{(1)} \ is\ Low \right) AND \ ... \ AND \\
&\quad w_{jj}^{(t-L_j)} \left(OUT_j^{(L_j)} \ is\ Middle \right), \\
&Then \ \left(OUT_j^{(t)} \ is\ Middle \right) AND \\
&\quad \left(OUT_j^{(t-1)} \ is\ Middle \right) AND \ ... \ AND \left(OUT_j^{(t-L_j)} \ is\ High \right),
\end{aligned}$$

где {*Low*, *Middle*, *High*} – терм-множество для задания нечетких переменных.

Все высказывания в предпосылках и заключениях этих правил взвешиваются соответствующими степенями влияния.

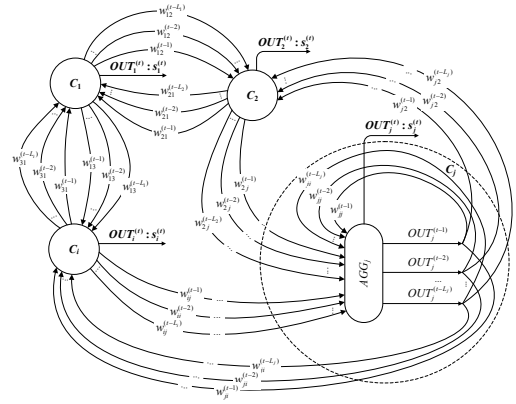


Рис. 1. Структура нечеткой когнитивно-продукционной модели для прогнозирования многомерных временных рядов

III. ПОДХОД К СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЕЧСКОЙ НАСТРОЙКЕ НЕЧЕТКИХ КОГНИТИВНО-ПРОДУКЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ

Структурно-параметрическая настройка НКПМ для прогнозирования МВР заключается в следующем.

Сначала выполняется параметрическая настройка нейро-нечетких моделей AGG_j всех концептов C_j предлагаемой НКПМ. С этой целью предварительно на основе ретроспективных данных для каждого концепта C_j формируется обучающая выборка, соответствующая j-му компоненту МВР. Обучающие выборки формируются в соответствии со структурой МВР, приведенной в 1-м разделе статьи.

В результате такой настройки нейро-нечетких моделей AGG_j выполняется параметрическая оптимизация нечетких правил этих моделей (параметров функций принадлежности их предпосылок и заключений), а также весов влияния на основе алгоритмов обучения, подобных алгоритмам обучения «с учителем» искусственных нейронных сетей с

использованием сформированных обучающих выборок [12].

Если в результате тестирования достоверность прогнозирования на основе разработанной и обученной НКПМ не удовлетворяет установленным требованиям, то выполняется сначала настройка отношений влияния между каждой парой концептов C_i и C_j НКПМ, а затем осуществляется ее структурная настройка в зависимости от изменения «глубины ретроспективы» для компонентов МВР.

IV. ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ МНОГОМЕРНЫХ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ

На рис. 2 представлен пример НКПМ для прогнозирования МВР электрической нагрузки для потребителей Смоленского региона.

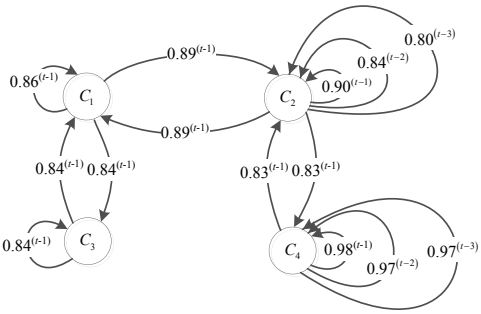


Рис. 2. НКПМ для прогнозирования МВР электрической нагрузки для потребителей Смоленского региона

Концепты $C_1, ..., C_4$ характеризуют компоненты МВР электрической нагрузки для соответствующих потребителей. Веса взаимовлияния между концептами НКПМ заданы на основе результатов корреляционного анализа этих компонентов с учетом различного временного смещения (см. таблицу I).

ТАБЛИЦА I. РЕЗУЛЬТАТЫ КОРРЕЛЯЦИОННОГО АНАЛИЗА КОМПОНЕНТОВ МВР

Компоненты МВР	**Коррелируемые компоненты МВР**	**Смещение компонентов МВР относительно друг друга**		
		***t*–1**	***t*–2**	***t*–3**
C_1	C_1	0.86	0.75	0.64
	C_2	0.89	0.78	0.77
	C_3	0.84	0.72	0.75
	C_4	0.52	0.50	0.49
C_2	C_2	0.90	0.84	0.80
	C_3	0.28	0.23	0.17
	C_4	0.83	0.78	0.73
C_3	C_3	0.84	0.67	0.54
	C_4	0.01	0.01	0.01
C_4	C_4	0.98	0.97	0.97

На основе корреляционного анализа можно составить НКПМ, которая изображена на рис. 3.

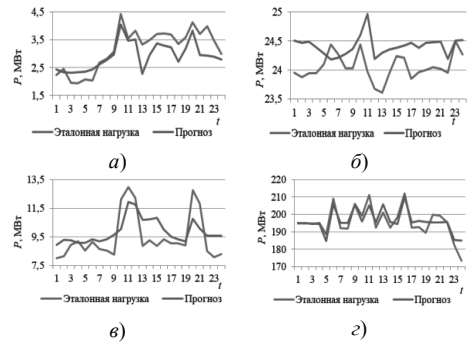


Рис. 3. Сравнение эталонной (реальной) электрической нагрузки с результатами прогноза на основе НКПМ: *а* – для C_1, *б* – для C_2, *в* – для C_3, *г* – для C_4

На рис. 4 проиллюстрирован пример сравнительной оценки результатов прогнозирования электрической нагрузки для потребителей Смоленского региона, полученных на исторических данных с использованием искусственных нейронных сетей (ИНС), нейро-нечетких сетей (ННС) и разработанных НКПМ. В таблице II представлена итоговая оценка точности прогнозирования (*MAPE*) для ИНС, ННС и предложенных НКПМ.

ТАБЛИЦА II. РЕЗУЛЬТАТЫ СРАВНИТЕЛЬНОЙ ОЦЕНКИ ТОЧНОСТИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ

Ошибка прогнозирования	**Модели прогнозирования**		
	Искусственные нейронные сети	***Нейро-нечеткие сети***	***Нечеткие когнитивно-продукционные модели***
MAPE, %	4.9	3.4	3.3

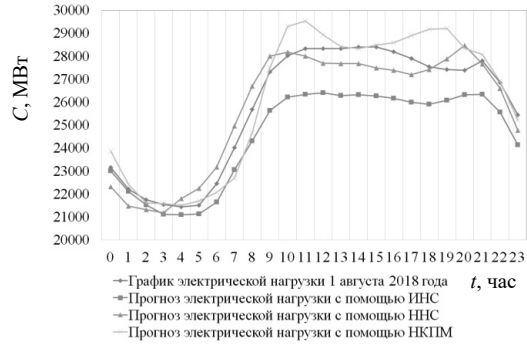


Рис. 4. Сравнение прогноза электрической нагрузки с использованием ИНС, ННС и предложенных НКПМ

Результаты сравнительной оценки точности прогнозирования электрической нагрузки для потребителей Смоленского региона на исторических данных показали, что использование разработанных НКПМ позволяет повысить точность прогноза МВР в

среднем на 2,3% по сравнению с существующими подходами, основанными на представлении МВР совокупностями одномерных временных рядов.

Получаемый эффект достигается за счет: во-первых, учета как непосредственного, так и опосредованного влияния взаимозависимых временных рядов в условиях неопределенности; во-вторых, параметрической настройки моделей агрегирования влияний концептов НКМ вследствие изменения параметров функций принадлежности предпосылок и заключений правил, а также весов влияния этих моделей; в-третьих, настройки отношений влияния между каждой парой концептов НКПМ; в-четвертых, структурной настройки НКПМ вследствие изменения и возможности установления различной «глубины ретроспективы» для компонентов МВР.

V. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотрена разновидность нечетких когнитивно-продукционных моделей, ориентированная на прогнозирование МВР в условиях неопределенности, обеспечивающая учет непосредственного и опосредованного влияния взаимозависимых компонентов МВР. Представлен подход к обучению НКПМ для решения задач прогнозирования МВР, предполагающий параметрическую настройку нейро-нечетких моделей для всех концептов этой НКПМ, а также весов взаимовлияния ее концептов.

Выполнена сравнительная оценка прогнозирования МВР с использованием искусственной нейронной сети, нейро-нечеткой сети и разработанной НКПМ на примере прогнозирования электрической нагрузки для потребителей Смоленского региона. Результаты оценки показали, что использование разработанных НКПМ позволяет повысить точность прогноза МВР в среднем на 2,3% по сравнению с существующими подходами, основанными представлении МВР совокупностями одномерных временных рядов.

Получаемый эффект достигается за счет: во-первых, учета как непосредственного, так и опосредованного влияния взаимозависимых временных рядов в условиях неопределенности; во-вторых, параметрической настройки моделей агрегирования влияний концептов НКМ вследствие изменения параметров функций принадлежности предпосылок и заключений правил, а также весов влияния этих моделей; в-третьих, настройки отношений влияния между каждой парой концептов НКПМ; в-четвертых, структурной настройки НКПМ вследствие изменения и возможности установления различной «глубины ретроспективы» для компонентов МВР.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

[1] Авдеева З.К., Макаренко Д.И., Максимов В.И. Когнитивные технологии поддержки принятия решений при стратегическом управлении ситуациями // Информационные технологии. 2006. – С. 74–79.

[2] Бэнн Д.В., Фармер Е.Д. Сравнительные модели прогнозирования электрической нагрузки: Пер. с англ. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 200 с.

[3] Четыркин Е.М. Статистические методы прогнозирования. – М.: Статистика, 1977. – 200 с.

[4] Борисов В.В., Круглов В.В., Федулов А.С. Нечеткие модели и сети. 2-е изд. стереотип. – М.: Горячая линия – Телеком, 2012. – 284 с.

[5] Stach W., Kurgan L., Pedrycz W., Reformat M. Genetic learning of fuzzy cognitive maps // Fuzzy Sets and Systems. 2005. Vol. 153. No. 3. – PP. 371–401.

[6] Juszczuk P., Proelich W. Learning fuzzy cognitive maps using a differential evolution algorithm // Pol. J. Environ. Stud. 2009. Vol. 12. No. 3B. – PP. 108–112.

[7] Song H., Miao C., Shen Z., Roel W., Maja D., Francky C. Design of fuzzy cognitive maps using neural networks for predicting chaotic time series // Neural Networks. 2010. Vol. 23. No. 10. – PP. 1264–1275.

[8] Papageorgiou E. Learning algorithms of Fuzzy Cognitive Maps – A review study // IEEE Trans. Sys. Man. Cybern., part C. 2012. Vol. 42. No. 2. – PP. 150–163.

[9] Averkin A.N., Yarushev S.A. Hybrid approach for time series forecasting based on ANFIS and Fuzzy Cognitive Maps // In Proc. of 20th IEEE International Conference on Soft Computing and Measurements (SCM). 2017. IEEE, 2017. – PP. 379–381.

[10] Луферов В.С. Постановка и решение задачи прогнозирования многомерных временных рядов на основе нечетких когнитивных моделей // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. 2018. № 4. – 10–16 С.

[11] Jang J.-S.R. ANFIS: Adaptive Network-based Fuzzy Inference System // IEEE Trans. on systems, Man and Cybernetics, 1993. Vol. 23, no 3. – PP. 665–685.

[12] Борисов В.В., Федулов А.С., Зернов М.М. Основы гибридизации нечетких моделей. Серия «Основы нечеткой математики». Книга 9. Учебное пособие для вузов. – М.: Горячая линия–Телеком, 2017. – 100 с.

Реализация программного комплекса выявления паттернов в мультиграфе на примере сети межбанковского кредитования в агентной модели банковской системы

Булгакова Д.В.
ФИАН им. П.Н. Лебедева, МФТИ
Москва, Россия
bulgakovadari@gmail.com

Васильев С.Б.
ФИАН им. П.Н. Лебедева, ФИЦ ИУ РАН
Москва, Россия
sbvasilyev@lpi.ru

Коваленко А.М.
ФИАН им. П.Н. Лебедева, МГУ им. М.В.Ломоносова
Москва, Россия
am.kovalenko@physics.msu.ru

Леонидов А.В.
ФИАН им. П.Н. Лебедева, МФТИ
Москва, Россия
leonidov@lpi.ru

Серебрянникова Е.Е.
ФИАН им. П.Н. Лебедева, МФТИ
Москва, Россия
serebryannikova@lpi.ru

Трегубов Д.О.
ФИАН им. П.Н. Лебедева
Москва, Россия
treg.dim@gmail.com

***Abstract* — Graph is a universal representation of different social and economic systems. Vertices of a graph represent objects of different kind and edges describe interrelations between these objects. Vertices and edges can be characterized by a set of attributes describing different properties of objects and relations between them. A graph is called a multi-graph If its elements are characterized by multiple attributes. In such a case, different phenomena taking place in a system can be described in the form of multi-graph's subgraph, or pattern, having particular structure. The problem of recognition of the phenomena can be formalized as the problem of subgraph matching. The study presents the software system which is aimed at solution of the problem of subgraph matching in multi-graphs. The system has a multiagent implementation. One of the key structural elements of the system is a knowledge base containing computable description of patterns to be matched. The system contains a set of program agents responsible for searching for the particular pattern. As subgraph matching problem is NP complete, there is no universal efficient algorithm for matching pattern of arbitrary structure. Therefore, different searching agents may operate with different algorithms. As a result, multiagent architecture is necessary for efficient system implementation. In the study the system's work is exemplified by recognition of two different patterns in the interbank network of the agent-based model of banking system. The first pattern relates to the case of Ponzi scheme realization in the model and the second one represents the case of cyclical transition of money between three banks. The analysis of dependence between efficiency of pattern recognition and amount of noise in the data is conducted.**

Ключевые слова — мультиграф, подграф, изоморфизм, база знаний, онтология, мультиагентная архитектура

I. Введение

Графовое представление является универсальным языком для описания различных социально-экономических систем. В такой постановке вершины графа представляют объекты разной природы, а ребра моделируют взаимодействие между данными объектами. В общем случае, как вершины, так и ребра графа могут характеризоваться набором атрибутов, описывающих различные свойства объектов и взаимодействий между ними. Граф, элементы которого описываются множественными атрибутами называется мультиграфом. В такой постановке различные явления, происходящие в системе, описываются подграфом, или паттерном, определенной структуры. В контексте графового представления задача выявления реализации событий разного рода в системе формализуется как задача поиска подграфа, изморфного определенному заданному паттерну (шаблону), в мультиграфе. В работе представлено описание программного комплекса, предназначенного для реализации поиска подграфа в мультиграфе.

Известно, что задача поиска подграфа, изоморфного заданному графу-запросу, в графе данных является NP-полной [1]. Прямым следствием данного факта является, в частности, что для любого алгоритма существует пример (пара графов запроса и данных), для которого невозможно получить ответ за приемлемое время. Учитывая вышесказанное, об эффективности алгоритмов поиска имеет смысл говорить только для графов, имеющих определенную структуру, или иными словами, та или иная эвристика может быть удачной для одних графов и неэффективной для других.

II. Архитектура программного комплекса

Вычислительная сложность решаемой задачи диктует определенные требования к архитектуре разрабатываемого комплекса. Ключевыми особенностями, необходимыми для реализации эффективной системы, являются:

- Использование графовой базы данных.

  Для хранения данных о трансакциях на рынке межбанковского кредитования (МБК) в агентной модели банковской системы, в которых будет осуществляться поиск различных паттернов, было принято решение об использовании графовой СУБД, являющейся альтернативой наиболее

Исследование выполнено в рамках работы по Программе Президиума РАН «Фундаментальные исследования по проблеме экономической безопасности».

©2019 ИПУСС РАН, СамГТУ, IEEE

распространенным реляционным СУБД. В случае данных с большим количеством связей, выполнение запросов в РСУБД становится трудной и затратной по сложности задачей ввиду необходимости реализации большого количества операций соединения. Графовые базы данных архитектурно предназначены для хранения данных, имеющих большое количество связей, что позволяет избежать роста сложности при выполнении запросов, описывающих подграфы сложной структуры [2,3].

- Использование мультиагентного подхода при реализации системы

  Основная идея этого подхода состоит в том, что решение общей задачи производится в результате взаимодействия набора автономных программных агентов. Каждый из этих агентов выполняет свою роль и, кроме того, взаимодействует с остальными посредством набора протоколов общения. Работа в рамках такого подхода обеспечивает наличие у программной реализации системы набора принципиально важных свойств, таких как:
  - распределенность,
  - масштабируемость,
  - отказоустойчивость.

  Требование распределенности при этом является крайне важным ввиду того, что за поиск разных паттернов должны отвечать разные программные агенты. Такая архитектура позволяет, во-первых, применять алгоритмы поиска подграфа, наиболее эффективные в каждом конкретном случае, а во-вторых, производить параллельно поиск разных паттернов.

- Создание расширяемой базы знаний, включающей онтологию предметной области (машинно-читаемое описание паттернов, которыми оперируют агенты поиска)

  Наличие расширяемой машинно-читаемой базы знаний является обязательным требованием любой современной системы, реализующей методы искусственного интеллекта [4].

Программный комплекс состоит из следующих структурных элементов (рис.1):

- Модуль разбора и унификации данных (агент обработки данных)
- Модуль агента поиска схемы
- Модуль работы с базой данных (neo4j)
- Модуль работы с базой знаний
- Пользовательский интерфейс

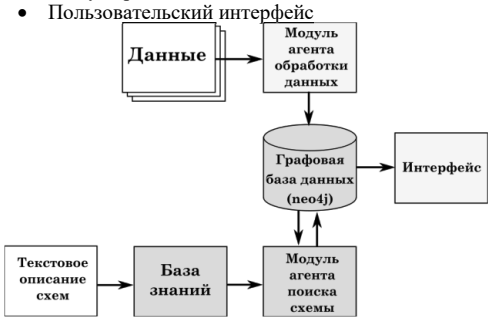


Рис. 1. Архитектура программного комплекса

III. Агентная модель банковской системы

В работе [5] рассматривается агентная модель банковской системы, включающая детальное описание протоколов и стилизованное описание внешней (по отношению к банковской системе) экономики. В рассматриваемой схеме можно выделить три основных элемента: внешние потоки депозитов и заявок на кредиты, описываемые некоторыми случайными процессами, и собственно банковскую систему (рис.2). Поведение агентов-банков устроено так, что они принимают все депозиты, поступающие извне, и всегда выдают кредиты при условии наличия достаточного объема наличности. Дефицит ликвидности, обусловленный необходимостью выплаты процентов по депозитам и возврата депозитов или наличием неудовлетворенных заявок на кредиты, стимулирует банки выходить на рынок МБК. На рынке МБК производится случайный попарный мэтчинг банков, испытывающих дефицит ликвидности, и банков, обладающих свободными денежными средствами. В связи с этим данная модель является моделью эндогенного формирования сети МБК, узлами которой являются банки, а ребрами – трансакции на рынке МБК.

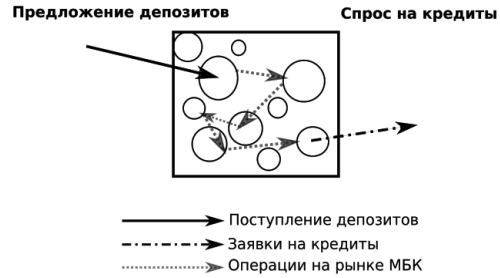


Рис. 2. Схематическое представление ключевых элементов агентной модели банковской системы

В работе [5] показано, что топология сети МБК, возникающей в модели, характеризуется широким спектром свойств, характерных реальным сетям МБК.

Модификация описанной агентной модели дает возможность изучить изменения характеристик банковской системы (свойства рынка МБК, изменения балансов и т.д.), возникших в результате реализации ряда мошеннических схем. Типы мошеннических операций, возможность изучения которых предусмотрена в агентной модели, перечислены в таблице I.

Интересной особенностью присутствия в модели банков, реализующих мошеннические схемы, является то, что в сети МБК происходит формирование паттернов типа «звезда» (рис.3) со следующими характерными особенностями:

- для каждого момента времени $t > t_0$ (t_0 - первый момент времени, когда банк начинает испытывать дефицит ликвидности) существует по меньшей мере одно ребро;
- суммарный вес ребер, относящихся к одному и тому же моменту времени, растет с течением времени.

ТАБЛИЦА I. МОШЕННИЧЕСКИЕ ОПЕРАЦИИ В АГЕНТНОЙ МОДЕЛИ БАНКОВСКОЙ СИСТЕМЫ

Тип мошенничества	Описание
Финансовая пирамида	Наличие в системе банков, принимающих депозиты по завышенной ставке и не выдающих кредиты
Сокрытие депозитов	Неучет части пассивов в бухгалтерских записях
Ненадлежащее обеспечение	Учет в качестве обеспечения резервов, рыночная стоимость которых меньше требуемой для активов с определенным уровнем риска
Фиктивный капитал	Отображение в отчетности завышенного значения собственного капитала

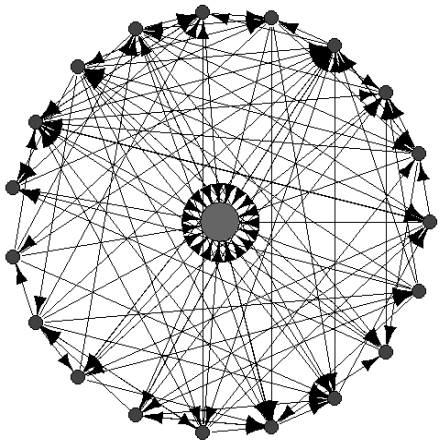


Рис. 3. Формирование паттерна типа "звезда" на рынке МБК в результате присутствия банка-организатора мошеннической схемы

IV. МУЛЬТИГРАФОВОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ СХЕМ

С формальной точки зрения задача идентификации банков-организаторов мошеннических схем – это задача выявления паттерна типа «звезда» (рис.3) с характеристиками, описанными в предыдущем пункте. Мультиграф данных строится на основе информации о транзакциях на рынке МБК в модели. Вершинами в этом мультиграфе выступают банки, а ребрами – трансакции на рынке МБК. При этом каждое ребро имеет два атрибута: объем трансакции и дата проведения.

Формальное представление искомого паттерна, отвечающего реализации одной из мошеннических схем, перечисленных в таблице I, приведено на рис.4. Машинно-читаемое описание, отвечающее данной схеме, было помещено в базу знаний комплекса.

Для тестирования работоспособности концепции проводился поиск не только описанного выше паттерна, характерного случаю реализации мошеннической схемы в модели, но и циклической схемы, мультиграфовое представление которой приведено на рис.5. Машинно-читаемое описание данной схемы также было добавлено в базу знаний.

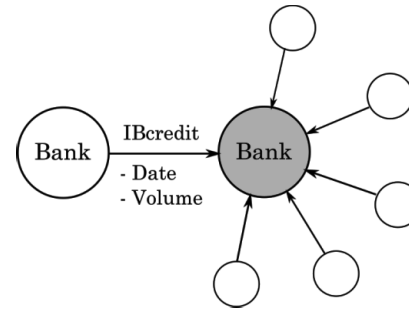


Рис. 4. Мультиграфовое представление паттерна, отвечающего случаю присутствия банка-организатора мошеннической схемы в агентной модели банковской системы

Данная схема, вообще говоря, не является мошеннической. Появление некоторого количества циклических треугольников – это нормальное свойство графа МБК. Однако для формирования циклических треугольников, имеющих больший суммарный вес ребер, чем у аналогичных треугольников, возникающих при случайном мэтчинге, для ряда банков было внесено изменение в алгоритм поиска контрагента на рынке МБК, так чтобы кредитование происходило преимущественно по заранее определенному циклу.

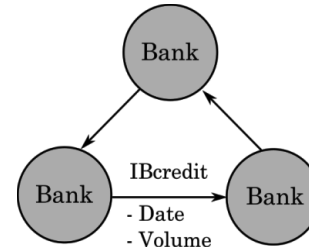


Рис. 5. Мультиграфовое представление циклической схемы на рынке МБК в агентной модели банковской системы

Таким образом, база знаний системы содержит машинно-читаемое описание паттернов двух типов. За поиск каждого паттерна отвечает отдельный агент поиска. Взаимодействие агента поиска с базой знаний состоит в считывании конкретной схемы.

V. ЭТАПЫ ТЕСТИРОВАНИЯ И РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ КОМПЛЕКСА

A. Выявление паттерна, отвечающего реализации мошеннической схемы

Этапы тестирования:

1) Мультиграфовое представление идентифицируемого паттерна
2) Добавление машинно-читаемого представления схемы в базу знаний
3) Генерация данных

Проведение симуляции агентной модели с 1000 банков, 5 из которых в разные моменты времени начинали действовать по алгоритмам банков-организаторов мошеннических схем (последовательно

Банки № 14, 52, 4, 651, 114). Формирование массива данных о трансакциях на рынке МБК.

4) Подача данных о трансакциях на рынке МБК в агентной модели на вход системы

5) Выявление банков-организаторов мошеннических схем

Результат работы агента идентификации схемы представлен на рис. 6 (фрагмент интерфейса)

Рис. 6. Фрагмент интерфейса, иллюстрирующий результаты работы агента идентификации схемы Рис.4

Как следует из результатов работы комплекса, представленных на рис.6, были выявлены все банки, объявленные организаторами мошеннических схем, однако уровень риска, присвоенный каждому из банков, тем больше, чем раньше банк начинал действовать по алгоритму организатора мошеннической схемы.

B. Идентификация циклической схемы в агентной модели банковской системы

Этапы тестирования:

1) Мультиграфовое представление идентифицируемого паттерна

2) Добавление машинно-читаемого представления схемы в базу знаний

3) Генерация данных

4) Проведение симуляции агентной модели с 1000 банков, 3 из которых участвуют в формировании циклической схемы (Банки № 844, 248, 3). Под формированием циклической схемы при этом понималось установление предпочтения о кредитовании у конкретного банка (как альтернатива случайному мэтчингу).

5) Подача данных о трансакциях на рынке МБК в агентной модели на вход системы

6) Выявление банков-организаторов циклической схемы

Результат работы агента идентификации схемы представлен на рис. 7 (фрагмент интерфейса).

Как следует из рис.7 результатом работы комплекса является присвоение трем банкам, являющимся организаторами циклической схемы, высокого уровня риска. Однако, наличие некоторого количества циклических треугольников – это естественное свойство графа МБК, ввиду чего ряд других банков были также отмечены как имеющие средний уровень риска.

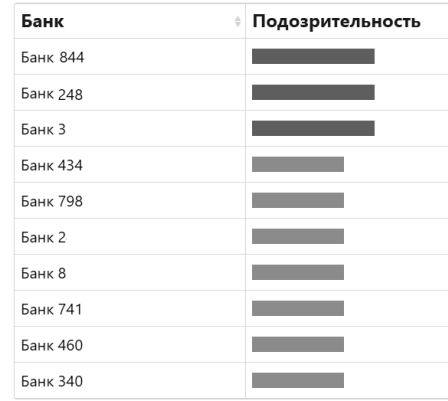


Рис. 7. Фрагмент интерфейса, иллюстрирующий результаты работы агента идентификации схемы Рис.5

VI. Заключение

В работе представлено описание программного комплекса, предназначенного для реализации поиска подграфа в мультиграфе. Тестирование работы комплекса производилось на данных о трансакциях на рынке МБК в агентной модели банковской системы. Производилось выявление паттерна, отвечающего реализации на рынке некоторой мошеннической схемы, а также циклического паттерна. Следует отметить, что применимость представленного комплекса не ограничивается рассмотренным случаем. Программная архитектура такого рода может быть использована при реализации аналогичных систем, предназначенных для выявления паттернов в графах, описывающих различные социально-экономические взаимодействия.

Список литературы

[1] Cook S. A. The complexity of theorem-proving procedures //Proceedings of the third annual ACM symposium on Theory of computing. – ACM, 1971. – С. 151-158.

[2] Holzschuher F., Peinl R. Performance of graph query languages: comparison of cypher, gremlin and native access in Neo4j //Proceedings of the Joint EDBT/ICDT 2013 Workshops. – ACM, 2013. – С. 195-204.

[3] Huang H., Dong Z. Research on architecture and query performance based on distributed graph database neo4j //2013 3rd International Conference on Consumer Electronics, Communications and Networks. – IEEE, 2013. – С. 533-536.

[4] McGuinness D. L. et al. OWL web ontology language overview //W3C recommendation. – 2004. – Т. 10. – №. 10. – С. 2004.

[5] Леонидов А. В., Нечитайло В. А., Серебрянникова Е. Е. Топология сети межбанковского кредитования в агентной модели банковской системы //Экономический журнал Высшей школы экономики. – 2018. – Т. 22. – №. 3.

Об агентной интерпретации задач линейного программирования

Булгакова Д.В.
ФИАН им. П.Н. Лебедева, МФТИ
Москва, Россия
bulgakovadari@gmail.com

Леонидов А.В.
ФИАН им. П.Н. Лебедева, МФТИ
Москва, Россия
leonidov@lpi.ru

Серебрянникова Е.Е.
ФИАН им. П.Н. Лебедева, МФТИ
Москва, Россия
serebryannikova@lpi.ru

***Abstract* — Problems that require large computational powers often arise in modern industry. For example, the problem of distributing resources between factories for profitable co-production. Such problems can be formulated in terms of linear programming, which implies the use of a system of linear equations and a function that needs to be maximized. At the moment there are several methods for solving both general and integer linear programming problems. However, not all of them are suitable for practical use. This paper presents an algorithm for solving such a linear programming problem as the problem of resource allocation between system agents. In this case, the linear programming problem is formulated in terms of multi-agent system, and is solved with its help. This approach makes it possible to efficiently rebuild a system with dynamically changing coefficients, adding and removing variables and changing loss function.**

Ключевые слова — линейное программирование, мультиагентные системы, аукцион, задача о распределении ресурсов

I. Введение

На протяжении долгого времени во многих производственных областях возникают задачи, решение которых требует больших вычислительных мощностей. И по мере развития промышленности задачи все усложняются: в современном мире требуется динамическое и быстрое решение, а количество неизвестных в системах при этом неуклонно растет.

Задачи при этом ставятся самые разные, от распределения задач между спутниками, которые в любой момент могут выйти из строя, до распределения ресурсов между заводами для выгодного общего производства. Как правило, такие задачи можно сформулировать в терминах линейного программирования, что подразумевает появление системы линейных уравнений и функции, которую необходимо максимизировать.

На данный момент известны различные решения для задач линейного программирования, причем как для общих, так и для целочисленных. Однако, не все эти решения подходят для практического применения. В производственных задачах системы, как правило, имеют большую размерность, и чтобы повысить скорость работы алгоритмов, решающих эти системы, используют параллельные вычисления. Но, например, параллельную вариацию метода внутренней точки для решения общих задач линейного программирования можно использовать только для систем, имеющих определенную структуру [2, 3]. Широко известный симплекс-метод имеет несколько параллельных вариаций [1], но и он не вполне подходит для решения практических задач: с течением времени в таких задачах могут появляться новые переменные и изменяться коэффициенты, что требует полного перестроения симплекс-таблицы и нахождения решения с нуля.

Таким образом, выделяются основные сложности практических задач, которые можно сформулировать в терминах линейного программирования:

1) высокая размерность системы;
2) динамическое добавление и удаление переменных;
3) динамическое изменение коэффициентов системы;
4) динамическое изменение целевой функции;

Для преодоления этих сложностей будет рассмотрен подход, основанный на использовании мультиагентных систем. Задача линейного программирования будет переформулирована в терминах мультиагентных систем и решена с помощью вариации алгоритма восходящего аукциона, который показывает высокую эффективность для распределенного поиска решения в таких системах. Также, благодаря особенностям данного подхода, алгоритм сможет оптимально реагировать на динамические изменения в системе.

II. Постановка задачи

Рассматривается следующая задача распределения ресурсов для производства различных продуктов:

$$c^T x \to \max_x$$
$$Ax \le b$$

- N — количество конечных продуктов, $N \in \mathbb{N}$.
- M — количество ресурсов, $M \in \mathbb{N}$.
- $x = (x_1, \ldots, x_N)^T$ — вектор продуктов, $\forall i \;\; x_i \in \Re, x_i \ge 0$.
- $c = (c_1, \ldots, c_N)^T$ — вектор цен на продукты, $\forall i \;\; c_i \in \Re, c_i \ge 0$.
- $b = (b_1, \ldots, b_N)^T$ — запасы ресурсов в экономике, $\forall j \;\; b_j \in \Re, b_i \ge 0$.

©2019 ИПУСС РАН, СамГТУ, IEEE

- $A = \{a_{ij}\}_{i=1,\ldots,M,\, j=1,\ldots,N}$, $\forall i, j \quad a_{ij} \in \Re, a_{ij} \geq 0$ - матрица потребностей ресурсов для производства продуктов, т.е. a_{ij} интерпретируется как количество ресурса *i*, необходимого для производства единицы продукта *j*.

В данной формулировке задача о распределении ресурсов является задачей линейного программирования.

Опишем данную задачу в терминах мультиагентных систем.

Будем считать, что в системе *N* агентов, каждый из которых может произвести один из *N* продуктов. У каждого из агентов при этом имеется определенный набор ресурсов, соответствующий столбцу в матрице A. Цель задачи заключается распределении ресурсов по агентам таким образом, чтобы получить максимальную *полезность*, что означает максимизацию функции $c^T x$.

III. Решение задачи и описание алгоритма

Основная идея алгоритма заключается в проведении торгов за ресурсы между агентами системы. Благодаря аукциону с определенными правилами происходит перераспределение ресурсов между агентами, что во многих случаях гарантирует нахождение оптимального решения задачи.

В алгоритме используется понятие *буфера* — вектора ресурсов, доступных каждому из агентов на данной итерации алгоритма. До начала алгоритма в буфере содержатся все ресурсы экономики системы.

До начала алгоритма $buffer = b$. Также легко заметить, что $\forall i \ (i = 1, \ldots, M) buffer_i \leq b_i$.

Помимо этого, вводится понятие текущего распределения ресурсов между агентами — матрица *D*. До начала алгоритма матрица D — нулевая.

Очередь потенциальных продавцов будет определена как *queue*. До начала алгоритма она будет пустой.

Алгоритм состоит из двух основных частей.

A. Начальное распределение ресурсов

- Расчет потенциального выпуска для каждого агента.
- Выбор агента с максимальной потенциальной прибылью (что является произведением потенциального выпуска на цену продукта), передача ему необходимого количества ресурсов из буфера.
- Формирование очереди потенциальных продавцов, в которой первым будет агент с максимальным потенциальным выпуском.

Пусть a_i — вектор ресурсов, которые нужны *i*-ому агенту для производства одной единицы продукта. Тогда для каждого *i*-го агента по формуле $\min\left(\frac{b_1}{a_{i1}}, \ldots, \frac{b_M}{a_{iM}}\right)$ можно найти максимальное количество продуктов, которое он сможет произвести, если получит все ресурсы из буфера.

В формуле берется именно минимум от поэлементного деления вектора доступных в буфере ресурсов на вектор необходимых для производства ресурсов, потому что необходимо найти максимальный выпуск, даже несмотря на то, что могут остаться неиспользуемые ресурсы в буфере. Так гарантируется то, что на найденный выпуск хватит ресурсов всех видов.

Умножив c_i на $\min\left(\frac{b_1}{a_{i1}}, \ldots, \frac{b_M}{a_{iM}}\right)$ для каждого *i*-го агента, можно получить прибыль, которую он принесет при использовании максимального количества ресурсов из буфера.

Затем выбирается самый прибыльный агент *k* по $\max_i \left(c_i \min\left(\frac{b_1}{a_{i1}}, \ldots, \frac{b_M}{a_{iM}}\right)\right)$. После этого ему передаются все необходимые для производства максимально возможного количества продуктов ресурсы из буфера.

Таким образом,

$$\forall j \ \ D_{kj} = a_{kj} \min\left(\frac{b_1}{a_{k1}}, \ldots, \frac{b_M}{a_{kM}}\right).$$

При этом $\forall i \neq k \ \ \forall j \ \ D_{ij} = 0$.

Буфер также будет переопределен:

$$\forall j \ \ buffer_j = buffer_j - a_{kj} \min\left(\frac{b_1}{a_{k1}}, \ldots, \frac{b_M}{a_{kM}}\right)$$

Далее формируется очередь потенциальных продавцов по убыванию $c_i \min\left(\frac{b_1}{a_{i1}}, \ldots, \frac{b_M}{a_{iM}}\right)$.

На нулевом шаге подготовки алгоритма к работе происходит распределение ресурсов между агентами. Идея заключается в том, чтобы выбрать агента, способного принести наибольшую прибыль при использовании максимального количества доступных ресурсов из буфера, отдать ему часть требуемых ресурсов из буфера, и сформировать из агентов очередь потенциальных продавцов в зависимости от их возможной прибыли. При этом первым в очереди продавцов будет выбранный агент.

B. Итеративный аукцион

- Каждый из агентов-покупателей формирует предложение агенту-продавцу.
- Агент-продавец вычисляет потенциальную прибыль для каждого агента-покупателя, исходя из их предложений.
- Совершается та сделка между агентом-продавцом и агентом-покупателем, в которой агент-продавец получит наибольшую выгоду. Если выгодное для агента-продавца предложение отсутствует, то сделка не совершается.

Одной итерацией алгоритма считается проведение торгов одним агентом из очереди потенциальных продавцов.

Идея торгов заключается в том, что каждый из агентов-покупателей формирует предложение о покупке определенной части ресурсов агента-продавца. При этом агент-продавец вычисляет возможную прибыль от

продажи ресурсов каждому из агентов-покупателей и, если она положительна, продает часть своих ресурсов агенту-покупателю, при продаже ресурсов которому получит наибольшую выгоду.

Максимальное количество продуктов, которое *i*-ый агент сможет произвести из имеющихся у него на данной итерации ресурсов, будет называться *выпуском* и обозначаться $x_i^{(0)}$. Максимальное количество продуктов, которое *i*-ый агент сможет произвести из ресурсов, которые он собирается приобрести после совершения сделки на данной итерации, будет называться *потенциальным выпуском* и обозначаться $x_i^{(1)}$.

Пусть на данной итерации алгоритма продавцом является *k*-ый агент.

$\forall i: i \neq k$ *i*-ый агент-покупатель решает следующую задачу максимизации прибыли агента-продавца по своему потенциальному выпуску:

$$c_k\left(\min\left(\frac{D_{k1}-\max(0,x_i^{(1)}a_{i1}-buffer_1)}{a_{k1}},\ldots,\frac{D_{kM}-\max(0,x_i^{(1)}a_{iM}-buffer_M)}{a_{kM}}\right)-x_k^{(0)}\right)+c_i x_i^{(1)}\rightarrow\max_{x_i^{(1)}}.$$

Таким образом *i*-ый агент-покупатель определяет свой потенциальный выпуск $x_i^{(1)}$, что и является предложением агенту-продавцу.

Заметим, что вычисление потенциального выпуска агентами-покупателями можно проводить параллельно. Более того, эта задача оптимизации одномерная, так как максимум ищется по одной переменной, а значит, имеет невысокую сложность вычисления.

Потенциальная прибыль π_i для *k*-ого агента-продавца от сделки с *i*-ым агентом-покупателем вычисляется следующим образом:

$$\pi_i = c_k\left(\min\left(\frac{D_{k1}-\max(0,x_i^{(1)}a_{i1}-buffer_1)}{a_{k1}},\ldots,\frac{D_{kM}-\max(0,x_i^{(1)}a_{iM}-buffer_M)}{a_{kM}}\right)-x_k^{(0)}\right)+c_i x_i^{(1)}$$

При этом потенциальная прибыль π_i вычисляется агентом-продавцом для каждого *i*-го покупателя.

Агент-продавец *k* совершает сделку с агентом-покупателем *i*, если потенциальная прибыль π_i от сделки с ним положительна и максимальна среди потенциальных прибылей от совершения сделки с другими агентами-покупателями.

Вектор ресурсов, которые собирается получить после сделки *i*-ый агент-покупатель будет обозначен как $r_i = x_i^{(1)}a_i$, где a_i — вектор ресурсов, необходимых *i*-ому агенту для производства продукта, т.е. столбец матрицы *A*.

Совершение сделки означает следующее перераспределение ресурсов:

$\forall j$: если $buffer_j \geq r_{ij}$, то

$buffer_j = buffer_j - r_{ij}$, $r_{ij} = 0$

иначе

$r_{ij} = r_{ij} - buffer_j$, $buffer_j = 0$.

Таким образом, агент-покупатель взял наибольшее допустимое число из буфера, а вектор r_i стал обозначать часть ресурсов, которые агент-покупатель заберет у агента-продавца.

Тогда

$D_k = D_k - r_i$,

$D_i = D_i + x_i^{(1)}a_i$,

где D_k - текущее распределение ресурсов агента-продавца, а D_i - текущее распределение ресурсов агента-покупателя.

Алгоритм завершается после того, как каждый из *N* агентов проведет аукцион. Так как каждый аукцион по сути проводится «жадно», а последовательность продавцов определена по максимальной возможной прибыли, то есть прибыльности агентов, то после проведения всех аукционов будет найдено решение задачи, близкое к оптимальному. В случае, если для решение задачи достаточно только парных контрактов, то есть совершения только парных сделок между агентами, найденное решение будет оптимальным.

IV. Добавление агента в систему и удаление агента из системы

При добавлении нового агента в системе происходит перестроение. Идея перестроения заключается в том, чтобы определить прибыльность нового агента и поместить его в очередь потенциальных продавцов. При этом все ресурсы, распределенные между агентами, оказавшимися в очереди потенциальных продавцов после нового агента, передаются новому агенту. После этого алгоритм запускает итеративный аукцион.

Благодаря такому способу перестроения системы сокращается время на подготовительный шаг распределения ресурсов и итеративное перераспределение ресурсов между агентами, находящимися в очереди потенциальных продавцов до нового агента.

Чтобы корректно удалить агента из системы, необходимо перераспределить ресурсы, которыми он обладал в текущем состоянии системы, и заново запустить итерационный аукцион. Перераспределение происходит путем передачи всех имеющихся ресурсов удаляемого агента агенту, который в очереди потенциальных продавцов находился перед ним, или, в случае, если удаляемый агент первый в очереди потенциальных продавцов, ресурсы передаются агенту, который был после удаляемого в очереди потенциальных продавцов. Такой способ перераспределения будет корректным, так как агенты, находящиеся в очереди потенциальных продавцов после

агента, получившего ресурсы от удаляемого агента, смогут провести торги за имеющиеся у этого агента ресурсы. Если же сбрасывать ресурсы удаляемого агента в буфер, то пришлось бы проводить полное перераспределение ресурсов, что более трудоемко.

Данный способ перераспределения ресурсов при удалении агента позволяет не проводить более вычислительно сложное начальное перераспределение ресурсов и не решать задачу заново.

V. Недостаточность парных контрактов

Как уже было замечено, алгоритм не всегда находит точное решение. Идея алгоритма основана на заключении *парных контрактов* — то есть, совершении сделок только с двумя агентами одновременно, что дает возможность параллельно решать набор одномерных задач вместо одной многомерной. Но в некоторых задачах для поиска точного парных контрактов может быть недостаточно.

Недостаточность парных контрактов появляется тогда, когда суммарная потенциальная прибыль нескольких агентов превышает потенциальную прибыль агента-продавца, чья потенциальная прибыль, однако, выше потенциальной прибыли каждого из этих агентов по отдельности, и который, таким образом, стоит в очереди потенциальных продавцов впереди них. Проблема алгоритма заключается в том, что при объявлении торгов этим агентом-продавцом не состоится сделка ни с одним из этих агентов. Чтобы разрешить эту проблему, сделка должна была происходить между всеми этими агентами одновременно, что означает необходимость наличия *N*-контрактов.

VI. Заключение

В данной статье был представлен метод практического решения задачи линейного программирования с помощью использования мультиагентной системы и аукционного подхода на примере задачи распределения ресурсов. Были рассмотрены некоторые динамические модификации системы, а именно добавление агентов в систему и удаление агентов из системы, и поведение алгоритма в таких ситуациях. Также была упомянута проблема недостаточности парных контрактов, возникающая при поиске точного решения задачи.

Список литературы

[1] Панюков А.В., Горбик В.В. Параллельные реализации симплекс-метода для безошибочного решения задач линейного программирования // Вестн. ЮУрГУ. Сер. Математическое моделирование и программирование. 2011. № 9. С. 107-118

[2] RezaPeyghamiac M., Fathi Hafshejaniac S., Shirvanib L. Complexity of interior-point methods for linear optimization based on a new trigonometric kernel function // Journal of Computational and Applied Mathematics. 2014. Vol. 255, P. 74-85.

[3] Durazzi C., Ruggiero V., Zanghirati G. Parallel Interior-Point Method for Linear and Quadratic Programs with Special Structure // Journal of Optimization Theory and Applications. 2001. Vol. 110, P. 289-313.

[4] Shoham Y., Leyton-Brown K. Multiagent Systems: Algorithmic, Game-Theoretic, and Logical Foundations // Cambridge University Press New York. 2008.

[5] Rzevski G., Skobelev P. Managing Complexity // WIT Press. 2014.

[6] Easley D., Kleinberg J. Networks, Crowds, and Markets: Reasoning about a Highly Connected World // Cambridge University Press New York. 2010.

Метод сопровождения движущихся объектов в условиях неопределенности их детектирования

Гаранин О.И.
Филиал НИУ «МЭИ»
в г. Смоленске
Смоленск, Россия
hedgehog91@mail.ru

Борисов В.В.
Филиал НИУ «МЭИ»
в г. Смоленске
Смоленск, Россия
vbor67@mail.ru

***Abstract* — In this paper, we consider the existing methods of Multiple Object Tracking (MOT), point out their advantages and disadvantages. We give a problem formulation of the MOT in the conditions of uncertainty, analyze effectiveness of the different prediction methods of the objects positions missed by the detector such as: based on the Kalman filter, moving average, autoregression, least squares method. We propose a structure of convolutional neural network (CNN), which allows getting "deep features" of found and predicted visual objects on a single frame in one pass of the CNN. This structure is based on the single shot multibox detector with the addition of the ROI-pooling layer to get the "deep features" of the objects. We develop the MOT method in the conditions of uncertainty of the detection which, in comparison with the known, allows achieving higher accuracy of tracking objects and processing in real time at a speed of 24 frames per second. This method can be used for linear motion of the objects and visual scenes. The accuracy evaluation was carried out using the training and test dataset 2D MOT 15.**

Ключевые слова — сопровождение объектов, сопровождение на основе детектирования, сверточная нейронная сеть

I. Введение

Задача сопровождения движущихся объектов состоит в том, чтобы построить треки этих объектов на входной последовательности кадров (Multiple Object Tracking).

Для построения метода сопровождения движущихся объектов сначала необходимо решить задачу детектирования объектов, а затем выполнить сопровождение найденных объектов (tracking-by-detection) на основе различных моделей (движения, визуального представления, поведения, исключения, перекрытия) или их комбинации. В литературе задача сопровождения объектов чаще всего решается отдельно от детектирования и при совместном использовании детектора и метода сопровождения требуется сначала детектировать объект, затем выделить признаки отдельно для каждого объекта (в случае использования модели визуального представления), из-за чего возрастает сложность обработки. Например, в [1, 2] каждая детекция объекта отдельно подается на вход сверточной нейронной сети (СНС) для получения ее «глубоких» признаков. Такой подход позволяет повысить точность, но требует значительных вычислительных ресурсов.

Кроме того, существуют достаточно точные методы сопровождения объектов, например MHT, ELP [3, 4], но они не позволяют выполнить обработку в режиме реального времени, поскольку решают задачу глобальной оптимизации и требуют получение сразу всей последовательности кадров (офлайн-методы). Другие методы, выполняют обработку в режиме реального времени, но не являются достаточно точными, например SORT [5] (онлайн-методы).

При этом для исследования разработанных методов сопровождения чаще всего существующие базы для тестирования предлагают [6] работать с большим количеством ложных детекций и строить алгоритмы, позволяющие выделять данные из шума. Однако при использовании СНС иногда приходится иметь дело не с большим количеством ложных детекций, а с пропусками, то есть работать в условиях неопределенности детектирования объектов. Восстановление таких пропусков может быть выполнено с использованием модели движения и различных способов предсказания положения объектов пропущенных детектором: на основе фильтра Калмана, скользящего среднего, авторегрессии, метода наименьших квадратов (МНК) и других. В [7] предлагается метод сопровождения реальных объектов на борту летательного аппарата в сложной информационной обстановке (неполнота измерения координат, маневрирующие и групповые объекты и др.).

Таким образом, наиболее перспективными методами для решения задач распознавания и сопровождения объектов на сегодняшний день, являются методы, основанные на «глубоком» обучении и СНС, поскольку именно они позволяют получить высокую точность распознавания и сопровождения, по сравнению с другими методами.

Поэтому при решении комплексной задачи детектирования и сопровождения объектов целесообразно предложить метод, позволяющий выполнить детектирование и построение модели визуального представления объекта за один проход СНС, в условиях неопределенности их детектирования. Кроме того, необходимо рассмотреть различные способы предсказания положений объектов при неопределенности детектирования с помощью модели движения. Предложенный метод позволит повысить точность построения треков и выполнить обработку в режиме реального времени.

II. Модель визуального представления объекта и алгоритм выделения «глубоких признаков» его детекции

A. Описание модели

В данной работе под детекцией объекта на изображении понимается область изображения, на которой объект выделен с помощью обрамляющего прямоугольника (bounding box).

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 18-07-00928_а).

©2019 ИПУСС РАН, СамГТУ, IEEE

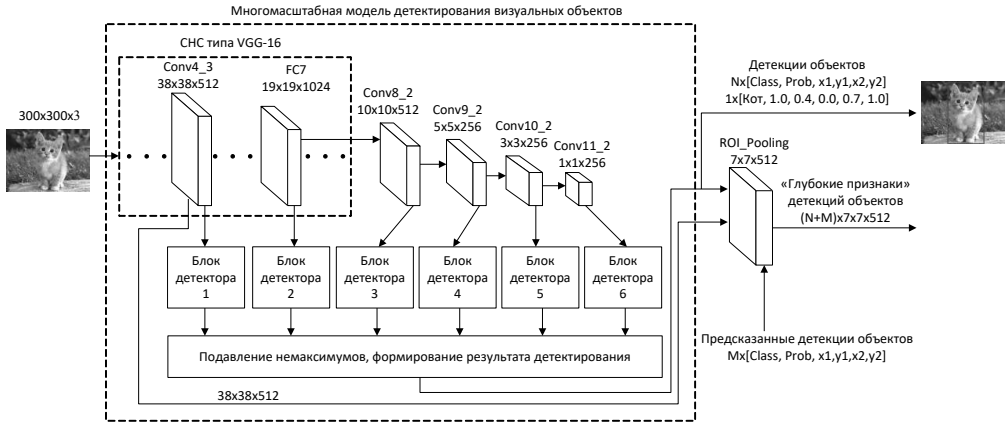


Рис. 1. Структура СНС для решения задач детектирования и сопровождения объектов

Для решения задач детектирования и сопровождения объектов в работе предлагается использовать СНС, структура которой представлена на рисунке 1. Применяя её, появляется возможность детектирования изображений и выделения «глубоких признаков» детекции объекта за один проход данной сети.

В отличие от известных решений (например, Single Shot MultiBox Detector – SSD), структура разработанной СНС, включает в себя слой выделения «глубоких» признаков найденных и предсказанных детекций объектов – ROI_Pooling, а также использует модификацию модели визуального представления объектов.

Предлагаемая модель визуального представления – это описание объекта с помощью набора «глубоких признаков», формируемых на выходе слоя ROI_Pooling.

В качестве признаков изображения целиком в модели используются признаки слоя conv4_3, которые поступают на вход слоя ROI-Pooling. Кроме того, на вход данного слоя поступают детекции объектов, найденные с использованием существующего решения – многомасштабной модели детектирования (Single Shot MultiBox Detector – SSD), а также предсказанные детекции объектов, полученные с использованием способов предсказания положения объектов. На выходе данного слоя формируются «глубокие признаки» каждой из детекций.

B. Алгоритм выделения «глубоких признаков» детекции объекта

Входные данные: карта признаков *m*-слоя СНС $n \times h_m \times w_m$, координаты объекта на изображении $o = (x_1, y_1, x_2, y_2)$, размеры изображения $h \times w$, размерность слоя ROI-pooling $n \times h_r \times w_r$.

Выходные данные: набор признаков *P* объекта *o*.

Шаг 1. Вычисление коэффициентов масштабирования:

$$K_h = \frac{h_m}{h}, K_w = \frac{w_m}{w}.$$

Шаг 2. Вычисление координат проекций объекта на карту признаков:

$$x_i^m = x_i \cdot K_h,\ y_i^m = y_i \cdot K_w, i = 1,2.$$

Шаг 3. Выделение признаков объекта P_{proj} размерностью $n \times (y_2^m - y_1^m) \times (x_2^m - x_1^m)$ с координатами $(x_1^m, y_1^m, x_2^m, y_2^m)$ на карте признаков *m*-слоя СНС.

Шаг 4. Масштабирование проекций признаков P_{proj} объекта *o* на карту признаков с координатами $(x_1^m, y_1^m, x_2^m, y_2^m)$ и размерностью $n \times (y_2^m - y_1^m) \times (x_2^m - x_1^m)$ к размерности $n \times h_r \times w_r$ с использованием max-pooling $Ceil\left(\frac{y_2^m - y_1^m}{h_r}\right) \times Ceil\left(\frac{x_2^m - x_1^m}{w_r}\right)$, где *Ceil* – оператор округления до большего числа. В результате выполнения данной операции формируется набор признаков *P*.

Аналогичным образом вычисляются наборы признаков для всех детекций, которые поступают на вход ROI-Poling.

Расстояние между двумя наборами признаками P_1 и P_2 двух детекций вычисляется, используя косинусное расстояние:

$$d = \frac{P_1 \cdot P_2}{\|P_1\| \cdot \|P_2\|},\ d = [0,1].$$

III. Модель движения объекта и восстановление объектов, пропущенных детектором

Модели движения исследуют динамическое поведение объекта и на основании предыстории позволяют предсказать в каком положении пространства будет находиться данный объект в следующие моменты времени.

В работе используется линейная модель движения объекта с постоянной скоростью. Для такой модели

достаточно знать положение объекта в пространстве только в двух предыдущих точках (моментах времени), однако для нивелирования погрешностей показаний детектора следует использовать предысторию движения на основе большего числа точек, например 5–10.

Положение объекта в пространстве в заданный момент времени (в качестве момента времени используется номер кадра) задается с помощью следующего набора: (w, h, x_0, y_0), где w – ширина, h – высота, (x_0, y_0) – центр обрамляющего прямоугольника, покрывающего объект. Обозначения положения объекта в пространстве показаны на рисунке 2.

Восстановление пропусков объектов детектором выполняется с использованием построенной модели движения следующим образом. Для каждого объекта заданного трека выполняется предсказание координат объекта (w, h, x_0, y_0) с использованием предыстории на предыдущих кадрах с использованием одного из способов: на основе аппроксимации по МНК, скользящего среднего, авторегрессии, фильтра Калмана. Процедура проверки допустимости такого назначения описана далее.

Рис. 2. Обозначения положения объекта в пространстве

IV. Метод сопровождения движущихся объектов в условиях неопределенности их детектирования

A. Постановка задачи

Пусть $K = \{k_n \mid n = 1, \ldots, N\}$ – множество кадров, а $O_{k_n} = \{o_{m_n}^{(k_n)} \mid m_n = 1, \ldots, M_n\}$ – множество объектов на кадре k_n.

Каждый из объектов $o_{m_n}^{(k_n)}$ представлен множеством признаков $P_{m_n} = \left\{p_l^{(m_n)} \mid l = 1, \ldots, L\right\}$ и координатами $\left\{\left(x_1^{(m_n)}, y_1^{(m_n)}\right), \left(x_2^{(m_n)}, y_2^{(m_n)}\right)\right\}$.

$TR = \{tr_z \mid z = 1, \ldots, Z\}$ – множество треков, каждый из которых представлен последовательным отображением отдельного объекта $o_z^{(k_i)}$ на последовательности кадров $k_i : tr_z = \left\{o_z^{(k_i)}\right\}$, $i = i_{in}, i_{in+1}, \ldots, i_{out}$, $z = 1, \ldots, Z$, $i_{in} \le i_{out}$, $o_z^{(k_i)} \in O_{k_i}$. Причем, один и тот же объект не включается в разные треки.

Пусть θ – степень сходства между множествами;

S – метод сопровождения движущихся объектов.

Требуется найти $TR^* = \{tr_z^*\}$ – множество треков, каждый из которых представлен последовательным отображением отдельного объекта $o_z^{*(k_i)}$ на последовательности кадров k_i, сопровождаемых с использованием метода S, $z = 1, \ldots, Z$, такое что

$$\theta(TR, TR^*) \xrightarrow{S} \max, \text{ при наборе ограничений T.}$$

B. Описание метода

Разработанный метод отличается от существующих детектированием объектов и вычислением их «глубоких» признаков за один проход детектора на основе СНС, работой в условиях неопределенности или зашумленности данных детектирования.

Данный метод позволяет на каждом кадре выделить объекты с использованием детектора и сопоставить их с имеющимися треками (последовательности координат объектов на предыдущих кадрах) или удалить трек, если на последовательности кадров объект, связанный с треком отсутствует.

Входные данные: $K = \{k_n\}$, $\rho_{пор}$ – максимально допустимый порог различия между треком и объектом, $Count_{\max}$ – максимально допустимое количество последовательных кадров, для которых степень различия ρ между объектом и треком больше $\rho_{пор}$, n_{av} – количество кадров, на основе которого выполняется усреднение признаков P_{m_n} объекта $o_{m_n}^{(k_n)}$ с координатами $\left\{\left(x_1^{(m_n)}, y_1^{(m_n)}\right), \left(x_2^{(m_n)}, y_2^{(m_n)}\right)\right\}$.

Выходные данные: $TR = \{tr_z\}$ – множество треков, каждый из которых представлен координатами $\left\{\left(x_1^{(m_n)}, y_1^{(m_n)}\right), \left(x_2^{(m_n)}, y_2^{(m_n)}\right)\right\}$ отдельного объекта $o_z^{(k_n)}$ на последовательности кадров k_n, $o_z^{(k_n)} \in O_{k_n}$.

Инициализация множества треков TR, количество которых на данном кадре изначально равно нулю.

Этап 1. Определение условий работы детектора: неопределенность или зашумленность данных детектирования. Если условия работы детектора неизвестны, то может быть выбрано любое из условий, а затем оценена правильность выбора на основе показателей точности анализа динамических зрительных сцен. Этап предназначен для определения стратегии анализа сцены: во-первых, восстановление пропущенных детекций объектов в случае неопределенности данных детектирования; во-вторых, фильтрация ложных детекций объектов в случае зашумленности данных.

Для каждого кадра k_n выполняется следующая последовательность этапов.

Этап 2. Поиск координат $\left\{\left(x_1'^{(m_n)}, y_1'^{(m_n)}\right), \left(x_2'^{(m_n)}, y_2'^{(m_n)}\right)\right\}$ для каждого объекта

$o'^{(k_n)}_{m_n}$ и его признаков P'_{m_n} с помощью модели визуального представления объекта. Также при неопределенности детектирования с помощью предложенной модели визуального представления объекта ищутся признаки P''_{m_n} для объекта $o''^{(k_n)}_{m_n}$, назначенного на трек $tr_{z_{n-1}}$, полученные с использованием разработанной модели движения объекта. В случае зашумленности данных детектирования данный этап также может включать в себя процедуру фильтрации.

Таким образом, этап предназначен для поиска объектов на текущем кадре и их признаков, которые затем могут быть назначены на соответствующие треки на основе сравнения признаков этих объектов. Кроме того, также ищутся признаки предсказанных объектов для каждого трека на тот случай, если не удастся найти объект, который может быть назначен на трек.

Этап 3. Сопоставление найденных на этапе 2 объектов $\left\{o'^{(k_n)}_{m_n}\right\}$ с имеющимися треками $\left\{tr_{z_{n-1}}\right\}$, если $TR \neq \varnothing$.

Шаг 1. Добавление признаков $P'_{m_{n-1}}$ объекта в кольцевой список и вытеснение признаков $P'_{m_{n-1-n_{av}}}$, если объект на трек на предыдущем кадре был назначен с использованием детектора, т.е. $o^{*(k_{n-1})}_{m_{n-1}} = o'^{(k_{n-1})}_{m_{n-1}}$.

Шаг 2. Вычисление значений признаков P_z^C объекта-центроида трека tr_z исходя из значений признаков объекта в кольцевом списке:

$$P_z^C = \frac{\sum_{j=1}^{n_{av}} P'_{m_{n-j}}}{n_{av}}.$$

Если число признаков в списке меньше n_{av}, то значения признаков объекта-центроида вычисляются на основе имеющегося количества признаков.

Шаг 3. Построение матрицы стоимости назначения объекта на трек $m_n \times z_{n-1}$. Каждый элемент матрицы – расстояние между признаками P'_{m_n} (m_n – общее число объектов) объекта и признаками P_z^C объекта-центроида трека $tr_{z_{n-1}}$ (общее число треков – z_{n-1}) на основе модели визуального представления объекта.

Шаг 4. Решение задачи о назначениях m_n объектов на z_{n-1} треков с использованием венгерского (Куна–Манкреса) алгоритма. В результате выполнения этапа не все найденные объекты будут назначены на имеющиеся треки.

Этап 4. Инициализация новых треков для объектов, которые не были назначены на треки на этапе 3:

$$tr_{z_n} = tr_{z_{n-1}} \cup \left\{o'^{k_n}_{m_n} \notin tr_{z_n}\right\}.$$

Этап 5. Вычисление нового положения объекта для каждого из треков tr_{z_n} с использованием предложенной модели движения объекта. Этап выполняется только при неопределенности (большом числе пропусков объектов) детектирования и предназначен для вычисления положения объекта, если его не удалось найти на кадре с помощью детектора.

Этап 6. Восстановление объекта на кадре при пропуске его детектором для трека tr_{z_n} на основе способа восстановления пропусков объектов детектором, с использованием модели движения объекта (при наличии предыстории детектирования данного объекта на предыдущих кадрах). Этап выполняется только при неопределенности детектирования и отсутствии назначения детекции объекта на данный трек. Это позволяет повысить точность анализа динамических зрительных сцен при неопределенности детектирования объектов.

Этап 7. Проверка допустимости назначения детекции объекта на трек. Назначение считается допустимым, если степень различия между объектом и объектом-центроидом трека не превышает допустимый пороговый уровень $\rho\left(o(tr_{z_n}), o_z^{(k_n)}\right) \leq \rho_{пор}$. Этап позволяет исключить те назначения детекций объектов на треки, которые не являются допустимыми и представляют собой ложные срабатывания детектора или неправильно предсказанные положения объектов.

Этап 8. Удаление треков из $\left\{tr_{z_n}\right\}$, если число кадров последовательности больше заданного порогового числа кадров $k_{n-m},\ldots,k_n, m \geq Count_{\max}$, на которых $\rho\left(o(tr_{z_n}), o_z^{(k_n)}\right) \geq \rho_{пор}$. Этап позволяет удалить те треки, на которых объект отсутствовал несколько кадров подряд.

Этап 9. Выбор треков из $\left\{tr_{z_n}\right\}: \rho\left(tr_{z_n}, o_z^{(k_n)}\right) \leq \rho_{пор}$. Этап позволяет выбрать только те треки, на которых присутствует детектируемый объект, назначенный на соответствующий трек. Треки, на которых объект перекрыт другими объектами или отсутствует, не формируются.

Таким образом, в результате выполнения этапов разработанного метода на каждом кадре k_n формируется множество треков $\left\{tr_{z_n}\right\}$, на каждом из которых присутствует детектируемый объект, назначенный на соответствующий трек.

V. Экспериментальные исследования предложенного метода

Оценка эффективности применения разработанного метода проводится с использованием обучающей и тестовой базы 2D MOT15, содержащей более 10 тысяч кадров, 1200 треков, поэтому данная методика соответствует рекомендациям, приведенным в [8].

Сравнение эффективности применения разработанного метода с другими существующими методами (SORT, ELP), проводилось в условиях неопределенности детектирования. Для моделирования таких условий использовалась СНС, описанная ранее. Обучение такой сети производилось с использованием обучающих баз ILSVRC CLS-LOC, VOC2007, VOC2012 [8]. Затем изображения базы 2D MOT15 были поданы на вход СНС и в выбраны только те детекции объектов, имеющих уверенность детектирования не менее 60%, что позволило исключить ложные срабатывания детектора. При этом часть детекций объектов были пропущены детектором.

Затем полученные детекции были объединены в треки с помощью ранее описанного метода. Степень различия ρ в данном методе между объектом и треком вычислялась на основе косинусного расстояния с максимальным порогом различия $\rho_{пор} = 0.5$, выбранным исходя из следующих соображений: объект может быть перекрыт другим объектом или измениться между соседними кадрами не более чем наполовину. Остальные параметры выбраны следующими: $n_{av} = 10$, $Count_{\max} = 3$.

Предсказание координат пропущенных объектов выполнялось с использованием одного из способов: на основе аппроксимации по МНК (10 точек), скользящего среднего, авторегрессии, фильтра Калмана. При вычислении скользящего среднего прогнозирование выполняется следующим образом: вычисляется среднее значение координаты по двум предыдущим кадрам, а значение на следующем кадре считается равным значению этого среднего. При вычислении авторегрессии прогноз выполняется по двум предыдущим кадрам с построением линейной зависимости: значение на следующем кадре вычисляется на основе линейной функции. Параметры фильтра Калмана, взяты из [5].

В таблице 1 представлены полученные результаты.

ТАБЛИЦА I. РЕЗУЛЬТАТЫ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДА

Название метода	**MOTA, % неопределенность данных детектирования**	**Онлайн**
SORT	20.2	Да
ELP	28.1	Нет
Предложенный метод		
МНК	28.3	Да
Фильтр Калмана	28.5	Да
Авторегрессия	28.0	Да
Скользящее среднее	27.7	Да

Экспериментально проведена оценка затрачиваемого времени на обработку одного кадра предлагаемой СНС. Время обработки кадра с использованием существующей СНС составляет $(Nt_1 + t_2)$, где t_1 – среднее время выделения признаков детекции объекта на одном кадре; N – количество детекций объектов на изображении; t_2 – среднее время детектирования объектов. Так, например, для GPU TITAN BLACK $t_1 = 18$ мс; $t_2 = 41$ мс. Стоит отметить, что существующая СНС выполняет детектирование объекта с использованием SSD-модели, а выделение признаков каждого из объектов с помощью прямого прохода по сети типа VGG-16. А с использованием предлагаемой СНС и метода среднее время обработки кадра составляет $t_3 = 42$ мс, и оно не зависит от числа детекций объектов на изображении.

VI. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной статье выполняется формализованная постановка задачи сопровождения движущихся объектов в условиях неопределенности, анализируется эффективность различных способов предсказания положений объектов пропущенных детектором: на основе фильтра Калмана, скользящего среднего, авторегрессии, метода наименьших квадратов. Предлагается структура сверточной нейронной сети (СНС), позволяющая выделять “глубокие признаки” как найденных, так и предсказанных объектов на отдельном кадре за один проход СНС.

Экспериментально проведена оценка затрачиваемого времени на обработку одного кадра предлагаемой СНС на GPU TITAN BLACK. Таким образом, с использованием предложенной структуры СНС и метода можно выполнить обработку в режиме реального времени со скоростью 24 кадра в секунду.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

[1] A. Sadeghian, A. Alahi, and S. Savarese. Tracking The Untrackable: Learning To Track Multiple Cues with Long-Term Dependencies. arXiv preprint arXiv: 1701.01909, 2017.

[2] N. Wojke, A. Bewley, and D. Paulus. Simple online and realtime tracking with a deep association metric. arXiv preprint arXiv: 1703.07402, 2017.

[3] C. Kim and F. Li. Multiple Hypothesis Tracking Revisited, In Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision, 2015.

[4] N. McLaughlin, J. M. D. Rincon, and P. Miller. Enhancing Linear Programming with Motion Modeling for Multi-target Tracking, In Proceedings of the IEEE Winter Conference on Applications of Computer Vision, pp. 271–350, 2015.

[5] A. Bewley, Z. Ge, L.Ott, F.Ramos, and B. Upcroft. Simple online and realtime tracking. arXiv preprint arXiv: 1602.00763, 2016.

[6] L. Leal-Taixe, A. Milan, I. Reid, S. Roth, and K. Schindler. MOTChallenge 2015: Towards a Benchmark for Multi-Target Tracking. arXiv preprint arXiv: 1504.01942, 2015.

[7] Л.Е. Широков Вычисление трасс реальных объектов, по измерениям сигналов, принимаемых собственными и внешними источниками информации // Известия РАН. Теория и системы управления. – 2016. – №4.

[8] W. Liu, D. Anguelov, D. Erhan, C. Szegedy, and S. E. Reed. SSD: single shot multibox detector, CoRR, 2015.

[9] K. Simonyan and A. Zisserman. Very deep convolutional networks for large-scale image recognition, In Proceedings of the Neural Information Processing Systems conference, 2015.

Адаптивная система управления электроприводом на базе Sinamics DCM с использованием нейросетевого настройщика

Глущенко А.И.
Кафедра автоматизированных и информационных систем управления Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) НИТУ «МИСиС»)
Старый Оскол, Россия
a.glushchenko@sf-misis.ru

Петров В.А.
Кафедра автоматизированных и информационных систем управления Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) НИТУ «МИСиС»
Старый Оскол, Россия
79040882508@ya.ru

***Abstract* — The scope of this research is to develop an adaptive control system of a DC electric drive implemented on the basis of industrial DC converter Siemens Sinamics DCM. A neural tuner adjusting speed PI-controller parameters is chosen as an adaptation method. Contrary to classical methods of adaptive control, this tuner does not require an accurate nonlinear model of the drive. Instead of this, it evaluates transients quality in a speed loop and, if it does not follow the requirements, adjusts the corresponding controller parameters. This assessment is made by a developed rule base, which calculates the value of a learning rate for the neural network online training. The network output is the controller parameters. The experiments with a real DC motor are conducted under the following conditions. The DC motor inertia moment is changed by 50% from its nominal value. As a result, the neural tuner adjusts the parameters of the speed PI-controller and achieves the required quality of transients. At the same time, the overshoot obtained with the help of the classic PI-controller is 11% higher than required.**

Ключевые слова — электропривод постоянного тока, адаптивное управление, нейросетевой настройщик, промышленный контроллер

I. Введение

Электроприводы постоянного тока до сих пор широко используются в промышленности, несмотря на известные недостатки [1, 2]. К их числу можно отнести наличие щеточно-коллекторного узла, низкий КПД и необходимость частого обслуживания. Однако простота управления и возможность создания высокомощных приводов позволяет по-прежнему применять их, например, в металлургическом и горнодобывающем производстве.

Зачастую, это привода, разработанные в 70е-80е годы. Проходящая на многих заводах в настоящее время модернизация, как правило, затрагивает только систему управления, оставляя силовую часть таких приводов без изменений [1]. В свою очередь, наличие современных цифровых регуляторов дает возможность построения адаптивных систем управления для электроприводов постоянного тока. Что подтверждается исследованиями в [3] и анализом методов, приведенном ниже.

Можно выделить два основных класса методов построения подобных систем: классические и интеллектуальные. Методы, основанные на классическом подходе [4-6], как правило, подразумевают построение модели объекта управления. Для этого используются или технические параметры объекта управления, или данные, полученные с использованием тестовых сигналов. При этом значения параметров реального объекта со временем отклоняются от номинальных, а упомянутые сигналы могут вызвать нарушение регламента технологического процесса.

Интеллектуальные методы в какой-то мере используют знания инженера АСУТП об объекте управления. К таким методам можно отнести искусственные нейронные сети [7], нечеткую логику [8], экспертные системы, генетические алгоритмы [9] и др. Несмотря на попытки применения нейронных сетей в чистом виде [4, 5] в настоящее время существуют проблемы получения автономной обучающей выборки, выбора структуры нейронной сети и т.д. Совмещение нескольких указанных выше интеллектуальных методов позволит устранить данные недостатки.

В этой связи, в работе рассматривается применение нейросетевого настройщика [10], сочетающего возможности нейронных сетей и баз знаний, в системе управления промышленного электропривода. В отличие от других подходов, он не требует наличия модели объекта управления или явной эталонной модели. Ранее нейросетевой настройщик был реализован в среде Matlab и апробирован на модели электропривода. Задачей данной работы является его адаптация к промышленной системе управления электроприводами Sinamics DCM для возможности его последующего промышленного применения.

II. Система управления SINAMICS DCM

Электропривод постоянного тока Sinamics DCM фирмы Siemens является одним из наиболее распространенных современных приводов. Подобные решения используются в машиностроительной, горнодобывающей, металлургической промышленности.

Рассматриваемый электропривод позволяет регулировать скорость вращения с помощью системы управления, построенной по широко известному принципу подчиненного регулирования [10]. Для поддержания максимальной жесткости характеристик электродвигателя на производстве, как правило, используют регулирование только в первой зоне (при скорости равной или ниже номинальной). Исходя из

©2019 ИПУСС РАН, СамГТУ, IEEE

этого, в дальнейшем контур регулирования магнитного потока рассматриваться не будет. По принципу подчинённого регулирования строится контур регулирования тока и внешний по отношению к нему контур регулирования скорости. На рис. 1. изображена мнемосхема такой системы управления, реализованной по умолчанию в Sinamics DCM.

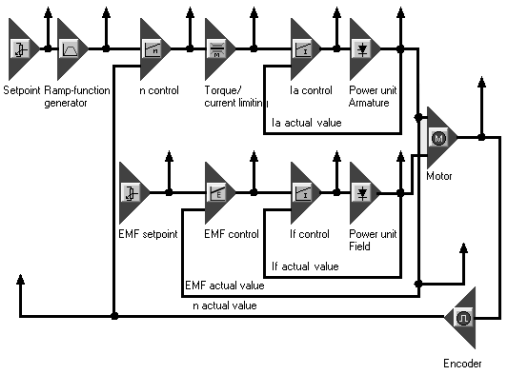


Рис. 1. Структурая схема системы управления

Электропривод Sinamics DCM настраивает параметры регуляторов в ходе процесса ввода в эксплуатацию. Параметры регулятора контура тока настраиваются с помощью измерения параметров якорной цепи (сопротивления и индуктивности), а параметры регулятора скорости – при снятии кривой разгона. Для двух этих случаев необходим полный останов системы электропривода. Поэтому операция настройки на производстве производится один раз в ходе пуско-наладочных работ и не повторяется в дальнейшем. Однако, параметры объекта управления могут изменяться с течением времени, что может привести к ухудшению качества управления скоростью вращения электродвигателя, а, значит, и всего технологического процесса [2]. Как уже было сказано выше, для операции самонастройки системы управления электропривода необходим полный останов, реализовать который в условиях непрерывного производства довольно сложно.

В тоже время, система управления позволяет линейно изменять параметры K_p и T_n регулятора скорости в зависимости от величины, выбранной с помощью технологии Bi-Co (Binector - Connector) (рис.2).

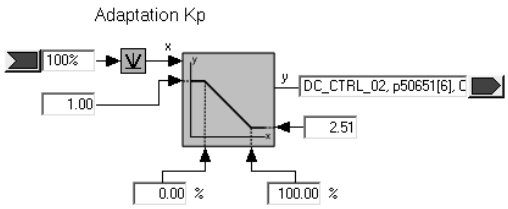


Рис. 2. Адаптация регулятора скорости на примере П – канала управления.

Это позволяет изменять настройку регулятора скорости в режиме реального времени с помощью программируемого контроллера, который связан с DCM через телеграммный обмен, и дает возможность построения адаптивных систем управления на базе настройщика линейного регулятора. Именно контроллер будет онлайн присылать значение величины *x* на Рис.2.

III. Нейросетевой настройщик параметров линейных регуляторов

Настройщики не требуют изменения структуры системы регулирования. Адаптация достигается с помощью изменения параметров используемых регуляторов. В данном случае речь идет о ПИ-регуляторе скорости.

Общая структура настройщика изображена на рис 3.

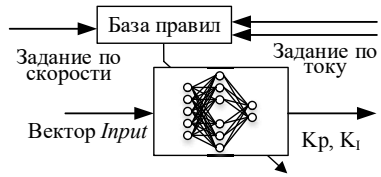


Рис. 3. Структурая схема системы управления ($K_I = K_P / T_n$)

времени, когда качество переходного процесса отклоняется от требуемого (оценивается перерегулирование, статическая ошибка, колебательность). Также она вычисляет скорости оперативного обучения для каждого нейрона выходного слоя сети, которая, в свою очередь, вычисляет на своих выходах значения параметров ПИ-регулятора скорости. Рассмотрим составляющие нейросетевого настройщика подробнее.

A. Нейронная сеть

В нейросетевом настройщике используется искусственная нейронная сеть, состоящая из трех слоев: входного, скрытого и выходного. На входном слое находится пять нейронов, принимающих вектор *Input* (см. рис.3): задание в текущий и предыдущий момент времени, текущая скорость и скорость на предыдущем шаге работы системы управления и значение выхода регулятора в предыдущий момент времени. На выходном слое находится два нейрона, каждый из которых отвечает за вычисление соответствующего параметра регулятора K_P, K_I с использованием линейной функции активации. В скрытом слое используется сигмоидальная функция активации, а число нейронов вычисляется по формулам, приведенным в [10] и зависит от способа фильтрации сигнала по скорости. Математически обоснованный метод выбора такой структуры также приведен в [10].

Нейронная сеть обучается только оперативно методом обратного распространения ошибки согласно вычисленной скорости при каждом вызове настройщика. Ее начальное состояние задается согласно метода экстремального обучения [10], а ее начальные выходные значения равны тем коэффициентам регулятора, которые использовались в приводе до установки настройщика.

B. База правил

База правил состоит из набора продукционных правил, определяющих в какие моменты и с какой скоростью необходимо производить обучение нейронной сети.

Обучение сети производится только в случае, когда выход настраиваемого регулятора не находится в насыщении. Это необходимо для того, чтобы коэффициенты регулятора не достигли излишне высоких значений.

Для работы базы правил необходимо наличие параметров, измеренных для конкретного переходного процесса: текущий выход объекта управления (ОУ) ($y(t)$), выход ОУ при предыдущем вызове настройщика ($y(t - \Delta t)$), установившееся значение задания для текущего переходного процесса (r_{curr}) и предыдущего переходного процесса (r_{old}), перерегулирование (X_{curr}) для текущего переходного процесса. Помимо этого, оценивается расстояние между кривыми выхода ОУ и задания в тот момент, когда сигнал задания, нарастая или убывая линейно, достиг своего установившего значения (это позволяет учитывать интенсивность изменения задания):

$$\xi = \frac{|y(t) - r_{old}|}{|r_{curr} - r_{old}|} \quad (1)$$

Если идет переходный процесс и рассогласование по выходу ОУ находится в пределах от 10% до 80% разницы между текущим установившемся значением задания и предыдущим, И:

1) $|y(t) - y(t - \Delta t)|$ менее амплитуды шума N_n в установившемся режиме, И задание не вошло в установившийся режим, И кривая $y(t)$ не пересекала кривую $r(t)$, И настройка K_I не производилась в течение текущего переходного процесса, ТО пик такого процесса достигнут раньше необходимого и следует увеличить K_P. Скорость $\eta_1^{(2)}$ должна быть вычислена по следующей формуле:

$$\eta_1^{(2)} = K_P(t) \cdot \xi \cdot \frac{|r_{curr} - y(t)|}{|r_{curr} - r_{old}|} \quad (2)$$

2) если кривая $y(t)$ пересекает кривую $r(t)$, которая к этому моменту еще не достигла установившегося режима, И настройка K_I не производилась в течение текущего переходного процесса, ТО следует уменьшить K_P. Скорость $\eta_1^{(2)}$ должна быть вычислена по формуле (2).

Если предыдущий блок условий не был вызван, то после уменьшения рассогласования ниже 20% от разницы между r_{curr} и r_{old} сработает другой блок условий. Алгоритм его работы следующий:

3) если в момент очередной смены задания разница $|r(t) - y(t)|$ составляет менее S% от разницы между текущим установившимся значением задания и предыдущим, и в течение предшествующего переходного процесса система управления была устойчива согласно критериев, приведенных в [11], то текущее установившееся значение задания и сигнал управления сохраняются в специальный массив. Такие воздействия принимаются как эталонные для соответствующих заданий. В течение любого переходного процесса при первом пересечении кривой выхода ОУ и задания (при условии что это первое пересечение произошло уже после того, как кривая задания достигла установившего значения) фиксируется значение сигнала управления в i-канале регулятора. Если это значение меньше эталонного, то принимается решение об увеличении K_I, а если больше – то об уменьшении.

4) если настройка K_I на не производилась в течение текущего переходного процесса, И принято решение об увеличении K_I, И перерегулирование при этом оказалось более X% от разницы между r_{curr} и r_{old}, ТО принимается решение об уменьшении K_P. Для нейрона, формирующего K_P, скорость обучения $\eta_1^{(2)}$ должна быть вычислена по следующей формуле:

$$\eta_1^{(2)} = K_P(t) \cdot \xi \cdot \left(\frac{|r(t) - y(t)|}{|r_{curr} - r_{old}|} - X/100\right) \quad (3)$$

5) обучение нейрона, формирующего K_I, для увеличения его выходного сигнала начинается при соблюдении следующих условий: переходный процесс уже достиг своего первого максимума после пересечения задания, а в момент этого пересечения задание уже достигло установившегося значения, $|y(t) - y(t - \Delta t)|$ менее N_n, а текущее рассогласование больше X% от разницы между текущим установившимся значением задания и предыдущим, настройка K_P не производилась в течение текущего переходного процесса. Обучение этого нейрона в сторону уменьшения выходного сигнала начинается при соблюдении следующих условий: $|y(t) - y(t - \Delta t)|$ более N_n, а текущее рассогласование больше X% от разницы между текущим заданием и предыдущим, настройка K_P на текущем переходном процессе не производилась. Скорость $\eta_2^{(2)}$ должна быть на вычислена по следующей формуле:

$$\eta_2^{(2)} = K_I(t) \cdot \xi \cdot \left(\frac{|r(t) - y(t)|}{|r_{curr} - r_{old}|} - X/100\right) \quad (4)$$

Значения для X% (перерегулирование) и S% (статическая ошибка) задаются заранее согласно требованиям технологического процесса.

IV. Экспериментальный стенд

В качестве исследуемого электропривода в составе экспериментального стенда (рис. 4) используется Sinamics DCM 6RA8013. На верхнем уровне автоматизации находится контроллер Simatic S7-314 2DP. Связь между контроллером, электроприводом и персональным компьютером построена с помощью сети Profibus DP. Для передачи данных управления используются SIEMENS Telegram.

Нейросетевой настройщик реализован в виде программы на языке Structured Text в блоке OB1

контроллера S7-314 2DP. Объем реализации – 30 Кб. Для записи данных в режиме реального времени для дальнейшего построения сравнительных характеристик используется программное обеспечение Siemens Starter.

В качестве двигателя используется электродвигатель постоянного тока 2ПН90LУХЛ4 мощностью 0.55 КВт.

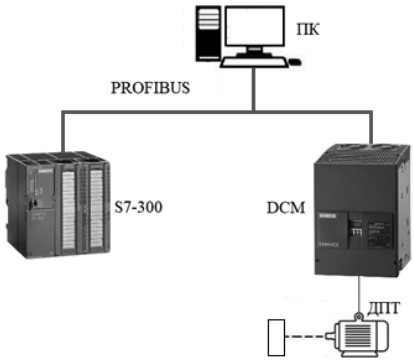


Рис. 4. Схема экспериментального стенда

Для осуществления проверки эффективности предлагаемого нейросетевого настройщика параметров ПИ-регулятора скорости на реальном объекте управления используется следующая схема: коэффициенты регулятора, определяемые настройщиком, вычисляются в контроллере, а затем с помощью Profibus соединения, они передаются электроприводу DCM посредством телеграмм.

V. Результаты экспериментов

Перед проведением экспериментов по применению нейросетевого настройщика (НН) на экспериментальном стенде производилась процедура ввода электропривода в эксплуатацию и автоматическая настройка регуляторов контуров тока и скорости по описанной выше процедуре. Автоматически электропривод вычислил следующие коэффициенты: для регулятора контура тока $K_p = 0.43$; $T_n = 0.019$ с; для регулятора контура скорости $K_p = 2.51$; $T_n = 0.166$ с (в начальный момент времени нейронная сеть настройщика формирует на своих выходах значения $K_p = 2.51$; $K_I = 2.51 / 0.166$ с). Процедура автоматической настройки производилась с маховиком, установленным на валу электродвигателя. Перерегулирование в контуре скорости при такой настройке составило 13.5%. Это же значение было внесено в базу правил нейросетевого настройщика в качестве оптимального (X%). Статическая ошибка при этом составила не более 1%, что и было принято как значение S%.

Эксперимент, результаты которого приведены на рис. 5, производился следующим образом. В начальный момент времени подавалось задание по скорости, которое составляло 500 об/мин. Далее, после останова электропривода (t = 1.7 с) маховик снимался с вала электродвигателя, тем самым достигалось изменение момента инерции примерно на 50%. Далее электропривод вновь запускался (отсчет продолжается с момента 1.7 с, время на снятие маховика вырезано) со сменой сигнала задания 0 об/мин – 500 об/мин – 0 об/мин. Нейросетевой настройщик выявил изменение качества переходного процесса (для системы управления

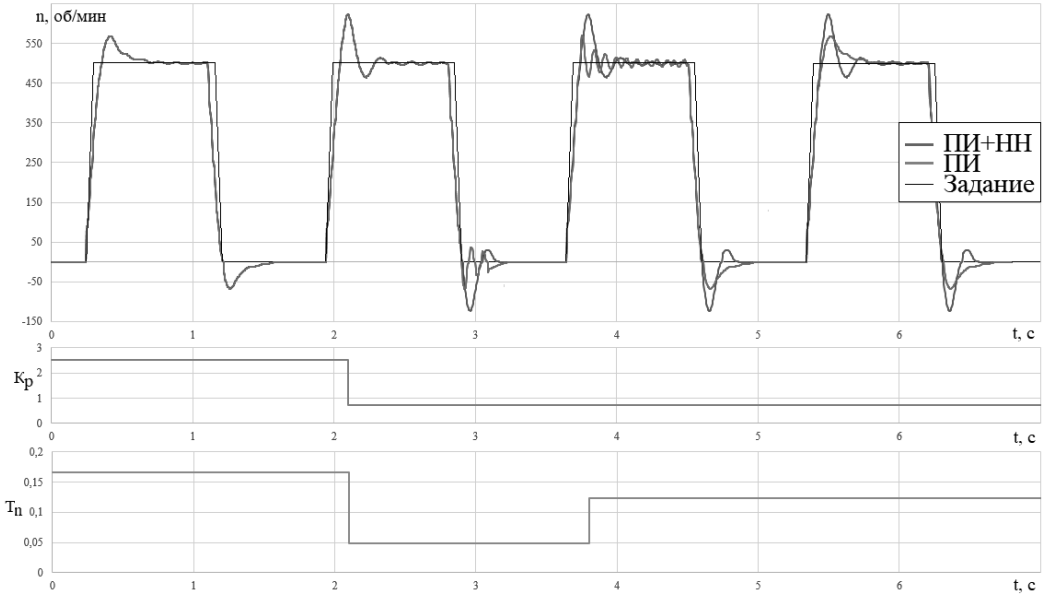


Рис. 5. Результаты экспериментов по применению нейросетевого настройщика

без адаптации параметров перерегулирование составило 24.5%) и произвел перенастройку регулятора скорости. Это позволило вернуть перерегулирование к первоначальному значению к моменту времени 5.5 с.

VI. Заключение

В работе была рассмотрена система регулирования скорости промышленного электропривода Sinamics DCM. Она была дополнена возможностью оперативной настройки параметров регулятора скорости в условиях нестационарности момента инерции привода.

Для этого в памяти программируемого логического контроллера, связанного с Sinamics DCM по телеграммному обмену, был размещен модуль нейросетевого настройщика. Оценивая качество переходных процессов, такой модуль настраивал параметры регулятора скорости в реальном времени.

Результаты проведенных экспериментов показывают, что применение нейросетевого настройщика параметров линейного ПИ-регулятора скорости при изменении момента инерции привода примерно на 50% позволило сохранить качество переходных процессов в контуре скорости, в частности, перерегулирование составило требуемые 13.5%. В то же время, для обычного ПИ-регулятора скорости с постоянными параметрами в таких условиях перерегулирование составило 24.5%.

Список литературы

[1] X. Baoqin, L. Tingjian, L. Caida Analysis and comparison of electric drive for the main motor of high power rolling mill // China Metallurgy. – 2009. – Vol. 19, no. 7. – P. 38-41.

[2] S. Maklakov, V. R. Gasiyarov, E. A. Maklakova Research of electric drive at load impact on hot plate mill 5000. Proceedings of IEEE Conference on Mechanical Engineering, Automation and Control Systems (MEACS). – IEEE, 2015. – P. 1-4.

[3] П.В. Шиляев, И.Ю. Андрюшин, В.В. Головин Модернизация тиристорных преобразователей и АСУ ТП широкополосного стана 2500 ОАО «ММК» //Тр. междунар. конф. «Электроэнергетика и автоматизация в металлургии и машиностроении». - Магнитогорск, 2008. - С. 93 – 99.

[4] Клепиков В. Б. и др. Применение методов нейронных сетей и генетических алгоритмов в решении задач управления электроприводами // Электротехника. – 1999. – №. 5. – С. 2-6.

[5] Буянкин В. М., Пантюхин Д. В. Синтез последовательного интегрального пропорционального нейрорегулятора для управления электроприводом // Известия ЮФУ. Технические науки. - 2006. - №3. - С115-121.

[6] J. Ziegler, N. Nichols Optimum settings for automatic controllers // Trans. ASME. – 1942. – No. 65. – P.759-768.

[7] K.L. Chien, J.A. Hrones, J.B. Reswick On the Automatic Control of Generalized Passive Systems // Transactions of the American Society of Mechanical Engineers. – 1952. – Vol.74. – P.175-185.

[8] H. Hjalmarsson, M.T. Cameron Iterative feedback tuning of controllers in cold rolling mills. 14th world congress of IFAC. – IFAC, 1999. – P. 445–450.

[9] S. Zhang, X. Zhou, L. Yang Adaptive PID regulator based on neural network for DC motor speed control. Proc IEEE Conf. Electrical and Control Engineering (ICECE). – IEEE, 2011. – P. 1950-1953.

[10] Krishna, Kota Bala Murali, B. V. S. Goud Fuzzy PID Control for Networked Control System of DC Motor with Random Design // International Journal of Computer Applications. – 2012. – Vol. 52.7. – P.24-28.

[11] Sundareswaran K., Vasu M. Genetic tuning of PI controller for speed control of DC motor drive. Proceedings of IEEE International Conference on Industrial Technology 2000.. – IEEE, 2000. – Vol. 1. – P. 521-525.

[12] Eremenko, Y.I., Glushchenko, A.I., Petrov, V.A. DC electric drive adaptive control system development using neural tuner. In Proceedings of 2017 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (EIConRus). – IEEE, 2017. – P. 1–6.

[13] A.I. Glushchenko Neural Tuner Development Method to Adjust PI-controller Parameters On-line. Proceedings of the 2017 IEEE Russia Section Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering Conference. – IEEE, 2017. – P.1-6.

[14] Glushchenko A.I. Method of Calculation of Upper Bound of Learning Rate for Neural Tuner to Control DC Drive // Studies in Computational Intelligence. – 2018. – Vol 736. – P. 104-109.

Нейросетевая идентификация объектов технологической линии обогащения железной руды для построения ее прогнозирующей системы

Еременко Ю.И.
Кафедра Автоматизированных и информационных систем управления СТИ НИТУ «МИСиС» им. А.А. Угарова
Старый Оскол, Россия

Полещенко Д.А.
Кафедра Автоматизированных и информационных систем управления СТИ НИТУ «МИСиС» им. А.А. Угарова
Старый Оскол, Россия

Цыганков Ю.А.
Кафедра Автоматизированных и информационных систем управления СТИ НИТУ «МИСиС» им. А.А. Угарова
Старый Оскол, Россия
tsy-18@yandex.ru

***Abstract* — The procedure for identification of a cascade of technological facilities involved in the process of iron ore dressing at the mining and processing plant is carried out. The purpose of the procedure for constructing neural network models of the units under study is the implementation of a predictive system capable, based on the analysis of current values of technological indicators, to simulate the development of the production situation to present the forecast to the operator. The expediency of using this apparatus is due to the complexity of the ongoing continuous process of enrichment of iron ore material, during which multidimensional multi-connected objects function, there is a significant non-stationarity of parameters due to changes in the physicochemical characteristics of the raw material, resulting in the need to change the operating modes depending on the class of ore being processed, there is a phenomenon of drift in the parameters of production units. In addition, the task is complicated by the nonlinearity of the characteristics of many objects, their considerable inertia and the presence of recycling flows. An additional difficulty is the discrete laboratory evaluation of the useful content (the percentage of iron) in the output product, which is produced at the end of the process chain and does not allow for prompt assessment of the result of a change in control signals. These characteristics significantly complicate the implementation of an effective management strategy by the operator. The primary task for him is to prevent emergencies, while managing the process within the technological requirements of production, therefore, operators are forced to form a so-called "stock from above", thereby reducing the specific energy efficiency of the technological process for its stability. In these conditions, it becomes urgent to develop a system that is able, based on the analysis of technological indicators at each of the production line facilities, to predict the overall possible course of development of the production process with high accuracy. For this, an artificial neural network apparatus was used, which, due to the possibility of approximating complex non-linear dependencies, will allow the development of models of technological objects that are distinguished by high quality of operation.**

Ключевые слова — горно-обогатительная отрасль, многопараметрический объект, нейронная сеть, идентификация, система прогнозирования

I. Введение

В рамках проводимых на сегодняшний день мероприятий по повышению конкурентоспособности отечественных промышленных предприятий одним из направлений является попытка повышения эффективности производственных процессов. Наиболее очевидным ее решением является повышение удельной эффективности работы агрегатов. Для исполнения этого существует несколько путей, таких как техническое переоснащение, модернизация существующего оборудования. Одним из предпочтительных методов является усовершенствование алгоритмической части программного обеспечения систем управления производственными агрегатами. Поводом в пользу модернизации именного данного аспекта является возможность внесения изменений без существенных перемен в ходе самого технологического процесса, без необходимости долговременной остановки производства, что в целом является более приемлемым с точки зрения персонала. То есть изменению возможно подвергнуть алгоритмическое обеспечение существующего и понятно работающего оборудования.

Одним из возможных направлений применения изменений алгоритмического обеспечения являются производства дискретно-непрерывного типа, в ходе работы которых задействовано некоторое число технологических объектов, разделенных территориально, но обрабатывающих один последовательно подаваемый материальный поток сырья. Зачастую в таких схемах имеется поток рецикла, что значительно усложняет задачу управления. На выходе цепочки получают некоторый продукт с заданными параметрами. Соответствующим по всем параметрам данному описанию является процесс обогащения железной руды для получения железорудного концентрата с заданным процентным содержанием железа на выходе [1-4]. Данный процесс представляет собой несколько стадий последовательного измельчения, классификации, сепарации и других технологических операций. Зачастую это происходит путем одновременной обработки нескольких потоков сырья, затем соединяемых в один, в каждом из которых присутствуют явления рецикла. Сложность вносит нестационарность физико-химических характеристик поступающего сырья, что сказывается на времени обработки материала до необходимых параметров и,

Исследование проведено за счет средств гранта на проведение научно-исследовательских работ по приоритетным направлениям развития науки, техники и критическим технологиям для студентов и аспирантов вузов, предоставленным Департаментом внутренней и кадровой политики Белгородской области (договор №57 от 12.09.2018 г.).

©2019 ИПУСС РАН, СамГТУ, IEEE

соответственно, времени прохождения одинакового объема через тот или иной участок производства.

Как правило, всей производственной цепочкой управляет один человек-оператор посредством задания уставок для регуляторов локальных контуров, контролируя итоговое качество получаемой продукции. Данный процесс также имеет недостатки, затрудняющие работу оператора. Анализ качества продукта, ввиду сложности эксплуатации существующих автоматических методов, производится дискретным лабораторным способом с частотой 1 раз в 2 часа. То есть, оператор в течение длительного времени имеет сведения об уже ушедшем с переработки продукте, но не может отследить результат изменения уставок на текущем материальном потоке, осуществляя это лишь косвенно, по значениям показаний различных датчиков. В такой ситуации оператор, имея некоторый опыт управления, задает уставки по параметрам таким образом, чтобы цепочка агрегатов осуществляла функционирование что называется «по среднему», имея высокий показатель устойчивости и попадая по качеству в рамки технологических допусков. Но в отсутствии условий для точного регулирования снижается экономическая эффективность процесса, оператор в целях подстраховки намеренно увеличивает «запас сверху», для предотвращения ситуаций выпуска некондиции или возможности аварийной остановки объектов.

Анализируя вышесказанное, можно сделать вывод, что в данных условиях является актуальной задача создания прогнозирующей системы, способной на основе анализа текущих показателей производственных параметров с высокой точностью смоделировать ход развития процесса. Это предоставит оператору информацию о результатах его действий в реальном масштабе времени как на каждом из агрегатов, так и в целом по переделу, позволив снизить размер «запаса», и будет способствовать осуществлению управления процессом в зоне большей эффективности.

II. Основная часть

Для реализации подобного функционала коллективом авторов был выбран метод создания математических моделей агрегатов на основе данных промышленной эксплуатации дальнейшей их интеграцией в единую цепочку согласно хода технологического процесса. Это позволит оценивать поагрегатное изменение параметров и более точно выделять участки отклонения от значений технологии в ходе производства. Данный способ используется при создании достаточно широко распространяемых сегодня APC-систем (Advanced Process Control) [5-7]. APC-системы представляют собой многоуровневые системы управления, позволяющие реализовать управление производственным процессом по наиболее оптимальным траекториям для повышения его эффективности. Однако в ходе его создания используются процедуры идентификации, требующие вмешательства в ход технологического процесса, применяется математический аппарат, не позволяющий получить модели высокой степени [8], что является недостатком с точки зрения подхода, реализуемого в данной работе.

Для выбора математического аппарата были проанализированы основные методы создания моделей технологических агрегатов на основе промышленных данных [9]. В итоге, для создания моделей сложных многопараметрических агрегатов, которыми являются многие из технологических объектов процесса обогащения, был выбран аппарат искусственных нейронных сетей (ИНС), обладающий способностью аппроксимации сложных нелинейных функциональных зависимостей [10,11]. Возможность решения похожих задач на основе аппарата ИНС в смежных областях промышленности показана в [12].

Перед началом работ по построению моделей агрегатов была проанализирована структура производственной цепи одного из предприятий горно-обогатительного комплекса. В ходе процедуры были определены основные объекты, участвующие в производственной технологии, некоторые из них при разработке схемы моделей были объединены, поскольку графики их работы представляют собой достаточно простые линейные функциональные зависимости. По итогу была получена схема последовательности реализации моделей с перечнем используемых технологических сигналов.

В данной работе приведена методика построения и объединения моделей на примере двух последовательно расположенных частей технологической цепочки. Схема данных моделей представлена на рис. 1.

Из схемы видно, что для модели «НС_1», описывающей работу головной шаровой мельницы и классифицирующего аппарата, в качестве входных были выбраны сигналы веса подаваемой руды в шаровую мельницу, расхода воды в мельницу, расхода воды в бутару мельницы, мощность привода мельницы, величины токов спиралей спирального классификатора, работающего в замкнутом цикле с головной мельницей. В качестве выхода был выбран сигнал плотности слива классификатора, который поступает на вход мокрой магнитной сепарации (ММС) – следующей за измельчением стадии обработки пульпового сырья. Такие сигналы, как положение ИМ (исполнительных механизмов) подачи воды в мельницу и в бутару были исключены из моделирования как дублирующие, для предотвращения явления мультиколлинеарности входов модели.

Аналогичным образом, для модели «НС_2», описывающей процессы ММС, работу технологического зумпфа и пристежной мельницы, в качестве входов были выбраны сигналы плотности питания ММС, который является выходом предыдущей модели, положения ИМ подачи воды в зумпф, уровня материала в зумпфе, расход воды в пристежную мельницу и мощность привода мельницы. В качестве выхода выбран сигнал плотности слива пристежной мельницы, которая, в отличие от головной, работает в открытом цикле. Стоит упомянуть, что в технологическом процессе рассматриваемого предприятия осуществляется режим поддержания плотности исходя из требований технологии, что является дополнительным аргументом в пользу выбора именно этого сигнала как связующего между разрабатываемыми нейросетевыми моделями.

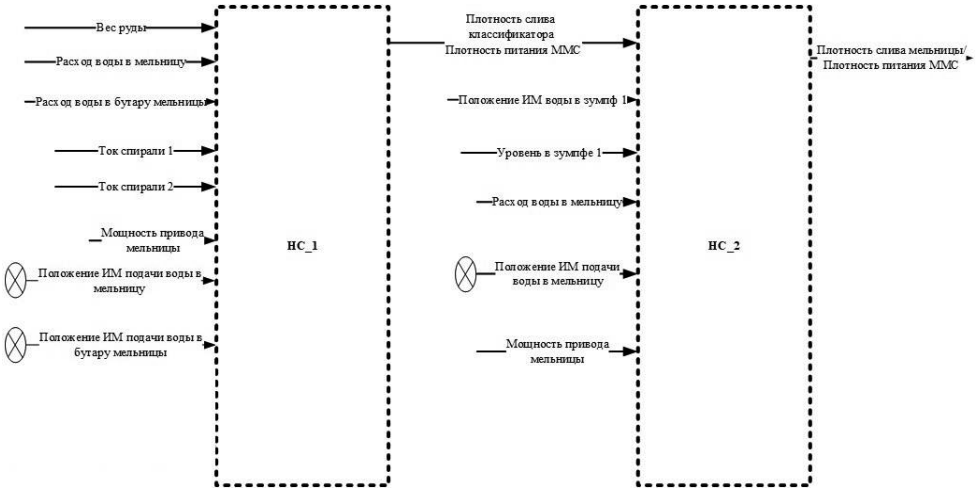


Рис. 1. Схема рассматриваемых последовательных моделей

При построении модели были использованы данные из реальной системы управления за промежуток времени, превышающий 6 месяцев. Первоначально была осуществлена процедура предобработки для исключения из анализа данных, соответствующих моментам остановов на ремонт, ситуациям, когда в течение некоторого времени отсутствовал один из сигналов, что происходит при выходе из строя датчика измеряемого параметра или наличии иных проблем технического характера, а также прочие непредвиденные длительные простои. После чего была осуществлена процедура формирования обучающей и тестовой выборок в соотношении 80/20% от объема имеющихся данных, с приведением к единой частоте дискретизации значений и проведением процедура нормировки для приведения всех векторов в единый масштаб значений. Причем дополнительным условием, для обеспечения полноты предоставляемой информации при обучении, являлось требование вхождения граничных амплитудных значений тестовой выборки в аналогичный промежуток обучающей для каждого из сигналов соответственно. Дополнительно, данные измерений выборок были отобраны за моменты, значительно разнесенные по времени. Это было осуществлено с целью проведения тестирования модели на данных, описывающих значительно иную производственную ситуацию.

Эксперименты по моделированию производились с использованием многослойных искусственных нейронных сетей. Значительным числом работ было доказано, что данная архитектура способна решать задачу аппроксимации сложной функциональной зависимости имея структуру с одним скрытым слоем, достаточным числом нейронов в нем и нелинейной функцией активации этих нейронов [13-16]. Исходя из представленных положений, была выбрана предварительная архитектура сети, а затем производились опыты по выбору конфигурации, позволяющей получить высокое качество функционирования модели. Для обеспечения полноты информации при моделировании с точки зрения динамики работы входящих в модель агрегатов и процессов на входной слой также были поданы векторы плотности слива классификатора с реализацией задержки на 1 и более тактов [17], что приводило к необходимости последовательного увеличения числа нейронов в скрытом слое. оценка качества работы моделей производилась при помощи таких показателей, как значение функционала МНК (*F(LSM)*) и коэффициент корреляции (*corr k*) оригинального сигнала и выходного сигнала модели.

Целью проведения опытов ставилось определение необходимого числа задержек выходного сигнала на входе и числа нейронов в скрытом слое, которые позволили бы достичь наилучших показателей качества моделирования. Число эпох обучения также подбиралось эмпирическим путем. Показатели качества работы наиболее успешной архитектуры сети модели «НС_1» приведены в таблице I.

ТАБЛИЦА I. ЧИСЛЕННЫЕ ЗНАЧЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА РАБОТЫ МОДЕЛЕЙ ПРИ ФУНКЦИОНИРОВАНИИ НА ТЕСТОВОЙ ВЫБОРКЕ

	Значение показателей качества работы моделей	
	corr k	***F(LSM)***
НС_1	0.9793	0.3378
НС_2	0.9939	0.339
НС_1+НС_2	0.9939	0.3448

Затем по схожему алгоритму были проведены опыты для выбора достаточной структуры второй модели, обозначенной как «НС_2». Для формирования обучающей и тестовой выборок были использованы производственные данные за те же даты, что и для первой модели. Порядок и перечень процедур предобработки также соответствовали описанному выше эксперименту. По причине меньшего числа входных признаков для первоначальных экспериментов была выбрана архитектура с меньшим числом нейронов в

скрытом слое, нежели в ранее представленной модели. Однако в ходе опытов это число последовательно увеличивалось с учетом изменения числа обрабатываемых на входе сигналов плотности слива пристежной мельницы и опираясь на значения показателей качества моделирования. Стоит отметить, что изначально данная модель обучалась и тестировалась на оригинальных выборках данных, полученных из системы управления технологической цепочкой предприятия. Наилучшие численные значения показателей работы, полученные в результате опытов, приведены в таблице I.

Следующим этапом стало тестирование результатов работы нейросетевой модели «НС_2» при подаче на вход не оригинального сигнала плотности слива классификатора, который по схеме является выходом предыдущей модели, а заменяющего вектора, полученного при функционировании модели «НС_1» на тестовых данных. Иначе говоря, была осуществлена процедура интеграции двух моделей, но при условии реализации их последовательной работы – когда связующий сигнал является выходом предыдущей модели.

В данных условиях итоговый выходной сигнал модели «НС_2» показал высокие результаты качества при сравнении с реальным сигналом плотности слива пристежной мельницы. Это позволяет говорить о достаточном качестве работы моделей и разработанного алгоритма. Численные значения показателей качества интегрированных моделей на тестовых данных также приведены в таблице I.

III. Заключение

Из результатов, полученных в ходе экспериментов видно, что разработанный алгоритм предобработки данных и формирования выборок позволяет осуществлять разработку нейросетевых моделей с достаточно высокими показателями качества работы (рис. 2).

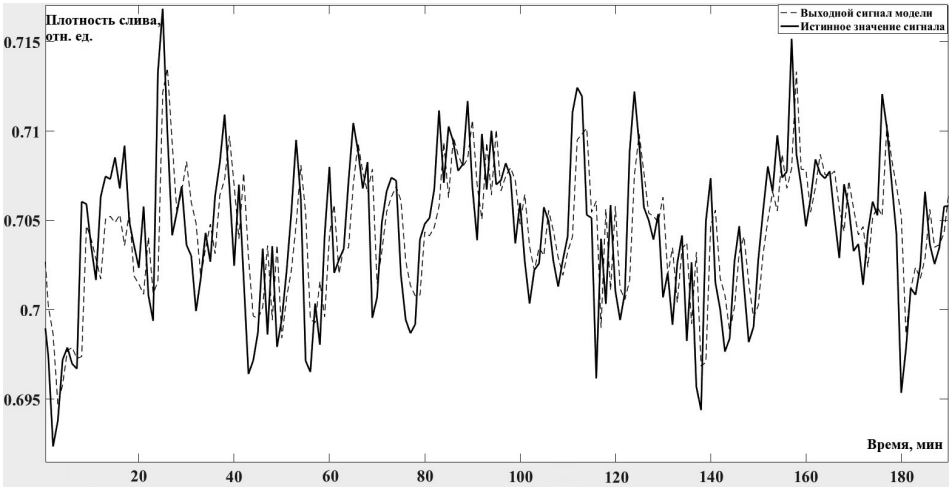


Рис. 2. Результат работы модели «НС_2» после интеграции

Однако, целью данной работы являлась не только разработка моделей агрегатов, но их интеграция для совместной работы и перспективой дальнейшего добавления количества моделей на основе данных прочих агрегатов технологической цепочки. Представленные результаты позволяют предположить их разработку, а значит и возможность на основе полученного аппарат реализовать прогнозирующую систему для предоставления данных оператору о возможном ходе технологического процесса в реальном времени. Наличие данного инструментария обеспечит оператору инструмент обратной связи с процессом по трудноизмеряемым параметрам итогового качества продукции, тем самым позволит ему повысить эффективность управления за счет уменьшения зоны запаса. Дополнительными перспективами данной системы могут являться такие возможности, как снижение зависимости качества управления от опыта и состояния оператора, снижение количества аварийных ситуаций вследствие ошибок управления и возможность диагностики состояний производственных объектов на более ранних стадиях.

Список литературы

[1] Андреев С.Е. Дробление, измельчение и грохочение полезных ископаемых / Андреев С.Е.; Дробление, измельчение и грохочение полезных ископаемых. – М.: «Недра», 1980. – 320 с.

[2] Олейников В.А., Тихонов О.Н. Автоматическое управление технологическими процессами в обогатительной промышленности. – М.: «Недра», 1966. – 245 с.

[3] Марюта А.Н. Автоматическая оптимизация процесса обогащения руд на магнитно-обогатительных фабриках. – М.: «Недра», 1975. – 328 с.

[4] Еременко Ю.И., Полещенко Д.А., Цыганков Ю.А. О построении нейросетевой модели технологического объекта на основе его информационно-аналитического представления // Вести высших учебных заведений Черноземья. – 2018. - №1. – С. 45-57.

[5] V. M. Dozortsev and D. V. Kneller, “APC - advanced process control,” Sensors and systems, no. 10, pp. 56–62, 2005.

[6] V. M. Dozortsev, E. L. Itskovich, and D. V. Kneller, “Improved process control (APC): 10 years in Russia,” Automation in industry, no. 1, pp. 12–19, 2013.

[7] P. Tatjevsky, Advanced Control of Industrial Processes: Structures and Algorithms. Leningrad: Springer, 2010.

[8] Eremenko Y.I., Poleshchenko D.A., Tsygankov Y.A. Development of neural network model of the multiparametric technological object // J. Fundam. Appl. Sci., 2017, 9(7S), pp. 706-721.

[9] Еременко Ю.И., Полещенко Д.А., Цыганков Ю.А. Разработка модели процесса обогащения руды с использованием аппарата искусственных нейронных сетей // Информатика, управление и системный анализ: Труды V Всероссийской научной конференции молодых ученых с международным участием. – Ростов-на-Дону: Мини-Тайп, 2018. – С. 460 - 469.

[10] K. Hornik, M. Stinchcombe, and H. White, “Multiple feedforward networks are universal approximators,” Neural Networks, vol. 2, pp. 359–366, 1989.

[11] G. Cybenko, “Approximation by superposition of a sigmoidal function,” Mathematics of Control, Signals, and Systems, vol. 2, pp. 303–314, 1989.

[12] Зозуля Ю.И., Слетнев М.С. Разработка программного комплекса нейросетевой системы поддержки принятия решений по безопасному оперативному управлению нефтехимическим производством // Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности. – 2013. - №1. – с.7-14.

[13] A. N. Gorban, “The generalized approximation theorem and computational capabilities of neural networks,” Sib. journal of computed Mathematics, vol. 1, no. 1, pp. 11–24, 1998.

[14] A. N. Gorban and D. Wunsch, “The general approximations theorem,” Proc. IEEE IJCNN, pp. 1271–1274, 1998.

[15] G. Cybenko, “Approximation by superposition of a sigmoidal function,” Mathematics of Control, Signals, and Systems, vol. 2, pp. 303–314, 1989.

[16] R. Hecht-Nielsen, “Theory of the backpropagation neural network,” Proc. of the int. Joint Conf. on Neural Networks, I, 593–611, 1989.

[17] Лубенцов В.Ф. Исследование САУ процессом ферментации с применением технологии нейронных сетей // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2005. - №9. – С. 1-4.

Когнитивная визуализация мультиструктурных и мультимодальных данных

Иващенко А.В.
Самарский государственный технический университет
Самара, Россия
anton.ivashenko@gmail.com

Ситников П.В.
Университет ИТМО
Санкт-Петербург, Россия
sitnikov@o-code.ru

Хорина А.А.
Университет ИТМО
Санкт-Петербург, Россия
anastasiakhorina@mail.ru

Сурнин О.Л.
ООО «Открытый код»
Самара, Россия
surnin@o-code.ru

***Abstract* — In this paper there is addressed a problem of Big Data cognitive visualization in interactive user interfaces. Based on an analysis of existing approaches there is identified a requirement to develop a new approach of data visualization using several dimensions. It is necessary to develop new principles for choosing the dimension for displaying data and placing the elements of the user interface in space. To solve this problem, there is proposed a methodology that describes the existing data display dimension. There is given description of each of the dimensions and introduced a decomposition matrix for selecting the main dimension. Practical use of the solution is illustrated by the introduction of several industrial applications. Basic features of cognitive visualization are described considering the application requirements and particular properties of different problem domains. Main attention is given to the development of efficient and convenient user interfaces capable of representing the results of Big Data processing and analysis.**

Ключевые слова — когнитивная визуализация, Большие Данные, пользовательский интерфейс, промышленные приложения

I. Введение

Современные программные решения, которые обеспечивают автоматизированный мониторинг и управление сложными системами и распределенными организациями, работают с Большими Данными. Этот термин был первоначально введен для описания информации с большим объемом, разным структурным содержанием и большой скоростью накопления, но в настоящее время используется для идентификации большого массива мультиструктурных и мультимодальных данных [1].

Основной проблемой такого анализа данных является отсутствие устойчивых алгоритмов. Большая часть аналитического программного обеспечения предоставляет только технологию, набор инструментов, который включает в себя различные статистические инструменты и специальные механизмы для поддержки параллельных вычислений в режиме реального времени. Даже если такие системы предназначены не для прямого управления, а для поддержки принятия решений, остается проблема неопределенности в алгоритмах, применяемых к определенным условиям.

Другая проблема, характерная для современной автоматизированной поддержки принятия решений, связана с интеллектуальными решениями. Системы, которые реализуют искусственный интеллект (например, нейронные сети), сталкиваются с трудностями при объяснении решений и их интерпретации для пользователей. Это приводит к недоверию и проблемам в практическом использовании.

©2019 ИПУСС РАН, СамГТУ, IEEE

Чтобы преодолеть эти проблемы, предлагается стремиться к разработке «удобных» пользовательских интерфейсов, уделяя основное внимание представлению больших данных и результатов их обработки и анализа наиболее наглядным и визуально привлекательным способом, что позволит наиболее цело оценить успешность работы алгоритмов, применяемых при решении задач.

Эти усилия связаны с проблемой поиска баланса между полнотой данных (нацеленностью на наиболее подробное представление для обеспечения максимальной информации, полезной для принятия решений) и визуальной ясностью (выбирая только те данные, которые в настоящее время требуются определенному пользователю на конкретном этапе, в конкретное время).

В этой статье мы предлагаем несколько точек зрения, касаемо данной проблемы, пытаясь найти вариант для лучшей детализации больших данных.

Представленный ниже материал основан на промышленной разработке, внедрении и использовании современных интеллектуальных технологий в ситуационных центрах и программном обеспечении для поддержки принятия решений и представлен для иллюстрации возможных решений на практике.

II. Обзор существующих решений

Проблемы визуализации сложных данных знакомы современным ИТ-проектам [2, 3]. Например, предлагаются специальные решения для объединения нескольких наборов данных при одновременном анализе нескольких слоев биологической системы. Система должна соединять все связанные наборы данных (например, изображения, текст, измеренные значения, сканы) и предлагать визуальную аналитику для поддержки экспертов. Этот подход широко используется для обработки медицинских данных, но может быть также легко распространен для кибер-физической системы.

Этот подход поддерживает идею максимально эффективной визуализации сложных данных для профессионалов вместо автоматического принятия решений. В дополнение к этому предлагается вовлекать лиц, принимающих решения, в процесс обработки и визуализации данных посредством постоянного взаимодействия с системой, что помогает оптимизировать поведение как людей, так и алгоритмов.

Эта же проблема хорошо известна в промышленности. В ходе разработки парадигмы «Индустрия 4.0» [4 - 6], которая, в свою очередь,

представляет собой список шагов для интеллектуального прорыва в промышленной сфере и достижения «умного» производства, большое внимание уделяется промышленным приложениям, поскольку они являются частью автоматизации производства. Взаимодействие человека с компьютером позволяет автоматизировать часть ручных операций, что повышает качество выпускаемой продукции и устраняет производственные сбои.

Работа промышленных приложений основана на получении информации от различных датчиков. Кроме того, промышленные приложения основаны на работе интеллектуальной системы, которая обеспечивает не только правильную работу всех устройств, но и позволяет реагировать на непредвиденные ситуации, что позволяет повысить безопасность производства. Устройства могут взаимодействовать в различными датчиками и собирать много информации, например, данные о давлении, влажности, оптических показателях, скорости, звуке и т. д.

Аппаратные средства, программное обеспечение, инфраструктура связи и «подключенные» устройства, участвующие в процессе обмена данными, объединяются в технологическую экосистему, называемую «Интернет вещей (IoT)» [7]. «Интернет вещей» - это концепция взаимодействия между устройствами, которые способны: собирать, хранить, обрабатывать данные, а также отправлять данные в Интернет или напрямую на другие устройства [8]. За счет этого потоки данных преобразуются в аналитическую информацию или прогнозы.

Производственные данные в их первоначальном виде не подлежат анализу, но требуют предварительной обработки. Обработка данных позволяет согласовывать данные друг с другом.

Разница в единицах измерения и в содержании данных требует предварительного сокращения данных до единой формы, которая характеризует данные как мультиструктурные и мультимодальные [1]. В случае производственной информации используются различные средства обработки больших данных: машинное обучение, искусственный интеллект (ИИ), имитационное моделирование, статистический анализ и пространственный анализ [9].

Использование искусственного интеллекта в работе с данными, хотя и является новейшей тенденцией мировой индустрии, но не всегда позволяет упростить процесс обработки данных. При работе с ИИ существует такая вещь, как «черный ящик» при обработке данных, пользователь никогда не узнает, как программа отображает ту или иную информацию. В тех случаях, когда информация ясна, проблем не возникнет, но если результирующая информация непонятна для пользователя, в игру вступает визуализация - как средство объяснения выводов ИИ. При визуализации пользователь может сравнивать данные с исходными, используя графики, и быстро делать выводы о правильности предоставленного AI решения.

Быстрый и эффективный анализ собранной информации для пользователя позволит использовать данную информацию в промышленных приложениях. Визуализация в таких случаях играет ключевую роль для быстрой ориентации в предоставляемой информации, для мониторинга и управления, а в некоторых случаях для автоматизации процессов управления оборудованием или системами.

III. Декомпозия, основанная на измерениях

На основе анализа существующих подходов определена потребность в разработке новых подходов к визуализации данных с использованием нескольких измерений. Необходимо разработать новые принципы выбора измерения для отображения данных и размещения элементов пользовательского интерфейса в пространстве. Чтобы решить эту проблему, мы предлагаем методологию, которая описывает существующие измерения для отображения данных, и алгоритм выбора необходимых измерений.

Чтобы выбрать инструмент визуализации, рассмотрим более подробно три основных характеристики средств визуализации данных [10]:

- характер данных, которые должны быть визуализированы;
- методы визуализации и образы, в форме которых могут быть представлены данные;
- возможности взаимодействие с визуальными образами и методами для лучшего анализа данных.

Существуют следующие типы данных, с которыми могут работать инструменты визуализации:

- одномерные данные – массивы, временные ряды и т. д.;
- двумерные данные – точки графиков, географические координаты и т. д.;
- многомерные данные – финансовые показатели, результаты экспериментов и т. д.;
- текст и гипертекст – газетные статьи, веб-документы и т. д.;
- иерархические и связные – структура подчинения в организации и т. д.;
- алгоритмы и программы – информационные потоки, операции отладки и т. д..

Для визуализации перечисленных типов используются различные визуальные образы и методы их создания. Существует много способов представления данных в режиме реального времени. Перечислим основные виды визуализации данных:

- Графики и диаграммы. Предназначен для представления и анализа данных. Существует около 15 наиболее часто используемых видов диаграмм, всего в настоящее время их типов диаграмм насчитывается более 60.
- Инфографика. Инфографика статична и предназначена для максимально понятного представления данных. Инфографика представляет готовые выводы.

- Картограммы. Представлены в виде карты с информацией, напечатанной на ней, в отдельных слоях.
- Схематизация. Диаграммы чаще всего иллюстрируют структуру или процесс работы сложных инженерных и природных систем (включает в себя так же визуализацию онтологий, а так же схем методологии RDF, OWL и т.д.).

Не всегда один из способов отображения данных может полностью показать информационное содержание представленных данных.

В случае многомерных данных выбор измерения отображения данных облегчает анализ предоставленных данных. Далее в статье рассматривается модель инструмента когнитивной визуализации данных, которая позволит отображать данные в нескольких измерениях, которые лучше всего описывают предоставленные данные.

IV. Формальная модель

Чтобы сформировать модель инструмента когнитивной визуализации, мы вводим следующие понятия: объект d и атрибут a. Каждый объект описывается атрибутами. Атрибуты могут быть определяемыми и приобретаемыми.

Определяемый атрибут позволяет нам понять, какой объект находится перед нами, атрибуты этого типа создаются во время создания объекта. *Приобретаемые атрибуты* возникают при изучении объекта, они могут определенно не описывать объект, но при сопоставлении с определенными атрибутами открывают много возможностей для изучения объекта.

Мы группируем объекты по атрибутам и идентифицируем кластеры. Предположим, что есть выборка D из n объектов наблюдения, каждый из которых характеризуется числовыми знаками a_i, t_i. Известно, что каждый из этих объектов действительно принадлежит к одному из k классов.

Требуется разделить множество наблюдаемых объектов D на k подмножеств D_i (1,2).

$$\bigcup_{i,j=1}^{k} D_i\left(a_i, t_i\right) = D, \tag{1}$$

$$F\left(\Omega\left(D_i\right)\middle|a_i\right) = \left\{D_i\right\}_k : t_i \in \Delta T. \tag{2}$$

Мера разницы между объектами может быть определена как расстояние между векторами объектов в соответствующем пространстве атрибутов (3).

$$R\left(D = F\left(\Omega\left(D_i\right)\middle|a_i\right)\right) > R_0 \tag{3}$$

Для отображения многомерных данных мы выбираем несколько основных измерений, в соответствии с которыми мы рассматриваем данные:

- Пространственное измерение. Используется, если данные содержат координаты события. Представление пространственного измерения осуществляется с помощью карт.
- Измерение времени. Используется, когда данные содержат время события и данные события. Представление измерения времени с использованием временной шкалы.
- Числовое измерение. Используется, когда информация о событии содержит числовые данные. Представление числовой размерности осуществляется с помощью диаграмм и графиков.
- Семантическое измерение. Используется, когда информация о событии содержит текстовые данные и\или схематическую информацию (в том числе онтологии, схем методологий RDF, OWL и т.д.). Представление данных осуществляется с использованием облаков тегов и\или онтологий.
- Алгоритмическое измерение. Используется, если информация содержит алгоритмы или структуру работы системы. Представление данных выполняется с использованием графиков.

Мы определяем измерение как множество объектов, которые описывается несколькими атрибутами, а затем назначаем приоритеты измерениям с помощью матрицы соответствия, которую вы можете увидеть в таблице 1.

ТАБЛИЦА I. МАТРИЦА СООТВЕСТВИЯ

	Измерение 1	***Измерение 2***	***Измерение 3***
Измерение 1	0	P1	P2
Измерение 2	P3	0	P4
Измерение 3	P5	P6	0

Значения P1 - P6 является приоритетом одного измерения относительно другого измерения. В результате при построении этой таблицы выбирается основное измерение для отображения данных.

Также следует учитывать вариации измерений, при которых информация о распределении данных будет отображаться наиболее четко.

V. Примеры практической реализации

Рассмотрим существующие на данный момент промышленные приложения, которые используют методологию когнитивной визуализации и использование нескольких измерений отображения данных. Представлены решения, охватывают наиболее популярные области обработки больших данных: мониторинг, анализ, контроль и поддержка принятия решений. Представленные примеры визуализации отображают интерфейсы промышленных приложений, разработанных компанией «Открытый код», г. Самара.

A. Мониторинг ключевых показателей эффективности

В случае приложения, созданного для расчета и мониторинга ключевых показателей эффективности (KPI) компании с распределенными бизнес-процессами, пользовательский интерфейс отображается в виде виджетов, где каждый элемент отвечает за свой собственный индикатор.

При работе с виджетом обзоров в социальных сетях используется подход от общего к частному, где для информативной работы выбираются самые популярные, самые популярные позитивные и самые популярные негативные посты. Такой подход позволяет оценивать ситуации с точки зрения «группа может быть описана самыми яркими людьми», но в этом случае мы описываем ситуацию самыми яркими постами.

Базовый слой - это числовое измерение, в части виджетов добавлено семантическое измерение. Экран системы представлен на Рисунке 1.

Рис. 1. Система контроля показателей эффективности

B. Анализ социальных сетей

В настоящее время Интернет стал естественным средством общения для школьников и студентов, друзей и сотрудников, одноклассников и пенсионеров.

Социальные сети объединили людей, которые находятся в разных частях света или живут в одной квартире, имеют схожие интересы, имеют общие дела и решают проблемы друг друга.

В этой среде существуют особые правила общения и, конечно же, есть вопросы безопасности и защиты от негативного контента. Манипулирование мнениями других людей, троллинг, запугивание - эти негативные действия стали той же реальностью интернет-жизни, что и виртуальные сообщества.

Чтобы справиться с этой проблемой, была разработана оригинальная система мониторинга социальных сетей и других открытых источников (см. Рисунок 2).

Система предназначена для сбора, обработки и анализа больших данных с целью выявления пользователей со скрытым отклоняющимся поведением, для решения проблем предотвращения конфликтных ситуаций и незаконных действий.

На основе анализа больших данных, глубокого обучения и нейронных сетей система позволяет выявлять негативные тенденции: нарушения профессиональной этики сотрудниками, пропаганда насилия, выявление фиктивных пользователей и их движений.

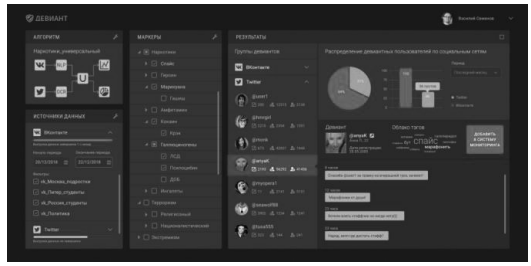


Рис. 2. Анализ социальных сетей

Выявление и анализ отклоняющегося поведения осуществляется с помощью семантико-статистического анализа. Система обеспечивает анализ текстовой, видео и графической информации. Таким образом, система позволяет анализировать текущую ситуацию в режиме реального времени и прогнозировать динамику ее развития.

В системе используется принцип отображения в виде динамических виджетов, где каждый виджет отвечает за свой блок операций. Пользователь настраивает каждый блок в зависимости от конкретной задачи.

Базовый слой - это семантическое измерение, дополнительный слой к части виджетов - это числовое измерение.

C. Ручное управления операциями основанное на дополненной реальности

Дополненная реальность (AR) является одной из наиболее перспективных технологий в настоящее время, которая значительно улучшает возможности интерактивных пользовательских интерфейсов.

Современные AR-устройства сравнительно дешевы и просты в использовании в большинстве областей взаимодействия человека с компьютером. Несмотря на богатую функциональность AR-устройств, их реализация на практике остается сложной задачей.

Проблемы связаны как с удобством, так и с восприятием. Большинство пользователей испытывают трудности при использовании устройств, монтируемых на голове, при выполнении рутинных манипуляций.

Основываясь на опыте решения этих типов проблем, было разработано оригинальное решение для ручного управления операциями, апробированное в случае комплекта конструирования робота (см. Рисунок 3) и конструкции узла сборки автомобиля (см. Рисунок 4). Решение рассматривает основную особенность решений на основе AR, которые приносят цифровые объекты в восприятие человеком реального мира. Основным измерением здесь является пространственное измерение, дополнительным измерением выступает семантическое измерение, с помощью которого накладывается расширенная информация о конкретном объекте.

Система способна выявлять недостатки и сбои оператора в режиме реального времени, прогнозировать возможные ошибки в работе и предлагать более эффективные процедуры.

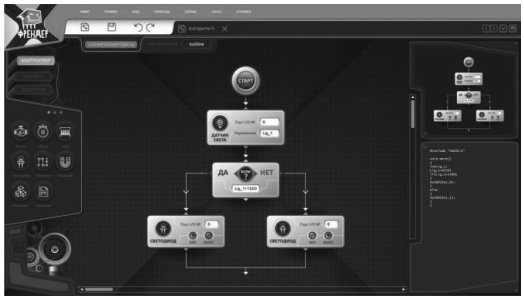


Рис. 3. Комплект дизайна робота «Френдер»

Рис. 4. Управление ручными операциями для сборочной единицы (турбокомпрессора)

D. Поддержка принятия решения в сфере эквайринга

Внедрена система поддержки принятия решений (см. Рисунок 5) для помощи аналитикам отделов банка, отвечающих за предоставление услуг эквайринга.

Рис. 5 Адаптивная система поддержки принятия решений

Система позволяет анализировать Большие Данные эквайринговой системы банка с отображением соответствующих местоположений на интерактивной карте (первое измерение), корреляционный анализ предложений по опциям обслуживания (второе измерение) и индикаторов популярности территории (третье измерение), помощь в расчете процента эквайринга и анализ средневзвешенной стоимости по операциям эквайринга.

VI. Заключение

Представление данных с использованием подхода когнитивной визуализации позволяет повысить эффективность обработки и анализа больших данных в промышленных приложениях.

В ходе дальнейших исследований планируется формализовать основные принципы обеспечения эффективности пользовательского интерфейса с точки зрения детализации данных, полноты и визуальной ясности.

Список литературы

[1] A.Gandomi and M.Haider, “Beyond the hype: Big data concepts, methods, and analytics”, International journal of information management. №. 35.2, 2015 - С. 137-144.

[2] A. Holzinger, “Extravaganza tutorial on hot ideas for interactive knowledge discovery and data mining in biomedical informatics”. Lecture Notes in Computer Science, 8609, 2014 - С. 502-515.

[3] A. Holzinger, “Interactive machine learning for health informatics: when do we need the human-in-the-loop? ”, Brain Informatics, Volume 3, Issue 2, 2016 - С. 119-131.

[4] “Digital Russia. New Reality”. Digital McKinsey, July 2017, 133 с. https://www.mckinsey.com/ru/our-work/mckinsey-digital.

[5] H. Kagermann, W. Wahlster and J. Helbig, “Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0”. Final report of the Industrie 4.0 Working Group, 2013 - 82 с.

[6] H. Lacy H.-G. Kemper, P. Fettke, T. Feld, M. Hoffmann “Industry 4.0”. Business & Information Systems Engineering 4 (6), 2014 - P. 239-242.

[7] J. Gubbi, J Gubbi, R Buyya, S Marusic, M Palaniswami, "Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions” Future generation computer systems, vol. 29.7. 2013 - С. 1645-1660.

[8] N. Bessis and C. Dobre, “Big Data and Internet of Things: A roadmap for smart environments ”, Berlin: Springer, 2014, 450 с.

[9] I. Witten, E Frank, M. Hall, C. Pal , “Data Mining: "Practical machine learning tools and technique”, Morgan Kaufmann, 2016.

[10] I.Ward, O. Matthew , G. Grinstein, D.Keim, “Interactive data visualization: foundations, techniques, and applications”, AK Peters/CRC Press, 2015.

Алгоритмы предварительной обработки нечетких данных медицинских обследований пациентов

Колоденкова А.Е.
ФГБОУ ВО Самарский государственный технический университет
Самара, Россия
anna82_42@mail.ru

Новокщенов С.Г.
ФГБОУ ВО Самарский государственный технический университет
Самара, Россия
sergeyn@samgtu.ru

Кецко Ю.Л.
ФГБОУ ВО Самарский государственный медицинский университет
Самара, Россия
kezko-motor@mail.ru

***Abstract* — This research work proposes a novel algorithms of processing fuzzy data gotten on medical examinations of patients in the hospital. These algorithms are based on the use of a set of binary masks of a set of examination parameter states, classified by parameter sets for each type of medical examination. The amount of medical examinations for patient in a hospital differs by a more comprehensive set of examinations and the amount of fuzzy data generated is significantly higher than in outpatient diagnostics. To solve problems associated with getting a clinical diagnosis, predicting the dynamics of a patient's clinical condition and the outcome of a patient's treatment based on medical screenings and examinations both at the initial stage and during treatment, coding / decoding algorithms are necessary (pre-compiling of a set of binary masks of a set of medical examination parameter states), classification (compiling binary classifiers of parameters for each type of examination) and building structured interconnected models and states of the diagnostic system throughout the entire patient treatment process. A diagnostic system is a set of methods, knowledge and algorithms for solving the problem of decision support in the clinical diagnostics of patients' diseases in a hospital or outpatient clinic. The methods and algorithms presented in the article allow pre-processing fuzzy data of medical examinations of patients in order to optimize and further use of fuzzy cognitive models and artificial intelligence methods. Also proposed is a method for the classification of medical examination parameters for applying the proposed algorithms.**

Ключевые слова — нечеткие данные, медицинское обследование, дифференциальная диагностика, алгоритмы обработки, нечеткие продукционные правила

I. Введение

Точная постановка диагноза является одной из основных задач в современной медицине и своевременно и правильно поставленный диагноз имеет огромное значение в дальнейшем лечении пациента и во многом способствует благоприятному исходу лечения пациента.

В медицине в ходе диагностики пациента применяются различные виды обследований, например, сбор анамнеза, лабораторная диагностика, функциональная диагностика и т.д. Все данные, собранные при диагностике, образуют *симптомокомплекс* пациента. С точки зрения информационных технологий симптомокомплекс – это, фактически, совокупность разнородных нечетких данных, для анализа и использования которых необходимы соответствующие методы и алгоритмы обработки.

Представленные в статье алгоритмы и методы решают начальную задачу по предварительной обработке разнородных нечетких медицинских данных, описывающих текущее состояние пациента и осуществляют взаимосвязь симптомов пациента с наиболее вероятными диагнозами, предоставляя возможность дальнейшего детального анализа данных с использованием методов искусственного интеллекта.

Решаемая в статье задача является актуальной, так как позволяет значительно сократить перечень вероятных диагнозов на основе данных обследования и предоставить возможность решения дальнейшей задачи комплексной дифференциальной диагностики.

II. Актуальность и анализ состояния проблемы

В настоящее время существует множество методов диагностики заболеваний, реализованных с помощью методов искусственного интеллекта, однако большинство из них решает задачи диагностики только определенных групп заболеваний (нозологических) или отдельных заболеваний [1-3]. В медицинской практике постановка диагноза иногда затруднительна по причине сложной совокупности синдромов, что указывает на ряд диагнозов, зачастую, несовместимых по лечению. В данном случае врач-диагност прибегает к методам дифференциальной диагностики с целью постановки точного диагноза [4]. Для решения задачи дифференциальной диагностики необходимы алгоритмы и методы сбора и обработки нечетких данных симптомокомплекса пациента [5].

Существует большое количество работ, которые посвящены обработке медицинских данных. Например, в ряде работ рассматриваются различные методы обработки данных, представленных в виде, графических изображений, полученных с помощью рентгенографии и МРТ [6] с дальнейшим использованием этих данных в диагностике. В статье [7] дается обзор истории методов искусственного интеллекта для анализа радиологического изображения. Однако, являясь очень актуальными, задачи распознавания графических медицинских данных решают только часть задачи общей диагностики и относятся к задачам сбора данных и формирования части симптомокомплекса.

Другим направлением работ является обработка нечетких данных, представленных на естественном

©2019 ИПУСС РАН, СамГТУ, IEEE

языке (*NLP – Natural Language Processing*). В данном случае интересны методы сбора диагностических данных. В статье [8] предложена каскадная иерархическая архитектура с использованием *LSTM* (сети долгой краткосрочной памяти) для автоматического сопоставления кодов МКБ-10 из клинических документов. В статье [9] также рассматривается применение *LSTM* для сбора диагностических данных на естественном языке. Решение задач сбора медицинских данных, представленных на естественном языке, существенно расширяет возможности по формированию обучающих данных для систем машинного обучения.

Основная сложность в реализации методов комплексной дифференциальной диагностики по полному перечню диагнозов МКБ-10 заключается в том, что возникает необходимость анализа и обработки больших объемов данных [9], что в свою очередь требует больших вычислительных мощностей. Таким образом, возникает актуальная задача предварительной быстрой и менее требовательной к ресурсам обработки нечетких данных с целью выделения основных необходимых данных для целевой задачи комплексной дифференциальной диагностики.

Алгоритмы, предлагаемые в данной статье, дают возможность составить карту симптомокомплекса пациента, карту симптомокомплекса для диагноза, провести обработку полученных данных для формирования предварительного перечня вероятных диагнозов, соответствующих карте симптомокомплекса пациента, снижая, тем самым, объем данных, необходимых для точной дифференциальной диагностики. Карты симптомокомплексов представляют собой целые числа, операции с которыми выполняются максимально эффективно при выполнении задачи формирования перечня вероятных диагнозов.

III. Постановка задачи и решения

Необходимо разработать алгоритмы, позволяющие производить предварительную дифференциальную диагностику заболеваний пациента на основе данных его обследований. На основании нечетких данных обследования пациента с помощью нечетко-продукционных правил сформировать карту симптомокомплекса пациента. Разработать алгоритм проверки соответствия карты симптомокомплекса пациента и карты симптомокомплекса заболевания (диагноза).

IV. Разработка алгоритмов

Для каждого вида диагностического обследования (ВДО) пациентов в медицине используется конечное количество показателей, объективно описывающих текущий результат обследования или медицинское заключение. Каждому параметру обследования соответствует его референтное значение (РЗ) – значение, которое является нормой у здорового человека. РЗ также может зависеть от ряда факторов, например, от возраста, веса, пола и т.д. Отклонение величины параметра, полученного при обследовании от РЗ является фактом выхода за референтную величину, что говорит о нарушении в состоянии пациента.

Выход значения параметра обследования за пределы РЗ не всегда говорит о конкретном патологическом процессе, однако при взаимосвязи с некоторыми другими параметрами обследования может точно указать на определенные симптомы конкретных заболеваний [10-13].

Так как каждый ВДО имеет конечное количество специфических параметров и соответствующих им РЗ, возможно создание карты отклонений от референтных значений (КОРЗ), показывающий наличие отклонений параметров, полученных при обследовании пациента от РЗ.

Для примера возьмем клинический анализ крови. Результатом данного анализа является набор из более 25 параметров. Отличие от РЗ показателей может характеризоваться как превышением значения, так и его понижением. В любом случае, отличие от РЗ может говорить о симптомах какого-либо заболевания.

Точные значения отклонений показателей от РЗ необходимы для задачи точной диагностики, однако в задаче отбора потенциально вероятных диагнозов достаточно использование только факта отклонения, причем неважно в какую сторону – в большую или меньшую.

Нормальное значение показателя обследования для здорового пациента в зависимости от РЗ должно соответствовать условию:

$$R_{min} \le X \le R_{max}, \quad (1)$$

где X – показатель обследования, $R_{\min}$ – минимальная граница диапазона для показателя РЗ, $R_{\max}$ – максимальная граница диапазона для показателя РЗ.

Отклонением показателя обследования от РЗ будет считаться невыполнение приведенного в (1) условия, что означает наличие факта отклонения показателя от РЗ. Формально, фиксация факта отклонения конкретного показателя от его РЗ выражается следующим образом:

$$\text{ЕСЛИ } (R_{p\,\min} \le X_p \le R_{p\,\max}), \text{ ТО } F_p = 0, \text{ ИНАЧЕ } F_p = 1, \quad (2)$$

где p – наименование показателя обследования, X_p – соответствующая наименованию величина показателя обследования, $R_{p\ \min}$ – минимальная граница диапазона РЗ для наименования показателя, $R_{p\ \max}$ – максимальная граница диапазона РЗ для наименования показателя, F_p – факт наличия отклонения показателя обследования с наименованием p от его РЗ; принимает только два значения: 1 – в случае наличия факта отклонения, 0 – в случае отсутствия факта отклонения.

Для дальнейшей правильной интерпретации всех показателей для ВДО и правильного формирования КОРЗ необходимо зафиксировать для каждого наименования показателя обследования его порядковый числовой индекс, начиная с нуля. Это позволит сформировать двоичную битовую маску – двоичное числовое представление КОРЗ для конкретного ВДО (КОРЗ-ВДО), по которому и проводится предварительная диагностика пациента. Индексы показателей для всех возможных ВДО должны быть

зафиксированы и постоянны как одно из основных условий работы алгоритма.

Для определения алгоритма формирования КОРЗ-ВДО в качестве примера возьмем несколько наименований показателей клинического анализа крови: *WBC* – абсолютное содержание лейкоцитов, *RBC* – абсолютное содержание эритроцитов, *HGB* – концентрация гемоглобина в цельной крови, *HCT* – гематокрит, *PLT* – абсолютное содержание тромбоцитов, *MCV* – средний объем эритроцита в кубических микрометрах (мкм) или фемтолитрах (фл), *MCH* – среднее содержание гемоглобина в отдельном эритроците в абсолютных единицах (пикограмм, *pg*), *LYM* – относительное (%) содержание лимфоцитов, *PCT* – доля (%) объема цельной крови, занимаемая тромбоцитами, *ESR* – скорость оседания эритроцитов. Обозначим РЗ для перечисленных выше наименований показателей (таблица I), причем РЗ, представленные в таблице выбраны для группы пациентов: возраст 18-45 лет, пол мужской.

ТАБЛИЦА I. РЕФЕРЕНТНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КЛИНИЧЕСКОГО АНАЛИЗА КРОВИ, ПОЛ: МУЖСКОЙ, ВОЗРАСТНАЯ ГРУППА: 18-45 ЛЕТ

Показатель	**Референтное значение**	**Показатель**	**Референтное значение**
WBC, $x10^9$ кл/л	4.0 – 10.0	PLT, $x10^9$ кл/л	100 - 300
RBC, $x10^{12}$ кл/л	4.3 – 5.7	MCV, фл	80 - 99
HGB, г/л	132 - 173	MCH, pg	27 - 34
HCT, %	39 - 49	LYM, %	20 - 40
PCT, %	0.108-0.282	ESR, мм/ч	2 - 15

Индексы для наименований показателей присваиваются последовательно, начиная с нуля и главным условием в данном случае является необходимость соблюдения соответствий индексов показателей в результатах обследований пациентов и таблицах референтных значений. Сформированная таблица показателей для клинического анализа крови будет выглядеть следующим образом (таблица II).

ТАБЛИЦА II. ТАБЛИЦА СООТВЕТСТВИЯ ИНДЕКСОВ НАИМЕНОВАНИЯМ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДЛЯ КЛИНИЧЕСКОГО АНАЛИЗА КРОВИ

9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
WBC	RBC	HGB	HCT	PCT	PLT	MCV	MCH	LYM	ESR

Формирование КОРЗ-ВДО осуществляется по следующему алгоритму:

1) формирование полного списка всех возможных показателей для вида обследования и присвоение каждому показателю порядкового индекса, начиная с нуля;

2) соответственно каждому индексу показателя проверяется его РЗ по условию (2) с соответствующим этому индексу показателем результата обследования пациента;

3) полученный результат из условия (2) сохраняется соответственно индексу в таблицу (3), где «Результат» заполняется данными из условия (2), а «Индекс» соответствует конкретному показателю в ВДО согласно таблице III:

ТАБЛИЦА III. ТАБЛИЦА ФАКТОВ ОТКЛОНЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ВДО ОТ РЗ ВДО

Индекс	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Результат										

4) сформированная в шаге 3 таблица преобразуется в числовое представление двоичной битовой маски КОРЗ-ВДО по следующей формуле:

$$M = \sum_{i=0}^{Pc} 2^i \cdot R_i \qquad (3)$$

где i – индекс соответствующего показателя, Pc – количество показателей, R_i – результат, полученный в шаге 3, M – двоичная битовая маска КОРЗ-ВДО пациента.

Согласно приведенному алгоритму происходит кодирование результатов обследования по ВДО пациента и представление этих результатов в виде целого числа, которое по смыслу является КОРЗ-ВДО пациента и используется в дальнейшей проверке результатов обследования на соответствие группе диагнозов, в которых факты зафиксированных отклонений от РЗ являются признаками наличия соответствующих заболеваний у пациента.

Для того, чтобы провести проверку на соответствие диагнозам, необходимо составление КОРЗ для диагноза (КОРЗ-Д). КОРЗ-Д составляется по такому же алгоритму, как и КОРЗ-ВДО, только в качестве «Результата» в алгоритме для шагов 2 и 3 используются специфические факты отклонений показателей ВДО от нормы. В КОРЗ-Д индексы показателей ВДО должны соответствовать индексам показателей ВДО проводимых обследований.

Для случаев, когда заболевание диагностируется по нескольким ВДО, КОРЗ-Д будет содержать несколько битовых масок, соответствующих каждому ВДО, необходимому для диагностики заболевания. То же самое касается КОРЗ-ВДО пациента – формируется совокупность битовых масок для каждого ВДО, проведенных пациенту.

Алгоритм проверки соответствия отклонений в состоянии здоровья пациента к возможным диагнозам (Алгоритм диагностики) основан на битовой алгебре. Все отклонения показателей ВДО пациента, сформированные по алгоритму КОРЗ, представляют собой целые числа и основой определения соответствия КОРЗ-ВДО пациента и КОРЗ-Д являются бинарные поразрядные логические операции над целыми числами.

Основной математической операцией, используемой в алгоритме диагностики, является поразрядное логическое «И», обозначаемое оператором «&». В отличие от простого логического «И», поразрядное логическое «И» производит логическую операцию над каждым двоичным разрядом целого числа. Поскольку используется операция поразрядного логического «И» в качестве основы в алгоритме, КОРЗ представляет собой именно совокупность битовых масок.

Общий алгоритм диагностики выглядит следующим образом:

1) для всех диагнозов из базы данных, для которых сформирована КОРЗ-Д, производится выборка всех битовых масок КОРЗ, соответствующих видам обследований;

2) для каждой КОРЗ-Д, соответствующей виду обследования, берется соответствующий КОРЗ-ВДО пациента и сравнивается согласно формуле (4):

$$P_d = M_{d\,\text{ВДО}} \,\&\, M_{p\,\text{ВДО}}, \quad (4)$$

где P_d – вероятный факт наличия заболевания по соответствующему виду обследования, $M_{d\,\text{ВДО}}$ – битовая маска КОРЗ-Д по виду обследования, $M_{p\,\text{ВДО}}$ – битовая маска КОРЗ-ВДО пациента по виду обследования. Результатом вычисления по данной формуле будет 0 в случае, если диагноз не соответствует совокупности отклонений в ВДО пациента, и не нулевое значение, когда диагноз вероятен. Наиболее вероятным по виду обследования считается диагноз, если результат P_d равен $M_{d\,\text{ВДО}}$;

3) на основании шага 2 формируется список диагнозов, которые вероятны на основании обследований пациента. Причем степень вероятности в данном случае косвенно зависит от количества ВДО, в которых подтвердился диагноз;

4) если диагноз считается вероятным по ряду ВДО пациента, то производится проверка на наличие отсутствующих у пациента необходимых для подтверждения или опровержения диагноза дополнительных ВДО, необходимых для прохождения;

5) формируется список вероятных диагнозов, соответствующих им ВДО, на основании которых конкретный диагноз вероятен, список рекомендаций для дополнительного диагностического обследования для подтверждения или опровержения соответствующего диагноза.

Алгоритм диагностики предоставляет возможность формирования списка наиболее вероятных заболеваний у пациента на основании его диагностических обследований, либо определения наиболее вероятной группы заболеваний (нозологии).

В качестве примера работы представленных алгоритмов, приводится клинический анализ крови, где превышены показатели *HGB* (гемоглобин) – 195 г/л и *ESR* (скорость оседания эритроцитов) – 17, а остальные показатели в пределах РЗ:

1) формируем КОРЗ-ВДО: для индексов 7 и 0, соответствующего наименованиям параметров *HGB* и *ESR* фиксируем, согласно условию (2) факт отклонения показателей от РЗ (таблица IV). Далее формируем числовое значение КОРЗ-ВДО пациента, согласно формуле (3), получаем КОРЗ-ВДО равный 129;

ТАБЛИЦА IV. ФАКТ ОТКЛОНЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ОТ РЗ

Индекс	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Наимен.	WBC	RBC	HGB	HCT	PCT	PLT	MCV	MCH	LYM	ESR
Результат	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1

2) по алгоритму диагностики на основании соответствующих КОРЗ-Д определяем, что отклонение от РЗ гемоглобина и скорости оседания эритроцитов характерно для следующих заболеваний (таблица V).

ТАБЛИЦА V. ФОРМИРОВАНИЕ РЕЗУЛЬТАТАТОВ ДИАГНОСТИКИ И РЕКОМЕНДАЦИИ СОГЛАСНО АЛГОРИТМА ДИАГНОСТИКИ

Диагноз: Эритроцитоз				
ВДО	**КОРЗ-Д**	**&**	**КОРЗ-ВДО**	**Результат**
КАК	0010000001	&	0010000001	0010000001
УЗИ	010000		-	-
Рекомендация: Уточняющее обследование УЗИ				
Диагноз: Анемия				
ВДО	**КОРЗ-Д**	**&**	**КОРЗ-ВДО**	**Результат**
КАК	0010000001	&	0010000001	0010000001
Диагноз: Полицитемия				
КАК	0011000100	&	0010000001	0010000001
УЗИ	0100001100		-	-
Рекомендация: Уточняющее обследование УЗИ				

[a.] Данные в колонках КОРЗ-Д, КОРЗ-ВДО и Результат представлены в двоичной системе счисления

Согласно таблице, определено соответствие трех вероятных диагнозов на основании клинического анализа крови (КАК), рекомендовано уточняющее дополнительное обследование пациента с помощью ультра-звукового исследования (УЗИ) для более точных результатов. Из таблицы видно, что результатом поразрядного «И» между КОРЗ-Д и КОРЗ-ВДО пациента у соответствующих диагнозов ненулевое значение, что и объясняет соответствие диагноза. Однако из таблицы видно, что полное соответствие в результатах выделяется по специфическим показателям КОРЗ-Д только диагнозы эритроцитоз и анемию, что вполне соответствует истине, так как при этих заболеваниях есть характерное изменение показателей *HGB* и *ESR*, только при анемии HGB изменяется в меньшую сторону, а при эритроцитозе – в верхнюю. При обоих заболеваниях *ESR* повышается. Диагноз полицитемия в рамках дифференциальной диагностики также требует дополнительного обследования с целью исключения, но на основании как один из специфических показателей для этого диагноза находится в пределах РЗ – HCT с индексом 6, что говорит о меньшей вероятности этого диагноза относительно первых двух.

Для видов обследования, результатом которых являются заключения, выполненные на естественном языке, данные также могут быть формализованы по факту отклонения от нормы и представлены в виде битовых масок КОРЗ.

Не имеет значения в каком порядке будут назначены индексы для каждого наименования показателя ВДО в КОРЗ. Главным условием является совпадение индексов для каждого наименования ВДО в КОРЗ-Д и КОРЗ-ВДО в рамках одной медицинской экспертной системы, в составе которой применяются описанные здесь алгоритмы.

Диапазоны РЗ могут отличаться в различных медучреждениях и это зависит, главным образом, от используемого измерительного лабораторного оборудования, применяемых химических реагентов и методов расчета показателей. В данном случае, при использовании алгоритмов, описываемых в данной статье, необходимо внесение коррекции РЗ для конкретного вида обследования. Также РЗ может зависеть от физиологических особенностей пациента, что также требует внесения коррекции РЗ с учетом особенностей пациента, либо неоднократное проведение ВДО с целью выяснения особенностей пациента и внесение коррекции РЗ индивидуально в КОРЗ пациента. Повторение того или иного обследования несколько раз с интервалом по времени является обычной практикой в медицинской диагностике с целью определения индивидуальных особенностей пациента.

Сбор данных и формирование КОРЗ-Д может быть реализовано с помощью ручного ввода с помощью соответствующих программных средств, либо с применением автоматизированных систем анализа и сбора медицинских данных. КОРЗ-ВДО пациента формируется с помощью автоматизированного анализа данных обследования пациента или ручным вводом в интерфейсе экспертной системы, в составе которой используются описанные алгоритмы.

V. Примеры практического применения алгоритмов КОРЗ

Представленные в статье алгоритмы входят в состав экспертной системы для расчета необходимой пациенту нутритивной поддержки (НП) и опробованы в клиниках Самарского медицинского университета в отделении реанимации и интенсивной терапии (ОРИТ). Основная задача, решаемая с помощью алгоритмов КОРЗ является определение факта необходимости НП на основании проведенных обследований.

Для решения задачи составлен КОРЗ-ВДО скрининговых обследований пациента (СОП), на основании которых врачом принимается решение о НП (Таблица VI):

ТАБЛИЦА VI. КОРЗ-ВДО скрининговых обследований пациента в ОРИТ

Наименование параметра КОРЗ-ВДО СОП	**Порядковый индекс в маске КОРЗ-ВДО**	**Диапазон РЗ**
Индекс массы тела	0	[18,5; 24,99]
Шкала MUST	1	[0; 1]
NRS-2002	2	[0; 1]
MNA	3	[13; 100]
Оценка выраженности БЭН	4	[0; 1]
Шкала SOFA	5	[0; 1]
Шкала ком Глазго	6	[15; 20]
Шкала Apache II	7	[0; 1]
Шкала Nutric	8	[0; 2]

Наименования параметров КОРЗ-ВДО СОП (левая колонка таблицы VI) являются утвержденными видами обследований пациентов и утверждены решением профильной комиссии Министерства здравоохранения РФ анестезиологии и реаниматологии в 2013 году.

Согласно таблице, решение о необходимости НП принимается в случае, если хотя бы один из параметров КОРЗ-ВДО находится вне своих РЗ.

В качестве примера решения задачи рассмотрим клинический пример: пациент 1954 года рождения после перенесенного инфекционного заболевания отмечается потеря аппетита и снижение массы тела. Лечащим врачом проведено СОП, на основании которого составлен КОРЗ-ВДО СОП (таблица VII):

ТАБЛИЦА VII. КОРЗ-ВДО СОП пациента

Индекс	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Результат обследования	0	0	15	0	2	8	0	2	21,63
Факт отклонения от РЗ	0	0	0	0	1	1	0	1	0
КОРЗ-ВДО СОП	1	1	1	1	1	1	1	1	1

По результатам СОП, согласно информации из истории болезни пациента, лечащим врачом назначена НП с использованием энтеральных смесей. Результатом работы экспертной системы по алгоритму КОРЗ является рекомендация о необходимости назначения НП с еженедельным повтором СОП, что соответствует назначению врача. Особенностью данного пациента является то, что необходимость НП неочевидна: индекс массы тела, равный 21,63 в таблице VII, находится в пределах нормы, хотя имеется факт снижения массы тела пациента на основании анамнеза.

Другой клинический пример: пациент 1969 года рождения с диагнозом сепсис находится на медикаментозной терапии в ОРИТ. Состояние пациента средней тяжести и необходимость НП является очевидным фактом, однако врач проводит СОП. Результат приведен в таблице VIII:

ТАБЛИЦА VIII. КОРЗ-ВДО СОП пациента

Индекс	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Результат обследования	5	20	13	8	2	9	2	2	16,53
Факт отклонения от РЗ	1	1	1	1	1	1	1	1	1
КОРЗ-ВДО СОП	1	1	1	1	1	1	1	1	1

В данном случае результатом оценки ситуации экспертной системой является рекомендация о необходимости НП.

Помимо необходимости в НП СОП дает информацию врачу о степени выраженности различных факторов в состоянии пациента, на основании которых принимается решение о способах дальнейшего лечения, диагностирования и интервалах последующих диагностирований.

Всего в рамках клинического тестирования по алгоритму КОРЗ проведено 73 исследования с результатами, совпадающими с заключениями лечащего врача.

В дальнейшем планируется на базе алгоритма КОРЗ в экспертной системе для ОРИТ практическая реализация

задачи определения оптимальных наборов питательных смесей с учетом нозологий сопутствующих заболеваний, что позволит более точно рассчитывать необходимый пациентам состав микро- и макронутриентов, оптимальное соотношение белковых и небелковых калорий, а также необходимую общую энергетическую ценность питания (калораж). В настоящее время эти параметры в зависимости от нозологий сопутствующих заболеваний рассчитываются с применением общих поправочных коэффициентов по нозологической группе диагнозов.

Рассмотренные примеры иллюстрируют возможности алгоритмов КОРЗ по формированию рекомендаций о необходимости НП на основании ВДО пациентов. На основании результата для дальнейших расчетов в экспертной системе используются те данные ВДО, результаты которых находились вне диапазонов их РЗ. Полученный практический результат в ОРИТ, совпадающий в 100% случаев с фактическими заключениями лечащих врачей, говорит о высокой эффективности применения представленных в статье алгоритмов.

VI. Заключение

Представленные в статье метод обработки нечетких данных обследований пациентов, составление КОРЗ диагнозов, формирование КОРЗ пациента, алгоритм формирования перечня вероятных диагнозов является важной и актуальной задачей предварительной оценки и диагностики состояния пациента.

Алгоритм позволяет на начальном этапе осуществлять предварительную дифференциальную диагностику и исключение потенциально невозможных диагнозов из полного перечня. Алгоритм является первым шагом в решении задачи комплексной дифференциальной диагностики, предоставляя оптимальный набор данных для дальнейшей обработки методами искусственного интеллекта.

Благодаря использованию КОРЗ, построенных на битовых масках, алгоритм способен без особых затрат ресурсов вычислительной системы формировать перечень вероятных диагнозов с большой скоростью, так как битовые операции над целыми числами выполняются с максимальной производительностью. Возможна реализация алгоритма средствами языка *SQL*, что позволяет провести предварительную диагностику средствами СУБД, что является преимуществом.

Возможно расширение метода классификации и составления КОРЗ диагнозов формированием дополнительных битовых масок, отражающих, например, взаимосвязь различных показателей обследования между собой.

Представленный алгоритм очень прост в реализации и может быть использован в СППР как инструмент предварительной дифференциальной диагностики на основе данных обследования.

Список литературы

[1] Liu N., Qi E.-S., Xu M., Gao B., Liu G.-Q. A novel intelligent classification model for breast cancer diagnosis // Information Processing and Management, 2019. Vol. 56. - P. 609-623.

[2] De Lima Marinho C., Maioli M.C.P., Do Amaral J.L.M., Lopes A.J., De Melo P.L. Respiratory resistance and reactance in adults with sickle cell anemia: part 2-Fractional-order modeling and a clinical decision support system for the diagnosis of respiratory disorders // PLoS ONE, 2019. Vol. 14. e0187833.

[3] Lins A.J.C.C., Muniz M.T.C., Bastos-Filho C.J.A. Comparing Machine Learning Techniques for Dementia Diagnosis // IEEE Latin American Conference on Computational Intelligence (LA-CCI), 2018. - P. 1-6.

[4] Tsumoto S., Hirano S. Formalization of medical diagnostic rules // Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics), 2015. - P. 24-35.

[5] Lucchiari C., Pravettoni G. Cognitive balanced model: A conceptual scheme of diagnostic decision making // Journal of Evaluation in Clinical Practice, 2012. Vol. 18(1). - P. 82-88.

[6] Das V., Dandapat S., Bora P.K. A novel diagnostic information based framework for super-resolution of retinal fundus images // Computerized Medical Imaging and Graphics, 2019. Vol. 72. - P. 22-33.

[7] Savadjiev P., Chong J., Dohan A., Vakalopoulou M., Reinhold C., Paragios N., Gallix B. Demystification of AI-driven medical image interpretation: past, present and future // European Radiology, 2019. Vol. 29. - P. 1616-1624.

[8] Aza S.S., Raju M., Pagidimarri V., Kasivajjala V.C. Cascadenet: An LSTM based deep learning model for automated ICD-10 coding // Lecture Notes in Networks and Systems, 2020. - P. 55-74.

[9] Dilsizian S.E., Siegel E.L. Artificial intelligence in medicine and cardiac imaging: Harnessing big data and advanced computing to provide personalized medical diagnosis and treatment // Current Cardiology Reports, 2014. Vol. 16(1). - P. 441.

[10] Маколкин В.И., Сулимов В.А., Овчаренко С.И. Внутренние болезни: учеб. - М: ГЭОТАР-Медиа, 2017. - 768 с.

[11] Кишкун А.А. Руководство по лабораторным методам диагностики. - М: ГЭОТАР-Медиа, 2014. - 760 с.

[12] Щекотов В.В., Голубев А.Д., Спасский А.А. Дифференциальная диагностика внутренних болезней. - М: ГЭОТАР-Медиа, 2018. - 928 с.

[13] Клиническая лабораторная диагностика (методы и трактовка лабораторных исследований) / под. ред. В.С. Камышникова. - М: МЕДпресс-информ, 2017. - 720 с.

Гибридная система управления работой мобильных бригад осуществляющих качественный регламентный и сервисный ремонт в реальном времени

Лада А.Н.
ООО НПК «Интеллектуальные Транспортные Системы», ФГБУН «ИПУСС РАН»
Самара, Россия
lada@kg.ru

Гафаров Р.Р.
ФГБУН «Самарский научный центр РАН»
Самара, Россия
gafarov@smr.ru

***Abstract* — The actual task of managing worker teams engaged in the maintenance of wells in oil and gas production has been analyzed and is being proposed. Such maintenance service usually has: a regular set of orders for overhaul repairs, an operational dispatch center for current urgent work and specially equipped crews of employees traveling on special vehicles or by foot, who carry out the work. Orders are characterized by the priority of the work (medium / important / critical), the venue and the time window of the work. The main criterion for optimization is the priority of the work, then minimization of the velocity between the work points. For solving the problem it was proposed to use different methods of solution at each stage. For the static stage, when only regular orders are known, the classic Hungarian linear programming method is used. For the dynamic stage, when real-time data begin to arrive, the multi-agent method based on a network of needs and opportunities is used. As a result of this combination the intelligent management system was developed to solve the problem. This system is successfully used for managing Samara region Gas Company and was also tested on the real data of a large oil company in Gazpromneft divisions, engaged in the maintenance and repair of wells. The experts who tested the system gave a high positive mark of it work result.**

Ключевые слова — управление мобильными бригадами, качественный ремонт и сервис, задача о назначениях, интеллектуальные системы, управление в реальном времени

I. Введение

Рассматривается актуальная задача управления качественным ремонтом и сервисом различного рода инфраструктурных объектов в нефтегазовой, производственной, архитектурно-строительной и других сферах с использованием мобильных бригад и спец оборудования для проведения работ. Данная задача является задачей многокритериальной оптимизации, поскольку объективных и субъективных факторов, влияющих на срок выполнения и качество проводимых работ на таких предприятиях достаточно много. Как правило, сервисные службы, обслуживающие предприятие, имеют: регламентный набор заявок на ремонт, оперативный сервисный центр приема заявок по текущим срочным работам и специально оснащенные бригады сотрудников, передвигающиеся на спец транспорте или пешим порядком, которые осуществляют выезд и производят работы на объекте. Заявки характеризуются приоритетом выполнения (средняя/важная/критическая), местом проведения и временным окном выполнения работы. В качестве основного критерия оптимизации выступает приоритет и качество выполняемой работы, затем минимизация длины пути маршрута бригады по объезду точек выполнения работ. Задача изначально восходит к известной классической задаче коммивояжера [1]. Тем не менее конкретная многокритериальная постановка не имеет известных методов решения. Для решения предлагается использовать гибридный метод с использованием разных методов на каждой стадии. Для статической стадии, когда известны только регламентные заявки, использовать классический метод линейного программирования – венгерский алгоритм [2], а для динамической, когда начинают поступать данные реального времени – мультиагентный метод на основе сети потребностей и возможностей [3]. В результате такой комбинации была разработана интеллектуальная система управления [4], которая используется для управления аварийной газовой диспетчерской службой Самарской области [5], а также была испытана на реальных данных крупной нефтяной компании [6] одного из подразделений ПАО «Газпром нефть», занимающейся обслуживанием и ремонтом скважин, эксперты которой высоко оценили качество сгенерированных системой решений на основе многомерного исследования показателей [7].

II. Постановка и метод решения задачи начального планирования сервисных работ

Пусть имеется набор регламентных заявок O_i, $i = 1, n$. Каждая заявка характеризуется пунктом проведения и плановым временем выполнения работ. Имеется набор мобильных ресурсов (бригады в составе людей и оборудования) R_j, $j = 1, m$. Каждая бригада имеет фиксированный сменный график работы, т.е. для каждого ресурса R_j, задано ежесуточное временное окно $[Ts_k^j; Tf_k^j]$ $k=1, p$ доступности этого ресурса для работы над заявками, где p количество заданных смен для ресурса R_j. Местоположение каждой бригады в момент начала каждой смены Ts_k^j задается на базе. Расстояния между всеми пунктами известны. Все заявки имеют одинаковый (регламентный) приоритет выполнения и

Статья подготовлена на основе материалов научных исследований в рамках Госбюджетной темы ИПУСС РАН № АААА-А19-119030190053-2 «Разработка и исследование методов и средств аналитического конструирования, компьютерного представления знаний, вычислительных алгоритмов и мультиагентных технологий в задачах оптимизации процессов управления сложными системами»

©2019 ИПУСС РАН, СамГТУ, IEEE

любой ресурс может исполнить любой заказ. Требуется составить сменно суточный план работы для каждой бригады R_j, выполнения всех заявок O_i, при котором суммарный переезд между заявками минимален.

Для задачи строится матрица А допустимых назначений, в которой строки соответствуют *n* заказам O_i, а столбцы – m*p сменам ресурсов R_k^j. В ячейку матрицы, соответствующую назначению $O_iR_k^j$, записывается длительность переезда D_{ijk} из текущего пункта нахождения R_k^j к заказу O_i. Будем предполагать, что длительность выполнения самих работ заранее не известна и принимается худший случай, когда ни один из ресурсов R_k^j за свою смену не успеет выполнить более одного заказа O_i. Получим матрицу назначений вида:

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} D_{1,1,1} & \cdots & D_{1,m,1} | D_{1,1,2} \cdots D_{1,m,p} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ D_{n,1,1} & \cdots & D_{n,m,1} | D_{n,1,2} \cdots D_{n,m,p} \end{bmatrix} \quad (1)$$

Если рассматривать случай, при котором время выполнения работ заранее можно оценить, то у каждой смены ресурсов R_k^j появляется возможность выполнить несколько заказов за смену при этом построить матрицу назначений для этой задачи также возможно, если дополнить её «виртуальными» ресурсами, освобождающимися после выполнения первоначальных заказов A_{ext} для цикличной задачи вида:

$$\mathbf{Aext} = \begin{bmatrix} D_{1,1,1} & \cdots & D_{1,m,1} | D_{1,1,2} \cdots D_{1,m,p} | Do_{1,1} \cdots Do_{1,n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ D_{n,1,1} & \cdots & D_{n,m,1} | D_{n,1,2} \cdots D_{n,m,p} | Do_{n,1} \cdots Do_{n,n} \end{bmatrix} \quad (2)$$

где в дополнительных колонках расширенной матрицы A_{ext} указан переезд от заказа O_i к заказу O_j, т.е. матрица расширяется за счет «виртуальных» ресурсов, освобождающихся после выполнения первоначальных заказов. Но поскольку заранее неизвестно, какой именно ресурс будет выбран на первоначальный заказ, то нельзя проверить, успеет ли он выполнить этот заказ в свою рабочую смену и отбросить недопустимое назначение. Данную проверку придётся осуществлять после построения первоначального плана.

Построив матрицу допустимых назначений и обозначив тем самым пространство возможных решений, можно полагать, что задача нахождения начального плана сводится к задаче поиска такого назначения, при котором суммарное время переезда для всех ресурсов по всем назначенным заказам будет минимальным при максимальном числе назначенных заказов [8].

III. Пример решения задачи построения начального плана

Для решения задачи построения начального плана рассмотрим пример планирования четырех заказов O_1, O_2, O_3 и O_4 и одного ресурса с двумя сменами R_1^1 и R_2^1. Матрица назначений представлена в таблице I.

Поясним представленные в таблице данные. Поскольку каждая смена ресурса всегда начинается на базе, то переезды ко всем заказам для первой и второй смены будут одни и те же, поэтому первые две колонки в матрице совпадают. Далее следует расширенная матрица ресурсов после выполнения предыдущих заказов, она симметрична относительно диагонали, поскольку расстояния туда и обратно совпадают. По диагонали указаны пустые значение, назначение в эти ячейки по понятным причинам не допустимы. Оптимальное назначение, найденное венгерским алгоритмом, в матрице выделено, запишем его: $R_1^1O_1$, $R_2^1O_3$, RO_1O_2, RO_3O_4. Интерпретируем полученное назначение в виде сменно суточного плана для каждой R_1^1 и R_2^1. R_1^1 выполняет заказ O_1, затем O_2, а R_2^1 выполняет заказ O_3, затем O_4. При этом необходимо проверить, успевает ли ресурс выполнить за смену два заказа. Если да, то получен оптимальный план, в противном случае назначение, которое не допустимо, придётся аннулировать и решить задачу повторно, например, пусть ресурс R_2^1 не успеет выполнить заказ O_4, тогда мы исключим это назначение из матрицы и получим новое решение в таблице II.

ТАБЛИЦА I. МАТРИЦА НАЗНАЧЕНИЙ

	R_1^1	R_2^1	RO_1	RO_2	RO_3	RO_4
O_1	**1**	1		4	3	5
O_2	3	3	**4**		5	4
O_3	2	**2**	3	5		2
O_4	3	3	5	4	**2**	

ТАБЛИЦА II. ИЗМЕНЕННАЯ МАТРИЦА НАЗНАЧЕНИЙ

	R_1^1	R_2^1	RO_1	RO_2	RO_3	RO_4
O_1	**1**	1		4	3	5
O_2	3	3	**4**		5	4
O_3	2	**2**	3	5		2
O_4	3	3	5	**4**		

Получено новое решение вида: $R_1^1O_1$, $R_2^1O_3$, RO_1O_2, RO_2O_4. Интерпретируем полученное назначение в виде сменно суточного плана: R_1^1 выполняет заказ O_1, затем O_2 и O_4, а R_2^1 выполняет только заказ O_3. Данный план в свою очередь придётся проверить на допустимость, если, например, R_1^1 не успеет выполнить за смену три заказа, можно попробовать аннулировать и это назначение и решить задачу еще раз.

IV. Метод решения задачи динамического перепланирования по фактическим событиям

Задача построения динамического плана по фактическим событиям в реальном времени является более сложной нежели статическая задача построения начального плана. В такой задаче подразумевается, что ее условия могут произвольно динамически меняться походу течения времени, могут добавиться новые более срочные заказы, отмениться или измениться часть уже известных заказов, могут стать недоступными ресурсы, но чаще всего могут возникать задержки при выполнении уже существующего плана, что требует его адаптивной перестройки [9]. Поэтому требуется расширить постановку начальной задачи. Будем считать, что дополнительно к первоначальному плану имеется поток аварийных заявок O_i^z, где $z = 1, q$ есть срочность

выполнения (чем больше *z,* тем важнее заявка). Имеется поток внешних событий E_i, об отмене или изменении ранее поступивших заявок и факты от ресурсов, которые посредством мобильной связи передают данные о фактическом времени выезда, начале и окончании работ по заявкам. В каждый момент времени известны только те заказы и внешние события, которые поступили до этого момента времени. Требуется в каждый момент получения нового заказа или внешнего события адаптивно перестраивать имеющийся план по ресурсам с учетом срочности заявок, где любая заявка с более высоким приоритетом важнее любой с более низким (здесь важно пояснить при поступлении заявки с более высоким приоритетом нужно адаптивно назначить на неё ресурс, который в этот момент ближе всего к ней находится даже если он уже в пути на другую заявку, но еще не начал фактическое выполнение работ). Также есть приоритет времени поступления заявки, т.е. из двух заявок с одинаковым приоритетом важнее та что поступила раньше. При этом во вторую очередь также необходимо снизить суммарный переезд всех ресурсов. Заявки, которые не удается по факту выполнить в текущую суточную смену ресурсов, переносятся на последующие, где они становятся основой для построения нового начального плана.

Для решения применяется подход, основанный на сопоставлении заказам и ресурсам программных агентов с их локальными и зачастую противоположными интересами, способных реагировать на изменения состава заказов и ресурсов, выявлять конфликты в расписании, принимать решения и взаимодействовать между собой для разрешения конфликтов и поиска компромиссов путём переговоров (взаимных уступок), что позволяет находить согласованные решения и поддерживать баланс интересов агентов в интересах всей системы, которая в общем случае представляет многокритериальную целевую функцию *F*. С каждым ресурсом R_k^j связан агент ресурса, с каждой заявкой O_i – агент заявки. Агенты могут отправлять и получать сообщения и принимать решения согласно своей логике и текущей ситуации, которая определяется состоянием каждого агента. Текущие состояния агентов изменяются в моменты поступления заказов и внешних событий. При поступлении новой заявки O_i^z его агент рассылает запрос на размещение на агентах ресурсов, которые анализируют свое текущее состояние, рассчитывают и предлагают для нее свое время переезда с учетом времени окончания работ над уже начатыми по факту заявками согласно формуле: $T_{ijk}^z = To_c^{jk} + Do_{ci}^z$, где *c* – индекс текущего выполняемого заказа ресурсом R_k^j, To_c^{jk} – длительность его выполнения относительно текущего момента времени. Do_{ci}^z – длина переезда от текущей заявки ресурса O_c к заявке O_i^z. Агент заявки O_i^z рассматривает для себя ресурс с минимальным переездом, но при этом сравнивает свой приоритет *z* с приоритетами всех уже имеющихся в последующем плане этого ресурса заявок. Если все уже имеющиеся в плане заказы приоритетом ниже, тогда заказ забирает себе данный ресурс. Если в последующем плане ресурса существует хотя бы один заказ с более высоким приоритетом или точно таким же, но с более ранним временем поступления заказа, тогда происходит перезапрос времени переезда по данному ресурсу, но уже после выполнения им этих заказов. Агент заявки O_i^z вновь рассматривает для себя ресурс с минимальным переездом и вновь проверяет приоритеты, в случае выбора ресурса происходит перестройка его последующего расписания и все ранее запланированные после текущей заявки становятся не распределенными и пробуют разместиться в следующем цикле планирования. В случае улучшения глобальной целевой функции *F*, новый вариант расписания принимается в качестве текущего. Целевая функция планирования *F* определяет суммарный переезд всех ресурсов D_{ijk}, при максимальном числе запланированных заявок согласно их приоритетам.

$$\Phi = \{P_q \to max, P_{q-1} \to max, \dots P_1 \to max,$$

$$\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m}\sum_{k=1}^{p} D_{i,j,k} \to min, \qquad (3)$$

где P_q – общее число запланированных заказов с максимальным приоритетом, *i=1, n* – индексы размещенных заказов. В случае улучшения *F*, текущий вариант распределения заявок по ресурсам принимается в качестве рабочей версии плана, после чего агенты плохо размещенных заявок (вначале те, что вовсе не размещены), пробуют улучшить свое положение на ресурсах за счет переговоров с другими заявками и ресурсами, если в результате этих переговоров глобальная целевая функция улучшилась, новая версия плана принимается в качестве рабочей и процесс повторяется до тех пор пока не перестанут поступать новые внешние события или новые переговоры не будут приводить к глобальному улучшению.

V. Пример решения задачи динамического перепланирования по фактическим событиям

Рассмотрим построенный в пункте III начальный план и представим его графически на рис. 1.

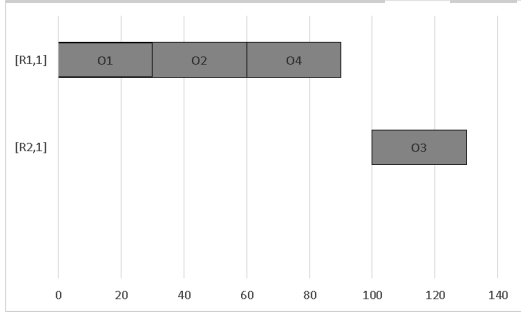


Рис. 1. Начальный план

Изначально мы ожидаем, что любой заказ с учетом переезда к нему будет выполняться не более 30 минут, а длительность каждой смены ресурса составляет 100 минут. Приоритеты всех начальных заявок *z = 0.* Положим, что теперь мы будем получать данные о новых заявках и фактических событиях о начале и завершении работы над заявками на каждом ресурсе, и нам будет нужно последующий план адаптивно перестраивать. Для простоты будем отсчитывать время от 0. Пусть в момент времени T_{10}, пришел новый заказ с повышенным приоритетом O_5^1 и факт о начале работ по

заявке O_1 на ресурсе R_1^1 (изначально ожидалось что она начнётся в T_0), в результате реакции на данное событие все расписание на ресурсе R_1^1сдвигается на 10 минут вправо с учетом новых данных примет вид рис. 2.

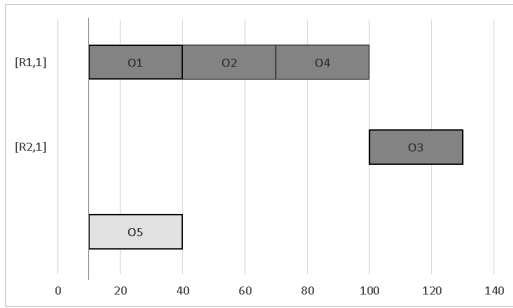


Рис. 2. Поступиил заказ O_5^1 и факт начала работ по заказу O_1

Заказ O_5^1 имеет приоритет выше всех других заявок и пока не размещен на ресурсах, он запрашивает для себя варианты и лучше всего для него встать на ресурс R_1^1вместо заказа O_1, но тот уже начал исполняться по факту, поэтому заказ O_5^1 встает сразу за ним на место O_2, который сдвигается вправо, в результате заказ O_4 вынужден перейти на вторую смену R_2^1, сдвинув O_3 рис. 3.

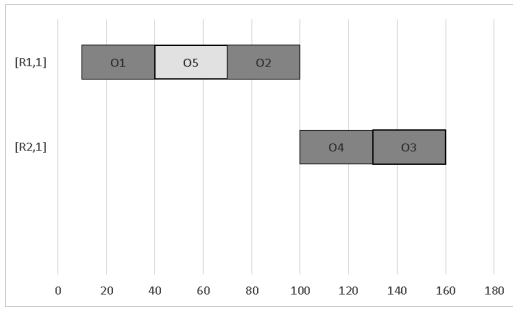


Рис. 3. Измененный план после реакции на событие T_{10}

Пусть в момент времени T_{30}, пришел новый заказ с повышенным приоритетом O_6^2 и факт о завершении работ по заявке O_1 на ресурсе R_1^1, в результате более раннего завершения O_1 расписание будет модифицировано рис. 4.

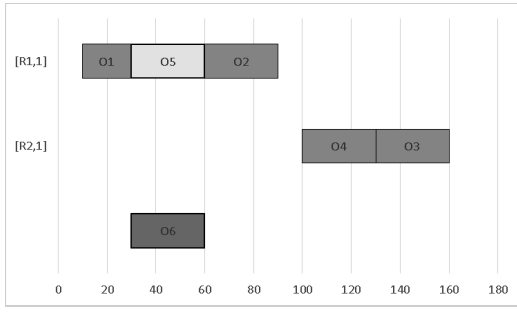


Рис. 4. Поступиил заказ O_6^2 и факт завершения работ по заказу O_1

Заказ O_6^2 имеет приоритет выше всех других заявок и пока не размещен на ресурсах, он запрашивает для себя варианты и лучше всего для него встать на ресурс R_1^1вместо заказа O_5^1, тот сдвигается вправо, в результате заказ O_2 вынужден перейти на вторую смену R_2^1, сдвинув O_4 и O_3 рис. 5.

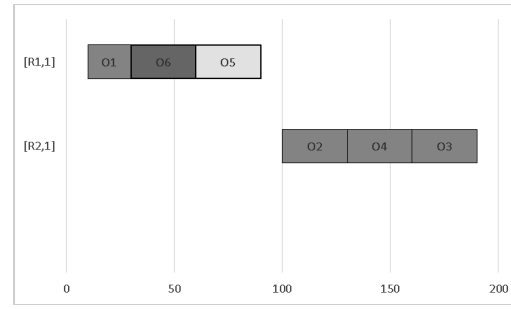


Рис. 5. Измененный план после реакции на событие T_{30}

При сравнении версий плана, полученного после фазы начального планирования (в момент времени T_0) и по ходу его выполнения мы видим насколько они отличаются, что объясняется вкладом реального времени.

VI. Заключение

В результате использования системы для обработки поступающих заявок в реальном времени удалось достичь существенного повышения количества и качества работы аварийной газовой диспетчерской службы Самарской области [10]. Разработчик системы ООО «НПК «ИТС» [4] также успешно выполнил проект по разработке и демонстрации системы управления мобильными бригадами КРС на основе мультиагентных технологий на площадке ОАО «Славнефть-Мегионнефтегаз» [6] в городе Мегион ХМАО. Цель проекта – уменьшение издержек за счет оптимизации процессов обслуживания и ремонта скважин и отказ от ручного планирования для повышения уровня управляемости и качества планирования работы мобильных бригад КРС. В результате реализации проекта эксперты компании отметили:

1. Сокращение календарной продолжительности ремонта и выполнение доп. ремонта и получение доп. добычи.
2. Прозрачность производственного процесса.
3. Сокращение временных затрат руководителей и производственного персонала.
4. Снижение рисков простоя.
5. Повышение коэффициента производительного времени бригад.
6. Повышение дисциплины Подрядчика по выполнению работ.
7. Снижение стоимости услуг для Подрядчика

Список литературы

[1] APPLEGATE D.L. The Traveling Salesman Problem /Applegate, D. L., Bixby, R. M., Chvátal, V., Cook, W. J. // Princeton University Press Princeton, NJ, USA, 2007, 606 p

[2] Kuhn H.W. The Hungarian method for the assignment problem // Naval Research Logistics Quarterly. 1955. Vol. 2, No. 1-2. P. 83-97

[3] Виттих В. А., Скобелев П. О. Мультиагентные модели взаимодействия для построения сетей потребностей и возможностей в открытых системах // Автоматика и телемеханика. – 2003. – №. 1. – С. 177-185.

[4] ООО «НПК «ИТС». Система управления персоналом мобильных подразделений предприятия SmartTeams. [Электронный ресурс]. URL: http://smarteams.ru/ (дата обращения: 01.04.2019)

[5] ООО «Средневолжская газовая компания». [Электронный ресурс]. URL: https://www.svgc.ru/ (дата обращения: 01.04.2019).

[6] ОАО «Славнефть-Мегионнефтегаз». [Электронный ресурс]. URL: http://www.sn-mng.ru/ (дата обращения: 01.04.2019).

[7] В.Н. Козловский, Д.В. Айдаров, Д.И. Панюков, Р.Р. Гафаров Оценка конкурентноспособности продукции на основе многомерного исследования показателей качества. // Методы менеджмента качества - Апрель 2019 – С. 30-38.

[8] A. Lada. Solution to the Subtask of Initial Distribution of Transport Resources in a Special Optimization FTL Transportation Problem in Real-time Using the Hungarian Algorithm / A. Lada & P. Skobelev // Indian Journal of Science and Technology. – Vol 9(12), March 2016. – pp. 1-8.

[9] А.Н. Лада, А.В. Иващенко, Е.В. Симонова, П.О. Скобелев Мультиагентная технология управления мобильными ресурсами в режиме реального времени. // Учебное пособие ПГУТИ. – Самара: ПГУТИ, 2011. – 180 с.

[10] С.В. Блинов, В.Е. Сердюк, Г.В. Онищенко, П.О. Скобелев, В.Б. Ларюхин, Д.С.Очков, А.В. Царев, В.А. Томин. Мультиагентная система управления мобильными бригадами для Средневолжской газовой компании // Труды XIV Международной конференции “Проблемы управления и моделирования в сложных системах”, Самара, 22-25 июня 2012г. – Самара: Самарский научный центр РАН, 2012. – С. 741-745. – ISBN 978-5-93424-584-0

О поддержке когнитивных актов в задачах онтологического анализа данных

Лещева Д.В.
Поволжский университет телекоммуникаций и информатики
Самара, Россия
love0705@mail.ru

Семенова В.А.
Самарский государственный технический университет, ИПУСС РАН
Самара, Россия
queenbfjr@gmail.com

Смирнов С.В.
Институт проблем управления сложными системами РАН (ИПУСС РАН)
Самара, Россия
smirnov@iccs.ru

***Abstract* — The field of research is ontological data analysis (ODA) - one of the areas of data mining which is defined as the non-trivial extraction of implicit, previously unknown, and potentially useful information from data. ODA is based on a strict mathematical theory for data analysis, which extracts concepts and builds a conceptual hierarchy from given data. Among other things, ODA differs by expanded support for subjective (that is, caused by some goals of the cognizing subject) granulation of input data representing the object of cognition — the domain that is interesting to the subject (the domain of interest – DI). Message subject is the identification and implementation of necessary and sufficient mechanisms for such support. It is shown that the cognitive subject activity has two interrelated points of application in the ODA. Firstly, it is the formation of a system of properties to be measured in objects of a cognizable DI, and, secondly, a conceptual scaling of already existing data about DI. The article presents the user interface of the OntoWorker software application, which supports the corresponding ODA functionality.**

Ключевые слова — онтологический анализ данных, концептуальное шкалирование, система измеряемых свойств, обобщенная таблица «объекты-свойства», программное приложение

I. Введение

Онтологический анализ данных (ОАД) представляет собой *модельно-методический комплекс* для выявления понятийной структуры интересующей субъекта предметной области (ПрО) на основе эмпирических данных, структурированных в виде *обобщенной таблицы «объекты-свойства»* (ОТОС) [1]. ОАД построен на фундаменте относительно новой ветви математической теории решеток, которая известна как *«анализ формальных понятий»* (АФП) [2-4] и концентрируется, прежде всего, на извлечении из *однозначных* (бинарных) соответствий «объекты-свойства» формальных конструкций, соответствующих в классической логике определениям *понятия* и *отношения обобщения* на множестве понятий [5-7].

Когнитивные действия субъекта при выполнении ОАД связаны с *грануляцией* данных об исследуемой ПрО [8-10], которая производится с помощью так называемых *концептуальных шкал* [2, 9-11].

Концептуальное шкалирование с общих позиций означает субъективное (т.е. вызванное некоторыми целями познающего субъекта) конструирование «покрытия» области существования значений (*домена*) свойства, измеряемого у объектов познаваемой ПрО. Обычно такое покрытие описывается *набором лингвистических* констант или переменных (смотря по тому какие концептуальные шкалы используются - четкие или нечеткие). Концептуальное шкалирование измеряемого свойства ведет к образованию *новых свойств* объектов ПрО, измеряемых в субъективно формируемых шкалах. При этом между новыми свойствами закономерно возникают экзистенциональные зависимости - *обусловленность* и *несовместимость* [11, 12], - без учета которых в общем случае невозможно корректное преобразование ОТОС в однозначное соответствие «объекты-свойства», и, следовательно, извлечение понятий из входных данных [1].

Системы анализа данных, в основу которых положен АФП, как правило, поддерживают когнитивные действия пользователей, выражающиеся в концептуальном шкалировании. У наиболее известных из них – ConExp [13], Fuzzy FCA-Wizard [14], Galicia [15], ToscanaJ [16] - эта функциональность отсутствует только у первого. Однако у подобных систем поддержка связывается с шкалированием *исходных данных*. С позиций теоретических положений ОАД этого недостаточно [1, 12].

В статье рассматриваются механизмы и реализация поддержки когнитивных актов субъекта ОАД в OntoWorker [17, 18] – инструментарии для онтологического анализа данных, разрабатываемом в Институте проблем управления сложными системами РАН на платформе Excel и VBA [19, 20].

II. Точки приложения когнитивной деятельности субъекта онтологического анализа данных

Прежде всего, следует подтвердить осуществление субъектом когнитивных актов при концептуальном шкалировании свойств, результаты измерения которых представлены в ОТОС в форме *многозначного* соответствия «объекты-свойства» (или *многозначного формального контекста* в терминологии АФП [2-4, 9-11]). Дополнительно стоит лишь подчеркнуть, что для выполнения последующих шагов анализа принципиально важно зафиксировать возникающие при этом экзистенциональные зависимости на расширившемся множестве свойств. В целом эти действия субъекта совершаются в определенном смысле *a posteriori*.

В действительности подобные когнитивные акты субъект, безусловно, осуществляет и *a priori*, на этапе *подготовки* к наблюдениям или измерительным экспериментам в исследуемой ПрО. Эти действия субъекта состоят в формировании *системы измеряемых свойств* (СИС). В [12, 21] показано, что на этом этапе субъект фактически формирует *гипотезы о понятийной структуре*, которой может быть описана исследуемая

©2019 ИПУСС РАН, СамГТУ, IEEE

ПрО, *a posteriori*. Уточнение, развитие этих гипотетических представлений может выполняться с помощью *двух* (и только двух) способов концептуального шкалирования *уже выбранных* для измерения свойств:

- *дизъюнктивное шкалирование* свойства предполагает разделение его домена на две или более непересекающихся областей и приводит к замещению шкалируемого свойства в СИС набором новых несовместимых свойств;
- *уточняющее шкалирование* свойства устанавливается покрытием его домена двумя областями, первая из которых покрывает домен целиком, а вторая – некоторую его часть. При этом в СИС добавляется новое свойство, которое определяет выделенную часть домена шкалируемого свойства и обусловливает последнее.

Эти способы концептуального шкалирования *фундаментальны* в двух смыслах [12, 21]:

- во-первых, они соответствуют двум *единственно известным* методам образования новых понятий – *делению* и *ограничению* исходного понятия [5-7];
- во-вторых, сколь угодно сложное покрытие домена шкалируемого свойства может описано как результат возможно многократного повторения двух операций в порядке «дизъюнктивное покрытие области домена, не обладающей специфическими подобластями – выделение (возможно неоднократное) в образовавшихся дизъюнктивных подобластях специфических областей».

Очевидно, что *первое* определяет необходимый и достаточный механизм поддержки когнитивных актов субъекта при априорном формировании СИС и определении структуры ОТОС в части множества свойств, которые надлежит измерять у объектов исследуемой ПрО. *Второе* устанавливает необходимый и достаточный механизм поддержки когнитивных актов субъекта при апостериорной трансформации ОТОС. Фактически это апостериорное уточнение априорных гипотез о понятийном описании исследуемой ПРО, которое должно быть отражено в СИС как в части состава свойств, так и в изменении отношений несовместимости и обусловленности, заданных на множестве свойств.

III. Реализация поддержки когнитивных актов

Очертим реализацию поддержки когнитивных актов субъекта-исследователя в настольном Excel-приложении OntoWorker (OW) [17, 18].

Для ввода, редактирования и просмотра исходных данных, промежуточных и итоговых результатов OW оснащен современными средствами графического WIMP (*Windows*, *Icons*, *Menus*, *Pointers*)-интерфейса. Как обычно в Excel-приложениях в OW множество необходимых рабочих окон заменяется совокупностью стандартно управляемых рабочих листов книги-носителя приложения (или OW-книги; ее архитектура отражена на рис. 1). Листы «СИС», «ОТОС» размещают образы информационных моделей, «Верстак» – лист для управления преобразованиями данных и представления результатов ОАД, «ЛРО» – лист расширенного описания задачи для размещения текстов, рисунков и т.п. На рабочих листах OW-книги интерфейс пользователя составляют интерактивные таблицы, специализированные контекстное меню и формы. Кроме того, пользователю доступно основное меню Excel, возможности которого в полном объеме реализуемы на незащищенных листах «Верстак» и «ЛРО».

На рис. 2-4 приведены скриншоты листов «СИС», «ОТОС», иллюстрирующие моменты когнитивной деятельности субъекта при решении задач ОАД.

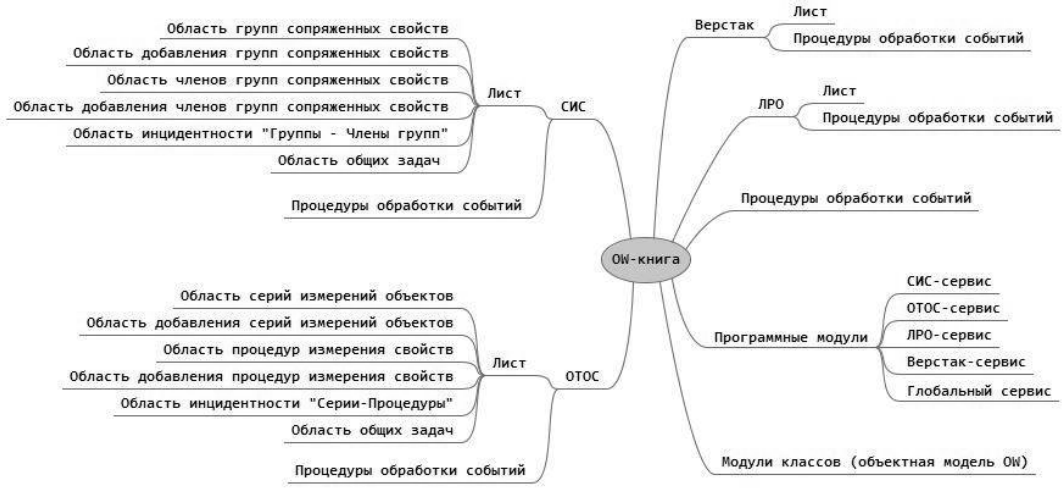
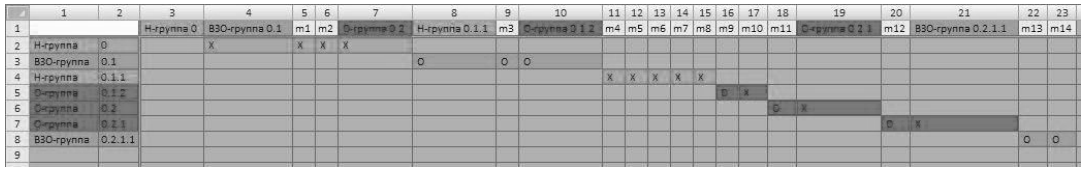
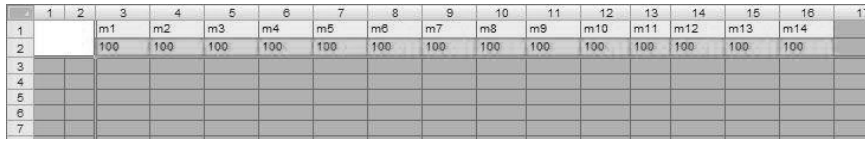


Рис. 1. Интеллектуальная карта архитектуры Excel-книги – носителя приложения OntoWorker



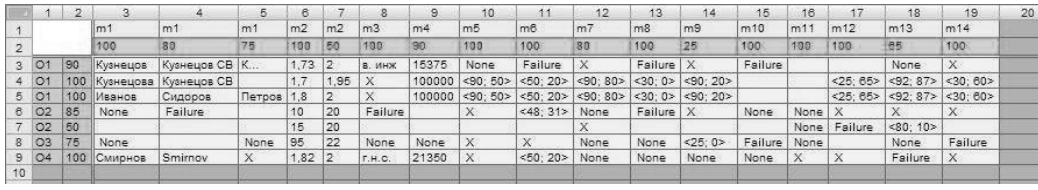
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
1			Н-группа 0	ВЗО-группа 0.1	m1	m2	О-группа 0.2	Н-группа 0.1.1	m3	О-группа 0.1.2	m4	m5	m6	m7	m8	m9	m10	m11	О-группа 0.2.1	m12	ВЗО-группа 0.2.1.1	m13	m14
2	Н-группа	0		X	X	X	X																
3	ВЗО-группа	0.1						O	O	O													
4	Н-группа	0.1.1									X	X	X	X	X								
5	О-группа	0.1.2														O	X						
6	О-группа	0.2																O	X				
7	О-группа	0.2.1																		O	X		
8	ВЗО-группа	0.2.1.1																				O	O
9																							

Рис. 2. Пример описания системы измеряемых свойств в OntoWorker: *m*1, *m*2,…, *m*14 – измеряемые свойства;
ВЗО-, О-, Н-группы сопряженных свойств с взаимообусловленностью, обусловленностью и несовместимостью соответственно



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1			m1	m2	m3	m4	m5	m6	m7	m8	m9	m10	m11	m12	m13	m14	
2			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
3																	
4																	
5																	
6																	
7																	

Рис. 3. Пример таблицы «объекты-свойства» (заготовки таблицы), автоматически создаваемой
при априорном формировании системы измеряемых свойств в OntoWorker



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1			m1	m1	m1	m2	m2	m3	m4	m5	m6	m7	m8	m9	m10	m11	m12	m13	m14	
2			100	80	75	100	50	100	90	100	100	80	100	25	100	100	100	85	100	
3	O1	90	Кузнецов	Кузнецов СВ	К...	1,73	2	в. инж	15375	None	Failure	X	Failure	X	Failure			None	X	
4	O1	100	Кузнецова	Кузнецов СВ		1,7	1,95	X	100000	<90; 50>	<50; 20>	<90; 80>	<30; 0>	<90; 20>			<25; 65>	<92; 87>	<30; 60>	
5	O1	100	Иванов	Сидоров	Петров	1,8	2	X	100000	<90; 50>	<50; 20>	<90; 80>	<30; 0>	<90; 20>			<25; 65>	<92; 87>	<30; 60>	
6	O2	85	None	Failure		10	20	Failure		X	<48; 31>	None	Failure	X	None	None	X	X	X	
7	O2	50				15	20					X				None	Failure	<80; 10>		
8	O3	75	None		None	95	22	None	None	X	X	None	None	<25; 0>	Failure	None		None	Failure	
9	O4	100	Смирнов	Smirnov	X	1,82	2	г.н.с.	21350	X	<50; 20>	None	None	None	None	X	X	Failure	X	
10																				

Рис. 4. Пример обобщенной таблицы «объекты-свойства» в OntoWorker

Как отмечено выше, *a priori*, при подготовке к наблюдениям или измерительным экспериментам субъект, осознанно или нет, формирует гипотезы о понятийной структуре интересующей его ПрО. Просто определяя набор свойств, подлежащих фиксации у объектов исследуемой ПрО, исследователь фактически предопределяет наибольшую вариативность потенциальных результатов ОАД. Осознанное гипотезирование, выражающееся в построении СИС с ограничениями существования свойств, сужает эту вариативность, включая в анализ априорные знания субъекта.

OntoWorker поддерживает априорное построение СИС любой сложности в форме сложно структурированного *множества групп сопряженных свойств* (ГСС) на основе ограниченного числа *шаблонов* [12, 21]. Скриншот на рис. 2 демонстрирует OW-представление примера СИС в легко создаваемой и управляемой в Excel табличной форме, в виде матрицы инцидентности «ГСС – члены ГСС», где в качестве членов ГСС выступают измеряемые свойства и ГСС (последнее обеспечивает описания иерархического гнездования концептуальных шкал).

Априорное создание и редактирование СИС автоматически сопровождается построением и редактированием заготовки таблицы «объекты-свойства» («пустой» ОТОС – см. рис. 3). Последующая работа с этой таблицей связана с выполнением следующих действий:

- введение дополнительных столбцов для результатов измерения свойств конгруэнтными процедурами измерения (по-разному и/или с различной достоверностью измеряющими одно и то же свойство – см. на рис. 4 повторяющиеся столбцы для *m*1 и *m*2);
- добавлением строк, фиксирующих различные и отличающиеся достоверностью серии измерений для объектов зондируемой ПрО, измерения которых формируют обучающую выборку (см. на рис. 4 строки, идентифицируемые именами объектов обучающей выборки *O*1, *O*2,…, *O*4);
- наполнение ячеек таблицы результатами измерений (рис. 4). При этом наряду со значениями из диапазонов измерения свойств могут использоваться ряд лингвистических констант: **None** – «нет информации» (или «значение вне допустимого диапазона измерения», «семантическое несоответствие объекта и свойств» и.т.п.); **Failure** – «отказ от измерения» (или «сбой измерительной процедуры», «воздержание» при голосовании и.т.п.); **X** – обозначает любой результат в диапазоне измерения измерительной процедуры; *вектор истинности* вида $\langle b^{+}_{xy}; b^{-}_{xy}\rangle$, $b^{+}_{xy}, b^{-}_{xy} \in [0, 1]$ многозначной логики V^{ITF} [1, 22], который оценивает истинность суждения «объекту *x* присуще свойство *y*» [1]. Незаполненная ячейка фиксирует ситуацию, когда в серии соответствующее измерение не проводилось.

Поддержка когнитивных актов субъекта, выражающихся в редактировании СИС при непустой ОТОС, существенно усложняется, поскольку требует надлежащей автоматической трансформации в общем случае неоднородного содержимого столбцов ОТОС. В целом методы необходимых преобразований ОТОС основываются на переходе к интерпретации результатов измерений в векторной логике (т.е. переходу к *нестрогому* соответствию «объекты-свойства» - см. [1]) и применению соответствующего аппарата вычисления векторов истинности связок «И» и «ИЛИ» [22].

Концептуальное шкалирование измеряемых свойств в ОТОС – традиционная точка приложения когнитивных усилий субъекта в системах анализа данных, основанных на АФП, - связано, прежде всего, с осуществлением отбора в столбце ОТОС элементов, удовлетворяющих условиям, задаваемых субъектом. Этот отбор эффективно реализован на основе использования Excel-функции «Расширенный фильтр» (*Advanced Filter*) [23]. Кроме того, благодаря использованию лишь двух фундаментальных способов шкалирования, обоснован ограниченный набор семантических правил манипуляции с лингвистическими константами и векторами истинности, которые могут присутствовать в столбцах ОТОС наряду с «физическими» значениями результатов измерения свойств (см. рис. 4).

IV. Заключение

Когнитивные акты субъекта в задачах онтологического анализа данных, осуществляются, во-первых, при априорном формировании системы свойств, измеряемых у объектов исследуемой предметной области, и, во-вторых, при апостериорном концептуальном шкалировании измеряемых свойств, изменяющим структуру и семантику исходных данных. Эффективная поддержка этих действий субъекта оказалась возможной благодаря ограничению их вариабельности в результате обнаруженных связей концептуального шкалирования и основных положений классической логики понятий.

Разрабатываемый в Институте проблем управления сложными системами РАН инструментарий для онтологического анализа данных обеспечивает эффективную реализацию когнитивных актов исследователя как в плане функциональности, так и в организации пользовательского интерфейса, интенсивно используя средства выбранной платформы. Дальнейшее развитие приложения целесообразно сосредоточить на создание функций отображения исходных данных и результатов в форме диаграмм.

Список литературы

[1] Самойлов Д.Е., Семенова В.А., Смирнов С.В. Анализ неполных данных в задачах построения формальных онтологий // Онтология проектирования. - 2016. – Т. 6, №3(21). - С. 317-339.

[2] Ganter B, Wille R. Formal Concept Analysis. Mathematical foundations. - Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1999. - 290 p.

[3] Formal Concept Analysis Homepage (http://www.upriss.org.uk/fca).

[4] Ignatov D.I. Introduction to Formal Concept Analysis and Its Applications in Information Retrieval and Related Filds // In: P. Braslavski, N. Karpov, M. Worring, Y. Volkovich, D.I. Ignatov (Eds.): Information Retrieval. Revised Selected Papers 8th Russian Summer School, RuSSIR 2014. – Springer International Publishing, 2015. – P. 42-141.

[5] Гетманова А.Д. Логика. Углубленный курс: Учебное пособие. - М.: КНОРУС, 2016.- 192 с.

[6] Берков В.Ф., Яскевич Я.С., Павлюкевич В.И. Логика: Учебное пособие для высших учебных заведений. – Мн.: НТООО «ТетраСистемс», 1997. – 416 с.

[7] Логический словарь: ДЕФОРТ / Под ред. А.А. Ивина, В.Н. Переверзева, В.В. Петрова. – М.: Мысль, 1994. - 268 с.

[8] Ma X., Liu Q., Zhan J. A survey of decision making methods based on certain hybrid soft set models // Artificial Intelligence Review. – Vo. 47, Issue 4. – P. 507–530.

[9] Belohlavek R., Konecny J. Scaling, Granulation, and Fuzzy Attributes in Formal Concept Analysis // The IEEE International Conference on Fuzzy Systems. – P. 918-923.

[10] Wolff, K.E. Conceptual Interpretation of Fuzzy Theory / K.E. Wolff // In: Zimmermann, H.J. (Ed.): EUFIT´98, 6th European Congress on Intelligent Techniques and Soft Computing. Vol. I. – Aachen, 1998. – P. 555-562.

[11] Ganter B., Wille R. Conceptual scaling // In: F. Roberts (Ed.): Applications of Combinatorics and Graph Theory to the Biological and Social Sciences. -. New York Springer-Verlag, 1989. - P. 139-167.

[12] Самойлов Д.Е., Семенова В.А., Смирнов С.В. Структура системы измеряемых свойств у объектов многомерного наблюдения и экспериментов // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия: Технические науки. – 2018. - №3(59). – С. 56-71.

[13] Евтушенко С.А. Система анализа данных «Concept Explorer» // Труды 7-й национальной конференции по искусственному интеллекту КИИ-2000. – М.: ФИЗМАТЛИТ. – С. 127-134.

[14] Yang K.M., Kim E.H., Hwang S.H., Choi S.H. Fuzzy Concept Mining based on Formal Concept Analysis // Int. J. of Computers. - 2008. – Issue 3, Vol. 2. – P. 279-290.

[15] Galicia Lattice Builder (http://www.iro.umontreal.ca/~galicia).

[16] ToscanaJ (http://toscanaj.sourceforge.net).

[17] Семенова В.А., Смирнов В.С., Смирнов С.В. OntoWorker: программная лаборатория для онтологического анализа данных // Проблемы управления и моделирования в сложных системах: Труды XVII международной конф. – Самара: СамНЦ РАН, 2015. - С. 382-393.

[18] Лещева Д.В., Семенова В.А., Смирнов С.В. Пользовательский интерфейс программной лаборатории для онтологического анализа данных // Перспективные информационные технологии (ПИТ 2018): труды Международной научно-технической конференции / Под ред. С.А. Прохорова. – Самара: СамНЦ РАН, 2018. – С. 479-482.

[19] Гарнаев А.Ю., Рудикова Л.В. Microsoft Office Excel 2010: разработка приложений. – СПб.: БХВ-Петербург, 2011. – 528 с.

[20] Уокенбах Дж. Excel 2010: профессиональное программирование на VBA. - М.: ООО «Вильямс», 2011. – 944 с.

[21] Самойлов Д.Е., Семенова В.А., Смирнов С.В. Фрактальность ограничений сосуществования свойств в задачах машинного обучения // Сборник трудов IV международной конференции и молодежной школы «Информационные технологии и нанотехнологии» ИТНТ-2018. Самара: Новая техника, 2018. С. 2512-2518.

[22] Аршинский Л.В. Векторные логики: основания, концепции, модели. - Иркутск: Иркутский гос. ун-т, 2007. – 228 с.

[23] Минько А.А. Функции в Excel. Справочник пользователя. – М.: Эксмо, 2007. – 512 с.

Интеллектуальная система для параметризации объектов снимков послойной компьютерной томографии

Лиманова Н.И.
Кафедра ИСТ
ПГУТИ
Самара, Россия
nataliya.i.limanova@gmail.com

Атаев С.Г.
Кафедра ИСТ
ПГУТИ
Самара, Россия
sergeyataev@gmail.com

***Abstract* — Accessibility of computer tomography scan devices led to the development of computer-aided diagnosis systems, which task is to increase the accuracy and speed of diagnosis process. Such systems provide for medics an additional data extracted from computer tomography scans. The set of computer tomography layers of multi-layer shot provides comprehensive information about inner structure of the examining object. Currently medics are just beginning to use the computer-aided diagnosis systems in their daily medical practice, but improvement of computer-aided diagnosis systems is actively developing field of research. Nowadays computer tomography is widespread in medical clinics, is frequent in a complex of diagnostic procedures with contrasting use. Although, tomography study with contrast dye use has contraindications and is much more expensive for patients than study without use of dye.**

Along with development of tomography shots computer reconstruction methods, processing and analysis of images are improving. Ways of visualization improvement and images reconstruction are well investigated owing to their relative universality while methods of images segmentation and objects of interest classification are developed in a lesser extent as the applied approaches substantially depend on a solving task. Parametrization of the computer tomography shot objects allows extending diagnostic data available to medics and is a necessary step on the way to completely automatic classification of the studying objects on the basis of the received parameters values.

In some cases the evaluation of numerical parameters of small anatomical structures is required. For example, if there are pathological growths, their identification, measurement of volume and carrying out other examining are necessary. This article proposes data processing algorithms and the software as the basis of the intellectual system for parametrization of the small objects occupying a small part of the initial tomographic picture without use of contrast dye. The software, developed according to proposed algorithms, evaluates parameters of small objects and sinuses, which occupy only small part of initial computed tomography layers, with high accuracy without use of dye.

Ключевые слова — image analysis, computed tomography, computer-aided diagnosis, parameterization, software development

I. Введение

Медицина развивается стремительно: разрабатываются новые более эффективные препараты, предлагаются все менее травматичные способы оперативных вмешательств, а для замещения тканей и органов используются искусственные материалы и управляемые протезы. Однако по-прежнему успех лечения во многом определяется своевременным и точным диагностированием заболевания. Эти задачи решают с применением различных технологий визуализации. Многие ассоциируют их с представлением анатомических структур тела, но в действительности гораздо чаще они позволяют определить функциональное состояние тканей и органов.

Компьютерная томография (КТ) — метод неинвазивного послойного исследования, основанный на измерении и сложной компьютерной (математической) обработке разности ослабления рентгеновского излучения различными по плотности тканями. КТ, появившись в лучевой диагностике в 70-е годы прошлого века и достигшая широкого внедрения в 80-е, в настоящее время стала важной частью современной медицины, использующейся для решения широкого спектра диагностических задач, тестов и контроля результатов лечения. На данный момент КТ является наиболее распространенным томографическим методом исследования человека. Развитие КТ идет по пути создания более эффективных методов компьютерной реконструкции, обработки и анализа изображений, что влечёт за собой повышение доступности, качества и оперативности диагностических исследований.

Совершенствование средств получения снимков компьютерной томографии привело к активной разработке средств в области систем компьютерной диагностики (в англ. литературе – computer-aided diagnosis). Системы компьютерной диагностики позволяют значительно повысить точность и скорость обработки информации о состоянии пациента [1].

Назначением данных систем является предоставление медицинским специалистам дополнительной информации на основе снимков КТ. В настоящее время в медицине только начинают применять системы компьютерной диагностики в повседневной практике, однако разработка принципов создания подобных систем — активно развивающаяся сфера исследований.

Разрабатываются системы компьютерной диагостики для поддержки принятия решений в трудных диагностических ситуациях для практикующих врачей, и детекторные системы компьютерной диагностики, использующиеся в некоторых скрининговых программах и распознающие графические образы. Часть из них уже успешно функционирует, но до настоящего времени такие системы являются лишь «ассистентами» врача-диагноста, принимающего решение. Алгоритмы систем компьютерной диагностики медицинских изображений, как правило, включают в себя сегментацию изображения, выделение объектов интереса («масс»), их анализ, параметрическое описание выделенных

©2019 ИПУСС РАН, СамГТУ, IEEE

объектов, их классификацию. Системы компьютерной диагностики существенно увеличивают эффективность методов медицинской визуализации.

Набор слоёв многослойного томографического снимка позволяет получить исчерпывающие данные о внутреннем строении объекта в пространстве [2-3]. На сегодняшний день существует ряд методов улучшения визуализации снимков КТ и реконструкции 3D-моделей изучаемого объекта. Это позволяет упростить чтение снимков, но не приводит к автоматизированному подсчету параметров исследуемых объектов [4-6]. Другие известные методы интерпретируют слои снимка по-отдельности. Примером такого подхода являются исследования КТ мозговых кровотечений [7] и классификации лёгочных узлов на доброкачественные и злокачественные [8-9]. Это оправдано в тех случаях, когда выполняется классификация объектов, то есть определяются их качественные признаки принадлежности к какому-либо типу. Для малых объектов, занимающих небольшую часть снимка, указанные выше способы автоматизированной обработки являются неприменимыми. Ещё одним значительным их недостатком является абстрактность и неочевидность для человека получаемых данных (параметров объекта). Поэтому задача разработки подходов к формализации признаков для идентификации изображённых анатомических объектов также является актуальной. Однако практическое применение данных методов в исследованиях верхнечелюстных пазух демонстрирует сохраняющуюся информационную недостаточность алгоритмов и программ, обеспечивающих визуализацию и анализ медицинских снимков.

Данная статья описывает разработку алгоритмов и методов, позволяющих создать систему, осуществляющую автоматизированный анализ слоёв снимков КТ и определять параметры исследуемых объектов на этих снимках, на примере исследований параметров верхнечелюстных пазух.

II. Система параметризации объектов снимков компьютерной томографии

В соответствии с парадигмой, предложенной Д. Марром, обработка изображений должна опираться на несколько последовательных уровней восходящей информационной линии: от «иконического» представления объектов (растровое изображение, неструктурированная информация) – к их символическому представлению (векторные и атрибутивные данные в структурированной форме, реляционные структуры и т. п.). Применив данный подход к системам компьютерной диагностики, обрабатывающим томографические снимки, можно выделить следующие уровни обработки изображений:

1) получение изображений слоёв томографического снимка;
2) улучшение изображений, фильтрация шумов;
3) сегментация слоёв томографического снимка;
4) параметризация и классификация исследуемых объектов томографических снимков.

Методы и алгоритмы, описываемые в данной работе, относятся к 3 и 4 уровням обработки, и принимают в качестве входных данных слои томографического снимка (с опциональной пост-обработкой).

Для решения задачи параметризации объекта необходима комплексная информация о его строении, для получения которой требуется анализировать в совокупности все слои, содержащие изображение данного объекта. В работе разработанный метод программной параметризации объектов рассмотрен на примере задачи исследования верхнечелюстных пазух. Задача параметризации какого-либо объекта, отображённого на снимке, решается в два этапа: сначала выполняется сегментация слоёв снимка КТ с целью определения границ исследуемого объекта, затем совокупность пикселов, относящихся к исследуемому объекту, анализируется для определения его параметров.

Каждый слой КТ (рис.1) содержит данные о точном значении плотности ткани, отображаемой соответствующими пикселами на снимке, которые имеют градации цвета от светлых до тёмных оттенков серого. Чем светлее оттенок серого, тем плотнее ткань в пределах пиксела. Таким образом, данные совокупности вокселов (воксел — аналог пиксела для трёхмерного пространства: область, проецирующая на пиксел томографического среза), относящихся к целевому объекту снимка, даёт исчерпывающие сведения о свойствах объекта в каждой точке пространства и делает возможным их дальнейший анализ и исследование. Каждый томографический снимок имеет свой собственный диапазон плотностей, отображаемых с помощью оттенков, находящихся между чёрным и белым цветами (окно Хаунсфилда). Плотность тканей на снимках КТ измеряется в единицах Хаунсфилда. Данный диапазон зависит от специфики снимаемых объектов, и точная информация о плотности тканей за пределами данного диапазона теряется. Границы диапазона задаются двумя значениями: центром диапазона и его шириной (величины C и W на рис.1). Чисто белому цвету пиксела соответствует ткань, превосходящая по плотности диапазон отображения, чисто чёрному цвету — ткань, менее плотная, чем диапазон отображения [10].

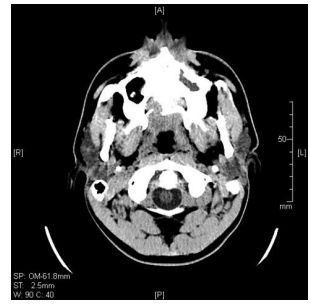


Рис. 1. Пример слоя КТ, содержащий информацию о центре (C) и ширине (W) окна Хаунсфилда

Функционирование предложенного метода сегментации снимков и определения границ исследуемого объекта начинается с загрузки в программу пользователем упорядоченных слоёв томографического снимка и выбора объекта путем указания любой точки, принадлежащей исследуемому объекту. Интерфейс разработанного программного обеспечения изображён на рис. 2.

Рис. 2. Интерфейс разработанного программного обеспечения

Процесс анализа снимка КТ и определения параметров исследуемого объекта, в соответствии с описанными выше уровнями обработки изображений, можно разделить на следующие задачи:

– поиск границ исследуемого объекта (а, следовательно, множества пикселов снимка, принадлежащих проекции исследуемого объекта на слои КТ);

– анализ значений яркости множества пикселов исследуемого объекта (проецирующих плотность объекта на слои томографического снимка, ей принадлежащих).

Рассмотрим подробнее алгоритм поиска границ исследуемого объекта на слоях КТ.

После загрузки пользователем слоёв снимка КТ, указания точки, принадлежащей исследуемому объекту, и определения порогового значения для яркости (плотности), из этой точки выполняется обход в ширину, с целью рассмотреть возможность добавить ближайшие пикселы к объекту. Если яркость рассматриваемого пиксела меньше заданного значения, он добавляется к множеству пикселов, относящихся к объекту, после чего происходит рассмотрение смежных с ним пикселов. Иначе он добавляется к множеству пикселов, относящихся к границе объекта, и не участвует в дальнейшем расширении области объекта. На слоях, где граница объекта имеет замкнутый характер, этих действий достаточно для идентификации объекта на снимке. Если граница разомкнута, необходимо достраивать её искусственно. Требуется выбрать стартовый слой таким образом, чтобы отображаемый на нем объект имел замкнутые границы.

В дальнейшем, область исследуемого объекта определяется по очереди на каждом слое исследуемого снимка аналогичным образом. Каждый пиксел, добавляемый к исследуемому объекту, должен быть менее ярким, чем пороговое значение, а также иметь рядом пиксел, уже относящийся к объекту (соседние пикселы слоя, либо соответствующий пиксел на

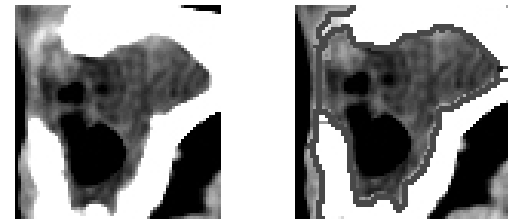


Рис. 3. Замыкание границы на слоях, где она отсутствует в явном виде

соседнем слое КТ). В ситуациях, когда исследуемый объект не обладает замкнутой границей, явно выраженной перепадом яркости, выполняется закрытие границ исследуемого объекта, изображённое на рис. 3.

Для поиска границы объекта на таких слоях, сохраняются не только данные о пикселах, относящихся к объекту, но и о пикселах, граничных объекту (т.е. для них выполняется наличие рядом пиксела, относящегося к объекту, однако не выполняется условие величины яркости), которые и описывают её расположение на снимке. Чтобы определить пару пикселов, между которыми будет проведена линия, замыкающая границу, происходит поиск такой пары пикселов x и y, для которых результат формулы будет максимальным:

$$w(x,y) = p(x,y)^a / d(x,y), \qquad (1)$$

где $p(x,y)$ – длина границы, соединяющей пикселы x, y;

$d(x,y)$ – длина отрезка между пикселами x, y;

a – коэфициент, варьируемый для поиска оптимальной границы.

На основе полученных границ исследуемого объекта на всех слоях снимка, определяется множество пикселов, характеризующее исследуемый объект и позволяющее выполнять его параметризацию.

III. Результаты параметризации

Применение разработанного алгоритма для исследования верхнечелюстных пазух позволило получить следующие результаты. Объём верхнечелюстной пазухи на каждом слое определяется исходя из количества принадлежащих ей пикселов, а также площади каждого из них и толщины слоя. Суммарный объём пазухи, представленной ранее на рис.2, составил 12.96 ml. Также множество пикселов объекта позволяет построить гистограмму распределения величин плотности исследуемого объекта (примеры для двух объектов на рис. 4).

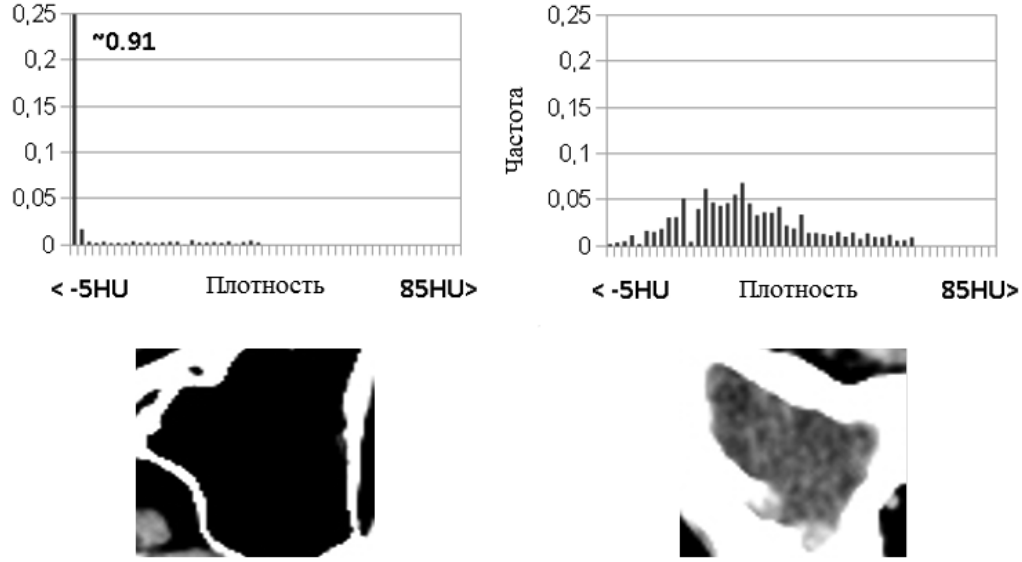


Рис. 4. Гистограммы распределения величин плотности для двух исследуемых объектов (верхнечелюстных пазух)

Левая пазуха заполнена преимущественно воздухом, что отражается на гистограмме распределения величин плотности, в которой преобладает крайний левый столбец, соответствующий меньшей плотности, чем нижняя граница шкалы Хаунсфилда. В правой полости находятся патологические образования, поэтому её гистограмма распределения плотностей отражает их наличие. Также разработанная система вычисляет на основании распределения плотности показатель выборочной несмещенной дисперсии. Его можно рассматривать как критерий степени неоднородности внутреннего содержания исследуемого объекта. Для правой верхнечелюстной пазухи (рис. 4) это значение равно 30.95, в то время как для левой оно равно 8.01. Эти значения дисперсии, наряду с гистограммой плотности, являются численными показателями неоднородности и свидетельствуют о вероятности наличия в ней патологических образований.

IV. Заключение

Применение разработанной системы параметризации объектов снимков позволяет автоматизировать процесс анализа послойных снимков КТ путём вычисления параметров объектов и их визуализации. Автоматизированное вычисление параметров объектов позволяет дополнить объём диагностической информации, доступной медицинским специалистам.

Разработанная система прошла апробацию в Самарской областной клинической больнице имени В.Д. Середавина и дает возможность проводить диагностику по томографическим снимкам, полученным без использования контрастирования.

Список литературы

[1] Van Ginneken B., Schaefer-Prokop CM., Prokop M. Computer-aided diagnosis: how to move from the laboratory to the clinic // The British Journal of Radiology. 2005. № 78. C. 3-19. doi:10.1259/bjr/82933343

[2] Hofer M. CT Teaching manual: systematic approach to CT reading. – Thieme, 2007. – 224 p.

[3] Seletchi E., Duliu O. Image Processing and Data Analysis in Computed Tomography // Romanian Journal of Physics. 2007. № 1. C. 764-774.

[4] Maher M., Kalra M., Sahani D., Perumpillichira J., Rizzo S., Saini S., Mueller P. Techniques, Clinical Applications and Limitations of 3D Reconstruction in CT of the Abdomen. // Korean Journal of Radiology. 2004. № 5(1). C. 55-67. doi:10.3348/kjr.2004.5.1.55

[5] Xu F., Mueller K. Real-time 3D computed tomographic reconstruction using commodity graphics hardware // Physics in Medicine and Biology. 2007. № 52(12). C. 3405-3419. doi:10.1088/0031-9155/52/12/006

[6] Montejo L., Jia J., Kim H., Netz U., Blaschke S., Müller G., Hielscher A. Computer-aided diagnosis of rheumatoid arthritis with optical tomography // Journal of biomedical optics. 2013. № 18(7). C. 123-137. doi:10.1117/1.JBO.18.7.076001

[7] Sumijan, S. Detection and Extraction of Brain Hemorrhage on the CT-Scan Image using Hybrid Thresholding Method / S. Sumijan, Y. Yuhandri, W. Boy // Journal of Computer Science and Information Technology, 2016 — №1(1). — P. 10-19.

[8] Homma N. CT Image Based Computer-Aided Lung Cancer Diagnosis // Theory and Applications of CT Imaging and Analysis. 2011. C. 3–14. http://www.intechopen.com/books/theory-and-applications-of-ct-imaging-and-analysis/ct-image-based-computer-aided-lung-cancer-diagnosis (Дата обращения: 15.12.2017)

[9] Maher M., Kalra M., Sahani D., Perumpillichira J., Rizzo S., Saini S., Mueller P. Techniques, Clinical Applications and Limitations of 3D Reconstruction in CT of the Abdomen. // Korean Journal of Radiology. 2004. № 5(1). C. 55-67. doi:10.3348/kjr.2004.5.1.55

[10] Pratt W. Digital Image Processing: PIKS Scientific Inside. – Wiley-Interscience, 2007. – 812c.

Разработка модели котла-утилизатора на базе аппарата нечёткой логики

Лысенко Д.С.
Самарский государственный технический университет
Самара, Россия
Dmitry-Lusenko@yandex.ru

Данилушкин И.А.
Самарский государственный технический университет
Самара, Россия
idanilushkin@mail.ru

***Abstract* — The work is devoted to the problems of modeling systems with incomplete or complex mathematical description using the fuzzy logic apparatus. The object of modeling is the heat-recovery boiler of the gas turbine power station. The object is represented as a complex, thermodynamic system with non-stationary dynamics and a variety of forms of communication of input and output parameters, which influence the heat exchange processes. Due to the complex specifics of the system or in the conditions of incomplete information about the object, the creation of an adequate mathematical description using the methods of the classical theory of automatic control becomes a difficult task. The use of the apparatus of fuzzy logic in modeling objects with complex dynamics has several advantages: they function well in conditions of incomplete information about the object of research, do not require a strictly mathematical description of the object, have the ability to adjust existing models without making many changes to them. If there is information about the processes at the object of research, knowing the degree of influence of input parameters on the output characteristics of the object and knowing the limits of changing parameters, using the fuzzy logic apparatus, you can create a model that will describe the dynamic characteristics of the object with a sufficient degree of adequacy.**

As a result of the research, a model of a heat recovery boiler was developed using a fuzzy logic apparatus. Linguistic variables, membership functions of linguistic terms, focused on the subsequent solution of the problem of identification are defined. A rule base has been developed that describes the behavior of the model. The method of defuzzification of output linguistic variables is selected. The identification of a fuzzy model based on historical trend curve in equipment operation has been carried out.

Ключевые слова — нечеткая логика, алгоритм Сугено, имитационная модель, термодинамическая система, котел-утилизатор, энергетика

I. Введение

Рациональное использование топливно-энергетических ресурсов, относится к важнейшим проблемам, стоящим перед энергетикой. Высокотемпературные технологические процессы, протекающие в печах металлургических, химических, нефтехимических производств, осуществляются при весьма низком коэффициенте рационального использования органического топлива (20–40%). Итогом нерационального использования является выброс газов, температура которых превышает иногда 1000 °С, токсичные вещества и мелкодисперсная пыль применяемого сырья и другие технологические отходы, загрязняют окружающую среду. Поэтому вторичное использование отработанных газов, является важной задачей, выполнить которую возможно на основе использования теплоты газов в котлах-утилизаторах [1].

Котлы-утилизаторы используют энергию отработанных газов с различных технологических установок, например, газ с газотурбинных установок, мартеновских или конвертерных печей. Характерных для топливосжигающих котлоагрегатов горелок, систем подготовки и подачи топлива котлы-утилизаторы не имеют.

Процессы, протекающие в котле-утилизаторе, имеют сложную динамику, вследствие чего их точное математическое описание становится трудоемким, а в некоторых случаях и невозможным. Динамика зависит от многих факторов, таких как температура и состав газа подаваемого в котел, величина протока воды через трубы теплообменника, температура питающей воды и т.д. Котлы-утилизаторы с принудительной циркуляцией воды через теплообменник получили широкое распространение в энергетике. Теплообменник представляет собою набор змеевиковых пакетов по трубам, в которых циркулирует вода. Отработанные газы, поступающие в котел-утилизатор, остывая, отдают энергию, тем самым нагревая воду в трубах теплообменника [2]. Температура газа на входе в котел-утилизатор может варьироваться в диапазоне от 350 °С до 1000 °С, температура зависит от технологической установки, энергия газа которой утилизируется в котле. От состава газов, используемых в котле-утилизаторе, зависит величина теплоотдачи и соответственно температура воды на выходе из котла [3].

Цель работы – создание модели, которая обеспечивает адекватное описание технического процесса в статическом режиме. При разработке модели сделано предположение, что все переходные процессы заканчиваются быстрее, чем за одну минуту. Для идентификации модели использовались минутные значения архивных трендов.

В качестве моделируемой величины была выбрана температура сетевой воды на выходе из котла.

II. Основная часть

В связи со сложной спецификой процессов, протекающих в котле-утилизаторе и в условиях отсутствия полной информации, о внутренних параметрах объекта, создание адекватного математического описания становится трудоемкой задачей. Отсутствие точного математического представления объекта, накладывает ограничение на создание имитационных моделей, классическими методами. Для реализации поставленной задачи моделирования был выбран аппарат нечеткой логики. Создаваемые модели на основе алгоритмов нечеткой логики имеют ряд особенностей, они хорошо функционируют в условиях неполной информации об объекте исследований и не требуют наличия строгого

©2019 ИПУСС РАН, СамГТУ, IEEE

математического описания. Имея информацию о технологическом процессе, зная степень влияния входных параметров на выходные характеристики объекта а также границы изменения параметров, можно создать модель, которая обеспечит адекватный расчет выходных характеристик объекта.

Построение нечеткой модели велось в несколько этапов (рис. 1).

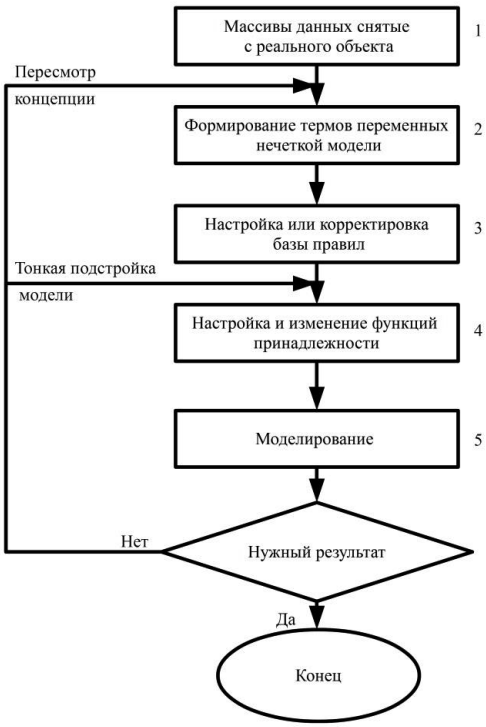


Рис. 1. Алгоритм создания и настройки нечеткой модели

На первом этапе были получены данные с объекта моделирования. Были известны исторические тренды следующих параметров: температура сетевой воды на входе в котел-утилизатор (T_{win}), температура уходящих газов, подаваемых в котел газотурбинной установкой (T_{gaz}), перепад давления уходящих газов до и после котла (P_{gaz}), расход воды через котёл (F_w), температура сетевой воды за котлом (T_{wout}).

На втором этапе была осуществлена фаззификация входных и выходных переменных объекта. Входные лингвистические переменные *Twin*, *Tgaz*, *Pgaz*, *Fw* имеют по три терма со значениями: «низкое» (Lw), «среднее» (Md), «высокое» (Hg). Выбранное количество термов представляется наиболее удобным и обеспечивает удовлетворительную точность нечеткой модели. Первоначально использовались треугольные функции принадлежности для каждого терма. В дальнейшем, в процессе оптимизации нечёткой модели, одним из варьируемых параметров выступил вид функций принадлежности. В результате экспериментов для терма «низкое» была выбрана S подобная функция принадлежности, описываемая выражением

$$\mu_S(x,a,b)=\begin{cases}0, & при \quad x\le a\\ 2\left(\dfrac{x-a}{b-a}\right)^2, & при \quad a<x\le\dfrac{a+b}{2}\\ 1-2\left(\dfrac{b-x}{b-a}\right)^2, & при \quad \dfrac{a+b}{2}<x\le b\\ 1, & при \quad b\le x\end{cases} \tag{1}$$

Для терма «среднее» была выбрана треугольная функция принадлежности:

$$\mu_t(x,a,b,c)=\begin{cases}0, & при \quad x\le a\\ \dfrac{x-a}{b-a}, & при \quad a\le x\le b\\ \dfrac{c-x}{c-b}, & при \quad b\le x\le a\\ 0, & при \quad c\le x\end{cases} \tag{2}$$

Для терма «высокое» была выбрана Z подобная функция принадлежности:

$$\mu_z(x,a,b)=\begin{cases}1, & при \quad x\le a\\ 1-2\left(\dfrac{x-a}{b-a}\right)^2, & при \quad a<x\le\dfrac{a+b}{2}\\ 2\left(\dfrac{b-x}{b-a}\right)^2, & при \quad \dfrac{a+b}{2}<x\le b\\ 0, & при \quad b\le x\end{cases} \tag{3}$$

Также на втором этапе были определены области определения лингвистических переменных. Для параметра «Температуры сетевой воды на входе в котел-утилизатор» были взяты следующие границы изменения параметра 49–54 ºС (рис. 2).

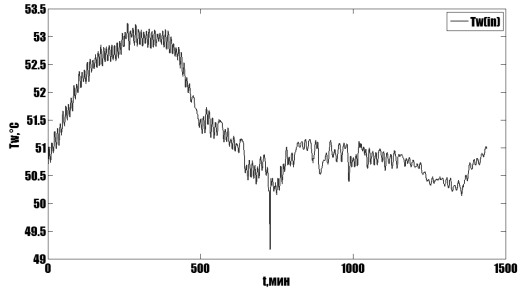


Рис. 2. Температура сетевой воды на входе в котел

Для параметра «Температура уходящих газов перед котлом» взят диапазон 500–510 ºС (рис. 3). Диапазон расхода воды через котёл – 400–720 м^3/час (рис. 4). Для параметра «Температура сетевой воды на выходе из котла» были взяты границы изменения параметра 75–95 ºС (рис. 5).

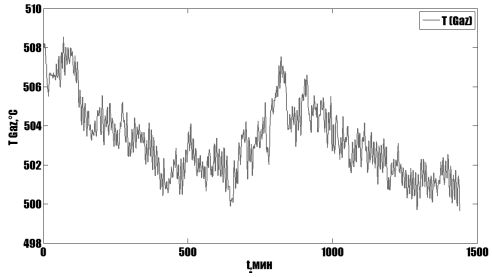


Рис. 3. Температура уходящих газов перед котлом

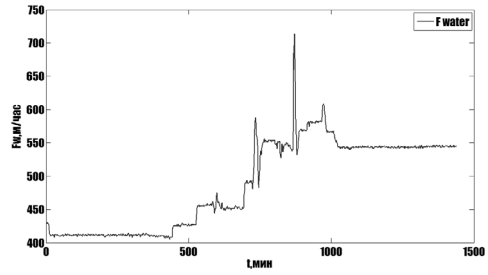


Рис. 4. Расход воды через котел

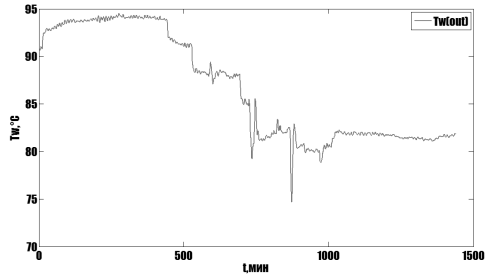


Рис. 5. Температура сетевой воды за котлом

В качестве алгоритма нечеткого вывода был использован алгоритм Сугено [5]. Температурный диапазон сетевой воды за котлом был разбит на одиннадцать участков, каждый участок привязан к значению константы. В таблице I приведены значения констант параметра температура сетевой воды за котлом. Выбранное количество участков разбиения всего диапазона, представляется наиболее удобным и обеспечивает достаточную точность модели.

ТАБЛИЦА I. ЗНАЧЕНИЯ КОНСТАНТ ИЗ БАЗЫ ПРАВИЛ

Условное обозначение	Значение температуры воды на выходе котла
T1	75 °C
T2	77 °C
T3	79 °C
T4	81 °C
T5	83 °C
T6	85 °C
T7	87 °C
T8	89 °C
T9	91 °C
T10	93 °C
T11	95 °C

На третьем этапе была создана база правил. База правил является каркасом нечеткой модели и создается на основе знаний о технологическом процессе [5]. В таблице II представлена полная база правил нечеткой модели, созданная на основе знаний о процессе утилизации энергии газа в котле. Правила базы имеют следующий вид:

$$
\begin{aligned}
&R_1: \textit{Если}\ (Twin = Lw) \wedge (Pgaz = Lw) \wedge \\
&\qquad (Tgaz = Lw) \wedge (Fw = Lw), \\
&\quad \textit{то}\ Twout = T7. \\
&R_2: \textit{Если}\ (Twin = Lw) \wedge (Pgaz = Lw) \wedge \\
&\qquad (Tgaz = Md) \wedge (Fw = Lw), \\
&\quad \textit{то}\ Twout = T7. \\
&\ldots \\
&R_{81}: \textit{Если}\ (Twin = Hg) \wedge (Pgaz = Hg) \wedge \\
&\qquad (Tgaz = Hg) \wedge (Fw = Hg), \\
&\quad \textit{то}\ Twout = T4.
\end{aligned}
\tag{4}
$$

ТАБЛИЦА II. БАЗА ПРАВИЛ МОДЕЛИ

Twin	*Pgaz*	*Fw*								
		Lw			Md			Hg		
		Tgaz								
		Lw	Md	Hg	Lw	Md	Hg	Lw	Md	Hg
Lw	Lw	T7	T7	T8	T4	T4	T5	T1	T1	T1
	Md	T7	T8	T8	T4	T5	T6	T1	T1	T2
	Hg	T8	T8	T9	T5	T5	T6	T1	T2	T2
Md	Lw	T7	T8	T8	T4	T5	T5	T1	T1	T2
	Md	T8	T8	T8	T4	T5	T6	T1	T2	T2
	Hg	T8	T9	T9	T5	T6	T6	T2	T2	T2
Hg	Lw	T8	T8	T9	T5	T5	T6	T2	T2	T2
	Md	T8	T9	T10	T5	T6	T7	T2	T2	T3
	Hg	T9	T10	T11	T6	T6	T7	T3	T3	T4
		Twout								

В таблице II используется компактное представление базы: каждая строка соответствует одному из возможных сочетаний термов лингвистических переменных *Twin* и *Pgaz*, каждый столбец соответствует одному из возможных сочетаний термов лингвистических переменных *Fw* и *Tgaz*. На пересечении столбца и строки определяется значение выходной лингвистической переменной (таблица I), соответствующее сочетанию термов всех четырёх переменных.

На четвертом этапе была проведена «тонкая» подстройка функций принадлежности. Последовательно, итерационным методом были определены оптимальные координаты для функций принадлежности каждой из входных переменных. В таблице III представлен конечный результат «тонкой» подстройки функций принадлежности. Параметры функций (1), (3), записаны в последовательности [*a*, *b*], параметры функции (2) записаны в последовательности [*a*, *b*, *c*].

Последним, пятым этапом создания нечеткой модели, стал этап моделирования. На этом этапе проверялась точность модели. Выходной параметр модели «Температура сетевой воды за котлом» сравнивался с данными по температуре воды, снятыми с реального

котла-утилизатора. Точность модели в процессе настройки оценивалась по интегральной величине ошибки. При этом среднее значение ошибки модели составило 0.26 ºС. На рис. 6 приведен график, на котором отображены величины, температура сетевой воды на выходе нечеткой модели и температура сетевой воды, данные о которой были получены с реального котла-утилизатора. Максимальное отклонение модели от реальных данных составляет 3.8 ºС.

ТАБЛИЦА III. КОНЕЧНЫЕ КООРДИНАТЫ ФУНКЦИЙ ПРИНАДЛЕЖНОСТИ

Названия параметра	**Диапазон изменения**	**S подобная функция (1)**	**Треугольная функция (2)**	**Z подобная функция (3)**
Темп. воды на входе (T_{win})	49–54 ºС	[49.0, 50.0]	[49.0, 50.0, 52.5]	[50.0, 51.4]
Темп. газов (T_{gaz})	500–510 ºС	[500.3, 502]	[500, 502, 509]	[502, 508]
Давление газов (P_{gaz})	0,01–0,1 кПа	[-0.007817, 0.02]	[-0.000199, 0.02, 0.1016]	[0.02, 0.05]
Расход воды (F_w)	400–720 м^3/час	[400, 489]	[410 489 605]	[489 595]

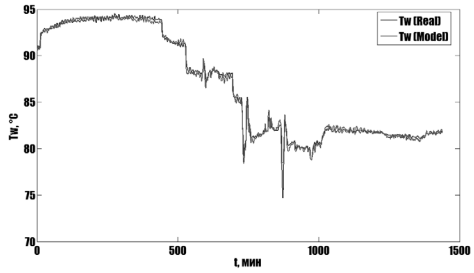


Рис. 6. Температура сетевой воды, выход нечеткой модели и реальные данные

III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Целью данной работы было создание имитационной модели котла-утилизатора, которая должна была с требуемой точностью давать информацию о процессах, проходящих в котле-утилизаторе. Для создания модели был выбран аппарат нечеткой логики. Нечеткая логика была выбрана по нескольким причинам: у объекта отсутствовала полная информация, о внутренних параметрах, нечеткие модели просты в адаптации к изменяющимся условиям.

Первым шагом создания нечеткой модели стало определение лингвистических переменных и выбор вида и количества функций принадлежности. На этом этапе были определенны границы изменения лингвистических переменных, выбрана оптимальная форма функций принадлежности. Если рассматривать настройку функций принадлежности, то эти действия можно отнести к «тонкой» подстройке нечеткой модели, в тоже время корректировка базы правил относится к «грубой» подстройке нечеткой модели, которая приводит к существенному изменению концепции самой модели. База правил была составлена согласно данным о технологии процесса утилизации энергии газа в котле. После создания и настройки базы правил было проведено тестирование нечеткой модели на предмет определения точности.

Таким образом, предлагаемый в данной работе подход может быть использован при создании моделей, с неполным математическим описанием или создание математического описания которых является трудоемким. Созданная нечеткая модель позволяет с требуемой точностью моделировать процесс теплообмена в котле, что подтвердилось при сравнении с данными реального объекта. Разработанная модель может быть использована при разработке компьютерного тренажера оператора ГТУ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

[1] Зыков А.К., Паровые и водогрейные котлы. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 128 с

[2] Липов Ю.М., Третьяков Ю.М. Котельные установки и парогенераторы. – М.; Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2005. – 592 с..

[3] Воинов,А.П. Куперман, Л.Н., Котлы-утилизаторы и энерготехнологические агрегаты – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 272 с.

[4] Днепров Ю.В., Смирнов Д.Н., Файнштейн М.С. Монтаж котельных установок малой и средней мощности. – М.: Высш. школа, 1980. – 334 с.

[5] Пегат А. Нечеткое моделирование и управление. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2015. – 798 с.

[6] Штобва С.Д., Проектирование нечетких систем средствами MATLAB. – М.: Горячая линия – Телеком, 2007. – 288 с

[7] Заде Л., Понятие лингвистической переменной и его применение для принятия приближенных решений-М.: Мир, 1976.-168 с

[8] Mamdani E.H. Applications of fuzzy algorithms for control of simple dynamic plant. Proceedings IEEE, 1974, No. 121 (12), pp. 1585-1588.

[9] Гостев В.И. Проектирование нечетких регуляторов для систем автоматического управления. – СПб.: БХВПетербург, 2011. – 416 с.

[10] Круглов В.В. Интеллектуальные информационные системы: компьютерная поддержка систем нечеткой логики и нечеткого вывода/ В.В.Круглов, М.И.Дли. – М.: Физматлит, 2002. –198с.

[11] Круглов В.В. Нечеткая логика и искусственные нейронные сети/ В.В.Круглов, М.И.Дли, Р.Ю.Голунов. – М.: Физматлит, 2001.– 221с.

Применение имитационного моделирования для совершенствования функционирования модуля интеллектуальной транспортно-логистической системы

Ляпин С.А.
ФГБОУ ВО
«Липецкий государственный технический университет»
Липецк, Россия
lyapinserg2012@yandex.ru

Ризаева Ю.Н.
ФГБОУ ВО
«Липецкий государственный технический университет»
Липецк, Россия
rizaeva.u.n@yandex.ru

Кадасев Д.А.
ФГБОУ ВО
«Липецкий государственный технический университет»
Липецк, Россия
kadasev@mail.ru

Воронин Н.В.
ФГБОУ ВО
«Липецкий государственный технический университет»
Липецк, Россия
stels650n@mail.ru

***Abstract* — The paper discusses the methodological aspects of the use of simulation modeling for proactive control of the functioning of the regional module of an intelligent transport and logistics system. The demand for regional intellectual transport and logistics systems in the Russian Federation is due to the need to create a national transport system that provides proactive intellectual management of traffic flows, cargo and passenger traffic based on logistic principles and ensuring the required level of system (road transport, economic and environmental) security.**

Ключевые слова — имитационное транспортное моделирование, интеллектуальная транспортно-логистическая система, оптимизация транспортных систем

I. Введение

Применение инновационных технологий, перспективы дальнейшей информатизации и компьютеризации моделирования транспортных процессов требуют кардинальных изменений в практике решений при интеллектуализации транспортно-логистических систем. Имитационное моделирование движения автотранспортных потоков достаточно адекватно описывает поведение транспортных потоков и используется, в том числе, для проверки предлагаемых организационных решений, позволяя оценить эффективность работы транспортно-логистической системы на основе формализованных критериев эффективности, учитывающих не только развитие транспортно-логистической инфраструктуры региона, его социально-экономическое развитие, но и развитие транспортно-логистической инфраструктуры и социально-экономическое развитие граничащих с ним субъектов.

Интеллектуализация транспортно-логистических систем имеет наиболее перспективное направление развития во всем мире. В настоящее время в РФ разрабатывается комплекс интеллектуальных транспортно-логистических систем (ИТЛС). ИТЛС объединяет в себе следующие элементы, необходимые для создания единой транспортной системы страны: крупнейшие транспортные узлы, дороги и улицы городов, региональные комплексы дорожной системы, транспортную сеть округов, включая крупнейшие транспортные артерии страны, логистическую инфраструктуру [1]. Единая транспортная система взаимосвязывает все элементы дорожного хозяйства и устанавливающая их соподчинение. Реализация управления и принятия решений в ИТЛС требует набор прикладных программ, направленных на решения конкретных организационных задач, возникающих при управлении потоками: снижение аварийности, повышение эффективности перевозок грузов и пассажиров, повышение эффективности существующих схем организации дорожного движения, улучшение экологических показателей, обеспечение логистических принципов и т.д.

С развитием дорожной и логистической инфраструктуры, а также увеличением роста автомобилизации прикладные программы имитационного моделирования, как макро, так и микроуровня получили широкое распространение в связи с необходимостью оптимизации схем организации дорожного движения, а также повышения эффективности и рационального использования улично-дорожной сети города. Использование имитационного компьютерного моделирования движения транспортных средств на улично-дорожной сети является необходимым элементом исследования, так как проведение натурных экспериментов в реальной системе практически невозможно, небезопасно и экономически не эффективно. Имитационная транспортная модель позволяет повторять поведение реальной системы с высоким уровнем достоверности, реализовывать различные варианты организации дорожного движения и проверять их эффективность, осуществлять проактивное интеллектуальное управление транспортными средствами, что повысит устойчивость развития региона, ресурсные возможности его транспортно-логистической инфраструктуры для повышения качества обслуживания пассажиро- и грузопотоков, снижения отрицательного воздействия ТС на внешнюю и окружающую среды, повышения конкурентоспособности региона.

Для решения проблем, возникающих в ИТЛС при использовании проактивного управления, из-за ограниченности априорной информации об элементах системы, отсутствиями функциональных зависимостей их влияния друг на друга при изменении технологических характеристик в условиях функционирования, наличия

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 18-71-10034)

©2019 ИПУСС РАН, СамГТУ, IEEE

действующих неконтролируемых возмущений, большого времени запаздывания реакции на управляющее воздействие, предлагается использовать методы управления с прогнозирующими моделями – Model Predictive Control (MPC) совместно с имитационными моделями, разработанными в среде AnyLogic. Этот подход позволяет обеспечить высокие адаптивные свойства разрабатываемых систем управления.

II. Создание моделей проактивного интеллектуального управления РТЛС

В основе MPC-подхода применительно к транспортным потокам лежит схема управления светофорными объектами, динамическими информационными табло с рекомендуемой скоростью и разрешенными направлениями движения. Этапы реализации проактивного интеллектуального управления региональной транспортно-логистической системой (РТЛС) на основе прогнозирующих инверсных моделей системой можно представить в виде последовательности на рис.1 [2, 3].

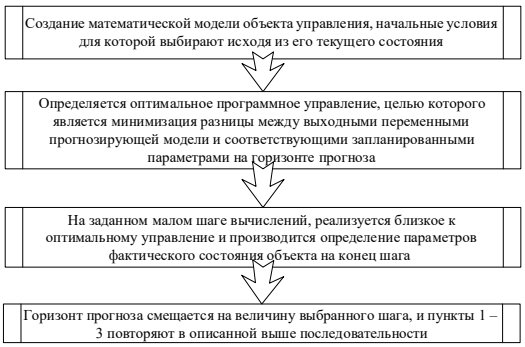


Рис. 1. Этапы реализации проекта проактивного интеллектуального управления РТЛС

Использование прогнозирующих инверсных моделей с малым горизонтом прогноза непосредственно в качестве регуляторов на практике оказывается вполне реализуемым для реальных систем управления городскими транспортными потоками [4]. К данному классу систем управления можно отнести прогнозирующее инверсное нейроуправление (ПИН), в котором оптимизационная процедура производится при помощи имитационного транспортного моделирования, реализованного в среде AnyLogic, а построение нейрорегулятора осуществляется непосредственно по экспериментальным данным "вход – выход" объекта. Это избавляет от необходимости априорного знания математической модели объекта. В качестве регулятора в системах ПИН используется прогнозирующая инверсная модель интегрированная с построенной имитационной моделью. Синтез таких моделей выполняется с привлечением аппарата искусственных нейронных сетей (ИНС) в соответствии со схемой, представленной на рис. 2.

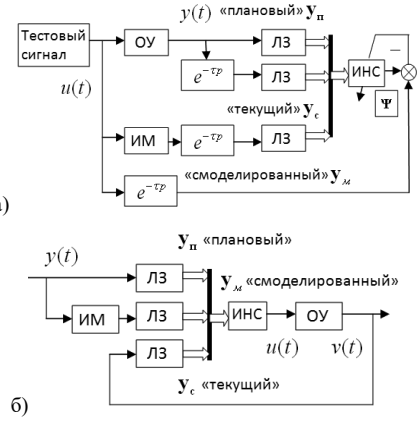


Рис. 2. Схема обучения нейросети (а) и схема регулятора (б)

В соответствии с данной схемой произвольные управляющие воздействия $u(t)$, прикладываемые к объекту управления ОУ и имитационной модели ИМ, рассматриваются как примеры целенаправленных управлений, стремящихся перевести ОУ и ИМ за назначенное время τ в некоторое новое состояние $y(t+\tau)$. При этом входной вектор нейронной сети $\mathbf{P}$ содержит информацию о тройке состояний системы, которые в рамках методики интерпретируются как "текущее" $\mathbf{y}_с$ и "плановое" $\mathbf{y}_п$ и «смоделированное» $\mathbf{y}_м$. Формирование этих состояний осуществляется с помощью блоков ЛЗ (линия задержки с отводами) в виде регрессионных векторов:

$$\begin{aligned}\mathbf{y}_с &= \left[y(t-\tau), y(t-\tau-\Delta t), \ldots, y(t-\tau-d\Delta t)\right]\\ \mathbf{y}_м &= \left[y_м(t-\tau), y_м(t-\tau-\Delta t), \ldots, y_м(t-\tau-d\Delta t)\right]\\ \mathbf{y}_п &= \left[y(t), y(t-\Delta t), \ldots, y(t-d\Delta t)\right]\end{aligned} \quad (1)$$

где Δt – период дискретизации; τ – интервал времени, на который с помощью элемента временной задержки $e^{-\tau p}$ разнесены эти состояния (определяет горизонт прогноза синтезируемой модели); d – число задержанных значений в образуемых векторах. В соответствии со стратегией MPC, использующей принцип удаляющегося горизонта, обучение нейронной сети начинается с использования первого значения дискретной последовательности управляющих воздействий, образующейся на интервале времени между "плановым" и "текущим" состоянием (целевое значение $\psi = u(t-\tau)$).

Обучающая выборка формируется за счет объединения множеств входных векторов $\mathbf{P}$, получаемых в текущем «прогоне» и соответствующих им целевых значений $\boldsymbol{\psi}$. Нейронная сеть, прошедшая обучение на основе этих данных, «приобретает способность генерировать такое управляющее воздействие, которое необходимо приложить ко входу объекта на текущем интервале управления, чтобы перевести его из текущего состояния $\mathbf{y}_с$ в плановое $\mathbf{y}_п$ за время горизонта прогноза τ » [5, 6].

Для создания имитационных транспортных моделей использовалась программа AnyLogic PLE. Библиотека дорожного движения программы AnyLogic PLE версии 8.1.0 является инструментом имитационного моделирования, который позволяет получать подробную статистику о различных аспектах функционирования транспортной системы в зависимости от входных данных. Характерной особенностью является детальная имитация перемещения транспортных средств и иных участников дорожного движения по улично-дорожной сети с учетом требований Правил дорожного движения [7]. AnyLogic позволяет исследовать изменения характера движения в зависимости от транспортной инфраструктуры, планировочных характеристик улично-дорожной сети, наличия прилегающих к автомобильным дорогам парковочных, а также специально оборудованных для остановки общественного транспорта мест [8]. Использование интегрированной программной «Библиотеки дорожного движения» позволяет моделировать и визуализировать движение потоков транспортных средств различных категорий. Выбор пути и характер поведения автомобилей задается с учетом ограничений скорости, логики смены полос и выбора менее загруженной полосы.

Для создания транспортной модели требуется исследование следующих параметров:

- характеристики транспортной инфраструктуры (тип покрытия проезжей части, количество полос движения в каждом направлении, категория дороги, дорожная разметка, дорожные знаки, наличие разделительной полосы, наличие остановочных пунктов общественного транспорта);
- параметры светофорного регулирования (схема пофазного разъезда, режим работы, длительность основных и промежуточных тактов);
- основные параметры транспортных потоков (интенсивность, состав, загрузка по полосам).

Для построения сегментов дороги выбираются начальная и конечная точки, характеризующие инфраструктурные территориальные каркасы. Инфраструктурный каркас включает в себя транспортно-коммуникационные коридоры, роль которых выполняют автомобильные дороги и улично-дорожная сеть городов. Основой для сегментов проезжих частей выступают геоинформационные и картографические сервисы (рис. 3).

Построение перекрестков и пересечений происходит автоматически при наслоении дорог и совмещении конечных точек одной проезжей части с осевой линией другой. Выбор разрешенных направлений на перекрестке осуществляется с помощью соединительных полос: сплошная белая линия – движение в данном направление разрешено, прерывистая – запрещено.

Изменение параметров сегментов производится в правом диалоговом окне «Свойства» (рис. 4), включающим в себя следующие основные элементы: имя сети, характер движения, количество полос основного и встречного движения, ширина разделительной полосы.

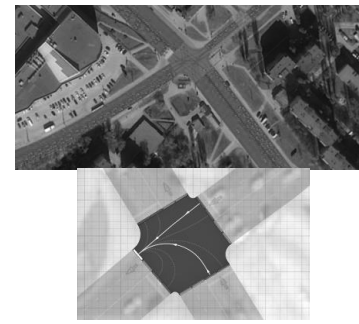


Рис. 3. Создание имитационной транспортной модели

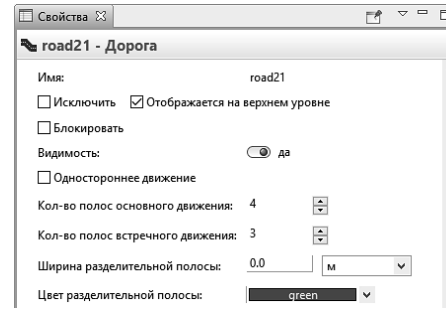


Рис. 4. Изменение параметров дорожной сети

III. Оптимизация параметров транспортных систем

В качестве целевой функции при оптимизации параметров движения транспортных средств на улично дорожной сети или эффективности используемого светофорного регулирования в программе AnyLogic используется такой критерий эффективности как минимум среднего времени проезда транспортными средствами участка сети [9].

В качестве исследуемого участка сети был выбран сегмент транспортного коридора - магистральная улицы Космонавтов города Липецка общегородского значения второго класса - регулируемого движения протяженностью 1,5 км со следующими характеристиками: 2 полосы движения в каждом направлении, ширина полосы - 3,5 м, количество остановочных пунктов общественного транспорта – три.

Основное назначение рассматриваемого транспортного коридора - транспортная связь между жилыми, промышленными, жилыми районами и центром города или центрами планировочных районов; выходы на внешние автомобильные дороги. Движение регулируемое. Пропуск всех видов наземного транспорта. При соответствующем обосновании для движения наземного общественного транспорта устраивается выделенная полоса. Пересечение с дорогами и улицами других типов и категорий - в одном уровне. Пешеходные переходы устраиваются вне проезжей части и в уровне проезжей части со светофорным регулированием Фрагмент существующего графика режима работы светофорной сигнализации на исследуемом участке представлен на рис.5. Расчётное время проезда рассматриваемого участка сети, полученное в построенной имитационной модели с учетом существующего режима работы светофорной сигнализации, представлено на рис. 6.

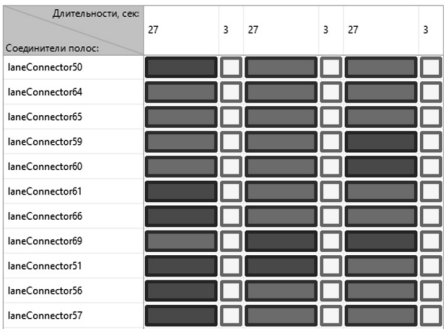


Рис. 5. Создание режима работы светофорной сигнализации

времяпроезда

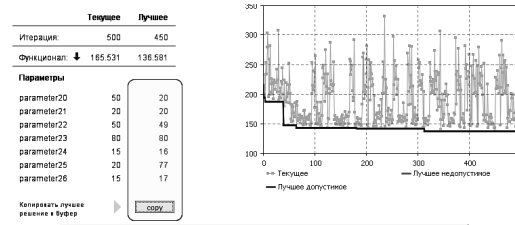
Кол-во	1,160		
Среднее	438.185		
Мин	112.012		
Макс	1,350.778		
Среднеквадр. отклонение	357.567		
Доверит. интервал для среднего	20.577		
Сумма	508,294.917		
От	До	Плотность вероятности	функция распределения
111.9	284.7	676	676
284.7	457.5	92	768
457.5	630.3	76	844
630.3	803.1	70	914
803.1	975.9	64	978
975.9	1,148.7	128	1,106
1,148.7	1,321.5	49	1,155
1,321.5	1,494.3	5	1,160

Рис. 6. Среднее время проезда участка улично-дорожной сети при существующем режиме работы светофорной сигнализации

Параметром оптимизации в транспортной модели выступают длительности фаз светофорного регулирования [10]. Для каждого рассматриваемого параметра зададим значение в пределах от 10 до 40 секунд, так по соображениям безопасности движения длительность цикла больше 120 секунд считается недопустимой, а водители при продолжительном ожидании размещающего сигнала могут посчитать светофор не исправным и начать движение на запрещающий сигнал. Применение длительности светофорного цикла менее 25 секунд считается нецелесообразным. Результаты проведенного имитационного эксперимента-оптимизации, а также рекомендуемые параметры, полученные в результате минимизации целевой функции, представлены на рис. 7.

Анализ результатов показывает, что моделирования параметров светофорного регулирования и их оценка по значению целевой функции сократит время сообщения между заданными пунктами следования транспортных средств на 52 % [11].

Проведение мероприятий по повышению эффективности работы светофорной сигнализации на участке улично-дорожной сети необходимо с целью повышения безопасности дорожного движения, а также снижения транспортной задержки. Уменьшение выбросов вредных веществ в окружающую среду, повышение эколого-экономической эффективности эксплуатации автомобильного транспорта, улучшение качества транспортных услуг, являются главными направлениями деятельности по совершенствованию функционирования транспортной системы.



времяпроезда

Кол-во	1,281		
Среднее	226.208		
Мин	72.159		
Макс	604.48		
Среднеквадр. отклонение	85.794		
Доверит. интервал для среднего	4.698		
Сумма	289,772.331		
От	До	Плотность вероятности	функция распределения
72.1	148.9	190	190
148.9	225.7	493	683
225.7	302.5	429	1,112
302.5	379.3	103	1,215
379.3	456.1	23	1,238
456.1	532.9	29	1,267
532.9	609.7	14	1,281

Рис. 7. Выходные данные эксперимента – оптимизации

IV. Моделирование парковочных мест в зоне сложного пересечения

Планирование и обустройство парковочной зоны вблизи транспортных коридоров, центров тяготения необходимо выполнять с учетом загрузки прилегающей сети, транспортной инфраструктуры, прогнозируемой численности поступающих корреспонденций. Одной из главных задач при проектировании парковочных мест является минимизация конфликтных ситуаций при въезде и выезде с территории парковки, ведущих к увеличению загруженности улично-дорожной сети города, обеспечивая комфортные условия всем участникам дорожного движения [12].

Недостаток парковочных мест, а также их ненадлежащая организация является следствием несоответствия темпов роста индивидуального легкового автомобильного транспорта, градостроительной политики и ведет к изменению пропускной способности улично-дорожной сети города в целом, обусловленной зачастую невозможностью реконструкции, ввиду исторически сложившейся транспортной застройки улиц. Нарушение правил остановки и стоянки транспортных средств влияет как на безопасность жизнедеятельности населения, оказывая негативное влияние на здоровье людей, особенно в местах концентрации стоянки автомобилей рядом с парковой зоной отдыха жителей города, так и на безопасности дорожного движения, особенно при парковке автомобиля на проезжей части, что чаще всего приводит к ухудшению видимости и сужению параметров видимости всеми участниками движения. Внедрение парковочных мест в имитационную модель осуществляется посредством задания следующих натурных характеристик исследуемого объекта: тип, количество мест, длина парковочного места (см. рис. 8).

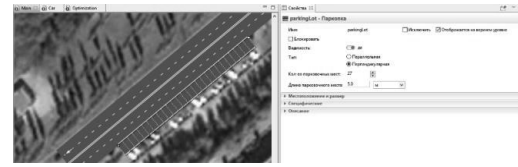


Рис. 8. Определение характеристик парковочных мест

Среднесуточная продолжительность стоянки транспортного средства на парковочном месте варьируется от 1 часа 15 минут до 1 часа 30 минут в зависимости от времени года: растёт в весенний и осенний периоды, снижаясь в период «летнего сезона отпусков». Установим назначение парковочных мест, определим параметры максимальной вместимости парковочной зоны и сформируем логическую схему дискретных процессов, представленную на рис. 9.

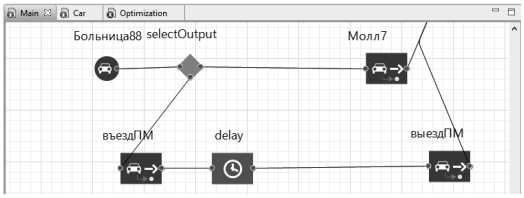


Рис. 9. Схема моделирования парковочных мест

Варьируя параметры эксперимента, получаем выходные данные, включающие время пересечения автомобилями контрольного участка при свободном движении и загрузки магистрали близкой к ее пропускной способности, представленные на рис. 10.

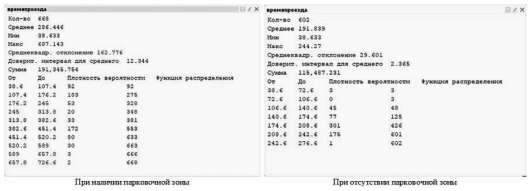


Рис. 10.Результаты моделирования парковочных мест

В результате проведенного имитационного эксперимента видно, что при свободном движении автомобили движутся одиночно, взаимодействие между ними отсутствует. Выезд и въезд транспортных средств с парковочной зоны не создает помех участникам движения, движущихся по главной дороге. При загрузке магистрали близкой к пропускной способности, на специализированной правой полосе проезжей части, возникают конфликтные ситуации между автомобилями, покидающими парковку, и осуществляющими поворот направо, что приводит к возникновению дополнительных задержек. При этом движения прямо возможно только по одной полосе, как следствие время проезда пересечения возрастает на 50%.

V. Моделирование маршрутов движения городского транспорта общественного пользования

Городской транспорт общественного пользования (ГТОП) является неотъемлемой частью пассажирских перевозок. Оптимальный логистический расчет и распределение маршрутов следования ГТОП по магистральной сети города существенно ускоряет время доставки пассажиров в конечный пункт назначения, что приводит к сокращению периода оборота денежных средств перевозчиков. Современная пассажирская транспортная система должна отвечать интересам всех участников транспортного процесса, а главная цель функционирования системы направлена на повышение качества и безопасности транспортного обслуживания пассажиров. Большое количество маршрутов ГТОП обуславливает важность и необходимость снижения затрат времени на перемещение пассажиров по транспортной сети города [13].

Добавить специализированные места остановки ГТОП в моделируемую дорожную сеть возможно в разделе «Автобусная остановка». При этом в исполнительном диалоговом окне необходимо задать алгоритм, который будет описывать движение ГТОП по созданным автобусным остановкам (см. рис. 11).

Определение ряда параметров созданного агента «Bus», позволяет хранить данные о количестве пройденных остановочных пунктов. Организация движения автобуса по остановочным пунктам, осуществляется с помощью создания «Агента». Создание нового типа агента необходимо для реконструкции маршрута следования ГТОП. Схемы процесса движения автобуса и заезда на остановочный пункт приведена на рис. 12).

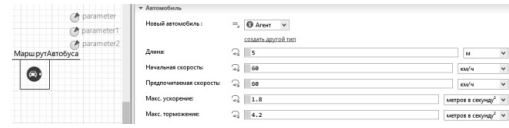


Рис. 11.Задание характеристик новому типу агента

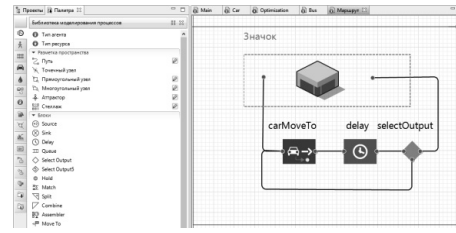


Рис. 12.Построение схемы процесса движения агента

Определение максимальной вместимости остановочного пункта зависит непосредственно от времени нахождения на остановке единицы подвижного состава. Установим время остановки в 25, 30, 40 сек, используя треугольное распределение. Зададим интенсивность прибытия - 1 минута, длина автобуса - 8 м, начальная скорость – 60 км/ч, предпочитаемая скорость – 60 км/ч и деактивируем пункт движение агента по случайной полосе. Моделирование маршрутов движения общественного транспорта показано на рис.13.

Рис. 13.Смоделированная схема маршрутов движения общественного транспорта

Для разработки рационального управления маршрутами движения ГТОП необходимо

руководствоваться методологией, принципами сдержек и противовеса при оптимизации схем взаимодействия экономических, социальных, экологических, производственных факторов с использованием основных научных подходов.

Наиболее полное соответствие имитационной модели существующей, достигается посредством внедрения новых типов ГТОП, обладающий уникальными параметрами соответствующие определенному подвижному составу. Выбор рационального типа и количества подвижного состава для эксплуатации на маршрутах следования городского общественного транспорта необходимо рассматривать с точки зрения основных участников транспортного процесса. Комплексное решение задачи позволит не только обеспечить освоение изменяющегося в течении суток пассажиропотока, а также улучшить установленные требования к качеству обслуживания пассажиров.

VI. Заключение

Наиболее важным при организации дорожного движения является повышение уровня системной безопасности транспортных потоков, который обеспечит непрерывность, оптимальную скорость сообщения, удобство и безопасность дорожного движения; высокую пропускную способность; минимум транспортных задержек; высокий уровень дорожного сервиса; удовлетворение эстетическим, экологическим, экономическим и дорожно-транспортным требованиям.

При формировании в регионе ИТЛС применение имитационных транспортных моделей, как цифровых двойников автомобильной улично-дорожной сети и транспортного потока, может быть использовано для анализа работы, управления, оптимизации параметров транспортного потока и обслуживания в режиме реального времени, а также для прогнозирования состояния системы. Исследование, планирование, прогнозирование транспортно-логистических потребностей производственных, торговых, транспортно-логистических организаций, заказчиков и потребителей транспортных услуг предложено осуществлять, используя возможности региональной транспортно-логистической информационной системы [14, 15]. Применение имитационных транспортных моделей для совершенствования функционирования модуля интеллектуальной транспортно-логистической системы позволит выполнять прогнозирование образования заторов, а также мгновенно определять режим работы светофорной сигнализации исходя из дорожной ситуации и параметров транспортных потоков. Применение такого подхода позволит снизить транспортные задержки, при этом обеспечивая высокий уровень безопасности дорожного движения. Интеллектуальная транспортно-логистическая система позволит определять «узкие места» в транспортно-логистической системе региона, формировать рекомендации по прокладке новых и изменению существующих маршрутов, повысить эффективность функционирования терминалов и транспортных средств, удобство и эффективность использования транспортно-логистической инфраструктуры, ее безопасность, централизовать и упорядочить информационные потоки.

Список литературы

[1] Sysoev A., Kadasev D., Lyapin S., Rizaeva Y., Khabibullina E. Conceptual scheme of regional module for intelligent transportation and logistics system. - International Conference on Traffic and Transport Engineering ICTTE. - Belgrade, 2018. - P.139-146. (в печати)

[2] Змеу К.В., Марков Н.А., Шипитько И.А., Ноткин Б.С. Безмодельное прогнозирующее инверсное управление с регенерируемым эталонным переходным процессом // Информатика и системы управления. – 2009. – 3(21). – С.109-117.

[3] Змеу К.В., Марков Н.А., Ноткин Б.С. Прогнозирующее инверсное нейроуправление позиционно-следящим пневмоприводом//Интеллектуальные системы управления.-2011.-3(29).-С.104-117.

[4] Жучков Р.Н., Пакшин П.В. Стабилизирующее сетевое управление линейными дискретными системами в условиях потери пакетов данных // Управление большими системами. – 2011. – №33. – С. 113–126.

[5] Приступа М.Ю., Смагин В.И. Прогнозирующее управление дискретными системами с неизвестным входом и его применение к задаче управления экономическим объектом //Вестник Томского государственного университета. Управление, вычислительная техника и информатика. 2012. № 1(18). С. 5–15.

[6] Приступа М.Ю., Смагин В.И. Прогнозирующее управление выходом нестационарной дискретной системы при ограничениях на управление// Вестник Томского государственного университета. Управление, вычислительная техника и информатика. 2013. № 3(24). С. 14–23.

[7] Кадасев Д.А. Имитационное моделирование движения транспортных средств на мостовых переходах в г. Липецке // Вестник Липецкого государственного технического университета. - 2018. - № 2 (36). - С. 81-87.

[8] Кадасев Д.А., Воронин Н.В. Создание имитационной модели района города при интеллектуализации региональных транспортно-логистических систем // В сборнике: Инфокоммуникационные и интеллектуальные технологии на транспорте. Материалы I международной научно-практической конференции. В 2 т. Т. 1. – Липецк: Изд-во Липецкого государственного технического университета, 2018. - С. 60-67.

[9] Korchagin V. A., Lyapin S.A., Rizayeva Yu. N., Konovalova V.A. Subsystem of Road Accident Consequences Elimination. Methodology of Subsystem Efficiency Improvement. Transportation Research Procedia. 2017. Vol. 20, Issue No.3. pp. 316-321.

[10] Ляпин С.А., Кадасев Д.А., Кадасева И.М. Моделирование и оптимизация светофорного регулирования при транспортных заторах в программе AnyLogic // Организация и безопасность дорожного движения Материалы XII Национальной научно-практической конференции с международным участием. В 2 т. Т. 2. – Тюмень: Изд-во ТИУ, 2019. - С. 268-272.

[11] Кадасев Д. А., Воронин Н. В. Оптимизация параметров транспортных систем с помощью программы ANYLOGIC // Организация и безопасность дорожного движения: Матер. XI международной научно-практической конференции: в 2х томах / отв. ред. Д. А. Захаров. Тюмень: ТИУ, 2018. Т.1. С. 304-309

[12] Кадасев Д.А., Воронин Н.В. Интеллектуальное управление транспортными потоками в транспортно-логистических модулях при возникновении дорожных инцидентов // Организация и безопасность дорожного движения. Матер. XII Национальной научно-практической конференции с международным участием. В 2 т. Т. 1. – Тюмень: Изд-во ТИУ, 2019. - С. 305-311.

[13] Воронин Н.В., Кадасев Д.А. Моделирование маршрутов движения городского транспорта общественного пользования в программе ANYLOGIC // Прикладная математика и информатика: современные исследования в области естественных и технических наук: Сб. научных статей IV науч.-практ. межд. конф. (школы-семинара) молодых ученых, Тольятти, 2018. - С. 364-369.

[14] Корчагин В.А., Ризаева Ю.Н., Сухатерина С.Н. Концептуальная модель интеллектуальной экологической транспортно-логистической системы доставки сельскохозяйственной продукции / Совершенствование автотранспортных систем и сервисных технологий: Сб. науч. трудов по матер. межд. науч.-техн. конф. Саратов: СГТУ им. Гагарина Ю.А. 2018. С. 323-326.

[15] Корчагин В.А., Ризаева Ю.Н., Сухатерина С.Н. Организационно-функциональная структура областного интеллектуально-экологистического центра перевозок сельскохозяйственных культур / Инфокомуникационные и интеллектуальные технологии на транспорте: матер. межд. науч.-практ. конф. Липецк: ЛГТУ. 2018. С. 95 – 101.

Принятие решений при управлении социально-экономическими системами с учетом формирования их рейтинговой оценки на основе интеллектуальных технологий

Макарова Е.А.
Уфимский государственный авиационный технический университет
Уфа, Россия
ea-makarova@mail.ru

Закиева Е.Ш.
Уфимский государственный авиационный технический университет
Уфа, Россия
zakievae@mail.ru

Габдуллина Э.Р.
Уфимский государственный авиационный технический университет
Уфа, Россия
gabdullina_er@mail.ru

***Abstract* — Consideration is given to the questions of preparation of management decision-making on the basis of the formation of a rating assessment of socio-economic systems, in the capacity of which may be considered regions, municipal districts, enterprises. The methods of intelligent data analysis of the state of the regions of Russia are used to generate knowledge in the form of classification rules and management decision-making. As methods of knowledge extraction, the methods of component and neural network data analysis are considered.**

Ключевые слова — социально-экономическая система, интеллектуальный анализ, рейтинговая оценка, управление, принятие решений

I. Введение

Согласно статье 7 Конституции «Российская Федерация является социальным государством, политика которого направлена на создание условий, обеспечивающих достойную жизнь и свободное развитие человека» [1].

Россия отличается от других стран значительным разнообразием региональных условий, что порождает дифференциацию территорий по показателям социально-экономического развития [2]. Эти различия требуют учета региональных особенностей в стратегиях развития субъектов Федерации и муниципальных образований. В то же время все эти стратегии должны быть направлены на достижение единого ориентира – повышение качества и уровня жизни населения.

В концепции долгосрочного социально-экономического развития РФ на период до 2020 года обозначены направления перехода к инновационному социально ориентированному типу экономического развития. В качестве результатов развития определены как повышение качества жизни, так и сокращение дифференциации уровня и качества жизни на территории России с помощью мер социальной и региональной политики [3].

В российских условиях вопрос о выравнивании качества жизни в регионах как инструменте сдерживания пространственной концентрации экономической активности и неравномерности расселения имеет масштабное практическое значение [4-6].

Одним из ключевых информационных инструментов в решении задачи сокращения региональной дифференциации качества жизни населения может стать рейтинговая оценка. Рейтинг – интегрированная порядковая характеристика. Специалисты отмечают его целевую направленность, комплексность, настраиваемость, кумулятивность, простоту, интерпретируемость, независимость, периодичность обновления, сравнительно невысокую стоимость разработки [4].

Среди крупнейших зарубежных рейтинговых агентств известны *Standard & Poor's*, *Fitch*, *Moody's*. В России это – рейтинговые агентства «РИА Рейтинг», «Эксперт РА», Национальное рейтинговое агентство, «Рус-Рейтинг», *АК&М*. Агентства постоянно совершенствуют методологию построения рейтингов в части используемых процедур исследования и показателей оценки, структурирования совокупности участников, ограничений, форм представления, правил распространения и другое.

Совершенствование модели и практики рейтинговой оценки качества жизни в российских регионах и ее включение в число показателей для оценки эффективности деятельности органов исполнительной власти субъектов Российской Федерации будут способствовать решению задачи сбалансированного пространственного развития.

В рамках проводимого исследования решаются задачи разработки структуры системы управления и алгоритмов принятия решений при управлении социально-экономическим системами (СЭС) на основе интеллектуальных технологий, при этом в качестве СЭС рассматриваются регионы РФ. Особенности управления социально-экономическими системами и необходимость применения интеллектуальных методов при разработке систем поддержки принятия решений по управлению СЭС рассмотрены в работах [7-9, 13-23].

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 17-08-01155 А «Интеллектуальная поддержка принятия решений при управлении многоотраслевым производственным комплексом как многосвязным динамическим объектом на основе нейросетевого и имитационного моделирования».

©2019 ИПУСС РАН, СамГТУ, IEEE

II. Структура интеллектуальной системы управления функционированием СЭС с учетом их рейтинговой оценки

Предложена двухуровневая структура интеллектуальной системы управления процессом функционирования социально-экономических систем (рис. 1).

В качестве объекта управления рассматривается процесс функционирования СЭС, представленных в виде множества взаимосвязанных друг с другом динамических моделей кластеров регионов. На первом уровне управления реализован принцип управления по обратной связи, на втором уровне – принцип ситуационного управления. Целью управления по обратной связи является достижение целевых показателей Y^0 состояния СЭС путем формирования управляющих воздействий U_1 по корректировке финансовых ресурсов, расходуемых на производство валового регионального продукта, на основе сравнения фактических показателей Y с целевыми.

Уровень ситуационного управления включает два блока: блок анализа состояния СЭС и блок поддержки принятия решений. Анализ состояния СЭС проводится методами компонентного и кластерного анализа, на основе результатов которых формируется множество C кластеров регионов РФ, а также вектор R их рейтинговой оценки. Поддержка принятия решений основана на применении нейросетевых технологий построения самоорганизующихся карт (СОК) Кохонена. Применение СОК позволяет формировать кластеры СЭС и строить траектории их развития в виде цепочек кластеров регионов. Построение нейро-нечетких сетей позволяет формировать правила поддержки принятия решений при управлении СЭС и осуществлять выработку управляющих воздействий U_2 по корректировке плановых показателей по расходу финансовых ресурсов.

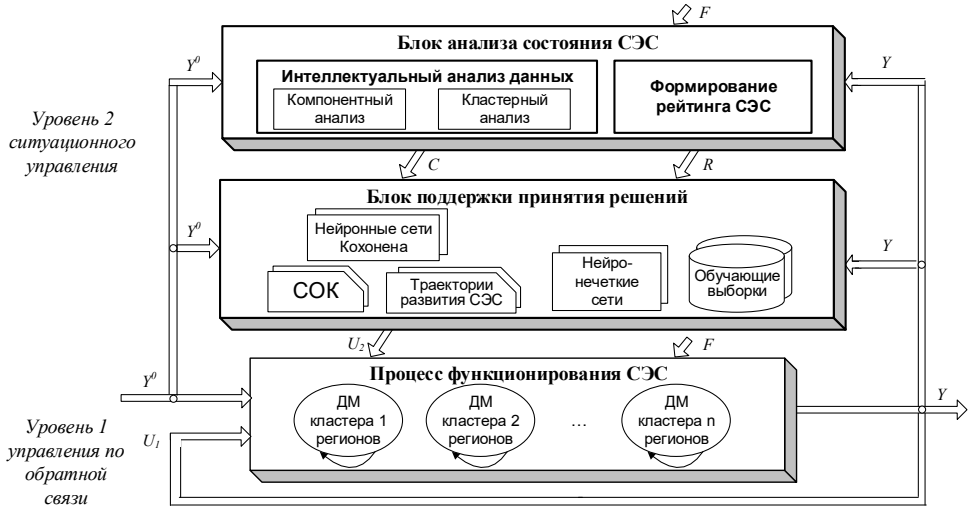


Рис. 1. Структура интеллектуальной системы управления функционированием СЭС

Далее рассматриваются два алгоритма: алгоритм анализа состояния СЭС и формирования их рейтинговой оценки, а также алгоритм формирования правил принятия решений при управлении СЭС. Предлагаемые алгоритмы разработаны на основе интеллектуальных технологий, их применение рассматривается в сфере труда, образования, инноваций (ТОИ). Формирование состава выделенной сферы, включающей в себя области «Труд», «Образование», «Инновации», обусловлено наличием тесной взаимосвязи между показателями, характеризующими трудовую деятельность населения, состояние образования и инновационную деятельность региональных СЭС. Названные области выделены в результате анализа разработанной ранее иерархической модели качества жизни [10], а также анализа контуров воспроизводственного процесса [11].

Информационная база исследования составлена из официальных статистических данных, публикуемых на сайте Федеральной службы государственной статистики [12]. По результатам анализа более 100 признаков, характеризующих выделенные области, сформированы пять выборок. Первая и вторая выборки характеризуют состояние трудовых ресурсов (область «Труд») и включают такие признаки, как численность экономически активного населения, численность занятого населения по видам экономической деятельности, численность занятого населения с разным уровнем образования и другие. Третья и четвертая выборки характеризуют процесс предоставления образовательных услуг населению (область «Образование») и включает следующие признаки: число образовательных организаций разного уровня, численность профессорско-преподавательского состава образовательных организаций высшего образования и другие. Пятая выборка характеризует инновационную деятельность (область «Инновации») и включает признаки: число организаций, выполняющих научные исследования и разработки, инновационная активность организаций, инвестиции в основной капитал и другие.

III. Алгоритм анализа состояния СЭС и формирования их рейтинговой оценки в сфере ТОИ

Предлагаемый алгоритм включает следующие шаги. *На первом шаге* для каждой из пяти сформированных выборок выполняется компонентный анализ.

Компонентный анализ первой выборки, характеризующей уровень и структуру занятости населения в основных видах экономической деятельности с учетом доходов населения и жилищных условий, позволил выявить семь кластеров региональных СЭС. Диаграмма рассеивания в плоскости первой главной компоненты (ГК1) и второй главных компоненты (ГК2) для первой выборки приведена на рис. 2.

Выделено два малочисленных и экономически развитых кластера (4 и 6) с высоким и довольно высоким уровнем занятости в таких видах экономической деятельности (ВЭД), как обрабатывающее производство, образование, здравоохранение, торговля и других (по ГК1); три малочисленных кластера (3, 5 и 7) с высоким уровнем занятости в ВЭД, связанных с добычей полезных ископаемых (по ГК2); а также два многочисленных кластера со средним уровнем занятости (кластер 2) и низким уровнем занятости (кластер 1) в выделенных видах ВЭД (по ГК1) а также низкими доходами населения (кластеры 1 и 2), обусловленными малыми значениями ГК2.

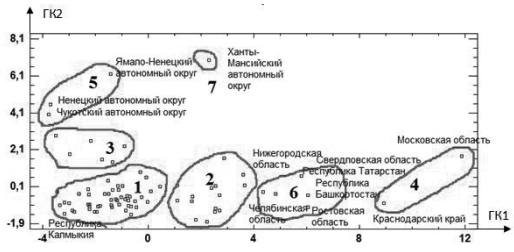


Рис. 2. Двумерная диаграмма рассеивания в плоскости 1 и 2 главных компонент (выборка 1)

Аналогично выполняется компонентный анализ остальных выборок. По результатам анализа второй выборки (область «Труд») выявлены семь кластеров региональных СЭС, различающихся по уровню экономического развития и востребованности работников, в том числе с высшим образованием. Результаты компонентного анализа третьей выборки (область «Образование») позволили выделить восемь кластеров региональных СЭС, различающихся по уровню развития высшего образования с учетом его обеспеченности оборудованием и производственного потенциала региона. По результатам анализа четвертой выборки (область «Образование») выявлены девять кластеров региональных СЭС, различающихся по уровню развития общего и среднего профессионального образования с учетом денежных доходов населения. Результаты компонентного анализа пятой выборки (область «Инновации») позволили выделить шесть кластеров региональных СЭС, различающихся по уровню развития инновационной деятельности с учетом инвестиционных расходов.

На втором шаге для каждой выборки выполняется кластерный анализ, целью которого является уточнение границ построенных на предыдущем шаге кластеров региональных СЭС.

На третьем шаге сопоставляются результаты компонентного и кластерного анализа, а также формируются уточненные границы построенных кластеров в сфере труда, образования, инноваций.

Выявленные кластеры региональных СЭС позволили сформулировать их характерные особенности, объясняющие их преимущества и недостатки и необходимые для формировании правил поддержки принятия решений при управлении региональными СЭС в сфере ТОИ.

На четвертом шаге для каждой *k*-й ($k = 1,\ldots,q;\ q=5$) выборки рассчитываются значения интегральных признаков f_{il}^k по формуле

$$f_{il}^k = \sum_{l=1}^{m} x_{ij}^k \times w_{jl}^k,$$

где $i = 1,\ldots,n$ – номер объекта выборки, $j = 1,\ldots,m$ – номер признака, $l = 1,\ldots,m$ – номер компоненты.

Далее проводится анализ значимости построенных главных компонент, выбираются значащие главные компоненты с использованием информации о вычисленной дисперсии (первые r^k главных компонент, $r^k \le m$) и формируется матрица интегральных признаков, соответствующих выбранным значащим компонентам:

$$F_0^k = \begin{pmatrix} f_{11}^k & \cdots & f_{1r^k}^k \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ f_{n1}^k & \cdots & f_{nr^k}^k \end{pmatrix}.$$

Анализ значимости построенных главных компонент для выборки 1 показал, что значащими являются первые две главные компоненты, для остальных выборок – первая ГК. Получены матрицы следующих размерностей: для первой выборки $(F_0^1)_{n\times 2}$, для второй выборки $(F_0^2)_{n\times 1}$, для третьей – $(F_0^3)_{n\times 1}$, для четвертой – $(F_0^4)_{n\times 1}$ и для пятой – $(F_0^5)_{n\times 1}$.

На пятом шаге формируется итоговая матрица интегральных признаков в результате объединения матриц, полученных на предыдущем шаге. Количество признаков итоговой матрицы равно сумме интегральных признаков по всем q (q=5) выборкам:

$$\sum_{k=1}^{q} r^k = r^0.$$

Итоговая матрица в сфере ТОИ включает в себя шесть интегральных признаков f_l (l=1,…,6): три признака характеризуют состояние трудовых ресурсов, два признака – состояние образования и один признак – инновационную деятельность региональных СЭС.

На шестом шаге выполняется компонентный анализ итоговой матрицы и анализ значимости построенных компонент. В таблице I представлены весовые коэффициенты интегральных признаков для построенных главных компонент.

Главная компонента 1 описывает 94% дисперсии исходных данных и имеет одинаково высокие весовые коэффициенты по всем признакам, поэтому делается вывод о том, что построение рейтинговых оценок региональных СЭС будет вестись только с использованием первой главной компоненты.

ТАБЛИЦА I. ВЕСОВЫЕ КОЭФФИЦИЕНТЫ ГЛАВНЫХ КОМПОНЕНТ

Признак	f_i	**Главные компоненты**		
		Компонента 1	***Компонента 2***	***Компонента 3***
Уровень занятости населения по основным видам экономической деятельности с учетом жилищных условий	f_1	0,416	-0,197	-0,349
Уровень занятости населения в отраслях, связанных с добычей полезных ископаемых, с учетом доходов	f_2	0,417	-0,219	-0,273
Потребность в работниках с высшим и с основным общим образованием с учетом уровня экономического развития	f_3	0,416	-0,194	-0,347
Уровень развития высшего образования с учетом производственного потенциала региона	f_4	0,398	-0,492	0,707
Уровень развития общего и среднего специального образования с учетом численности населения	f_5	0,401	0,525	0,414
Уровень инновационной деятельности региона с учетом численности населения и инвестиций	f_6	0,400	0,598	-0,110

На седьмом шаге вычисляются рейтинговые оценки для региональных СЭС по формуле:

$$R_i=0{,}416*f_1+0{,}417*f_2+0{,}416*f_3+0{,}398*f_4+0{,}401*f_5+0{,}400*f_6.$$

Далее осуществляется их упорядочивание в порядке убывания значений оценки и формируются ТОР-группы региональных СЭС. Первые десять региональных СЭС в сфере ТОИ представлены в таблице II.

ТАБЛИЦА II. ТОР-10 РЕГИОНАЛЬНЫХ СЭС В СФЕРЕ ТОИ

№	**Регион**	R_i
1	Москва	
2	Санкт-Петербург	
3	Ханты-Мансийский автономный округ - Югра	2929301
4	Московская область	2264667
5	Ямало-Ненецкий автономный округ	1786176
6	Краснодарский край	1537658
7	Свердловская область	1461973
8	Республика Татарстан	1436670
9	Красноярский край	1080477
10	Республика Башкортостан	996260,1

Необходимо отметить, что Москва и Санкт-Петербург были исключены из выборок как бесспорные лидеры по всем признакам.

Также проведен расчет рейтинговых оценок для оставшихся групп региональных СЭС.

Предложенный алгоритм позволил рассчитать рейтинговые оценки СЭС в сфере ТОИ, упорядочить и сформировать ТОР-группы региональных СЭС, которые являются основой для принятия решений в области региональной политики в сфере ТОИ. Данный алгоритм может быть применен к различным сферам функционирования региональных СЭС.

IV. АЛГОРИТМ ФОРМИРОВАНИЯ ПРАВИЛ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ УПРАВЛЕНИИ СЭС В СФЕРЕ ТОИ

Для формирования правил принятия решений необходимо подготовить информационную базу, в качестве которой предлагается использовать результаты построения кластеров всех пяти выборок, а также полученные рейтинговые оценки региональных СЭС.

Предлагаемый алгоритм включает следующие шаги.

На первом шаге в рамках каждой выборки проводится ранжирование построенных кластеров, которое осуществляется экспертом на основе результатов компонентного анализа и расположения кластеров объектов (региональных СЭС) в пространстве интегральных признаков, а также с учетом рейтинговых оценок СЭС. Результатом ранжирования является перенумерация кластеров в порядке снижения качественных характеристик СЭС в сфере труда, образования, инновационной деятельности.

На втором шаге составляются векторы рангов каждого региона по каждой из пяти выборок. Совокупность векторов образует матрицу (выборку), используемую для обучения нейронной сети Кохонена.

На третьем шаге выполняется настройка структуры нейронной сети и параметров обучения, а также строятся самоорганизующиеся карты Кохонена (СОК). По результатам нейросетевого анализа выделены 11 кластеров, в формировании которых учтено одновременно влияние всех признаков, составляющих пять ранее проанализированных выборок, а также составленных рейтинговых оценок регионов (рис. 3).

На четвертом шаге по результатам построения СОК составляются траектории развития региональных СЭС в виде цепочек кластеров.

В качестве целевого кластера выбран кластер 1. Сформированы различные траектории движения СЭС по выделенным кластерам, различающиеся как начальным кластером, так и промежуточными. На рисунке 4 представлена одна из возможных траекторий движения региональной СЭС: из кластера 0 в кластер 9, из кластера 9 в кластер 3, из кластера 3 в кластер 1 ($0\rightarrow9\rightarrow3\rightarrow1$).

На пятом шаге строится нейро-нечеткая сеть (ННС) для принятия решений по управлению СЭС в сфере труда, образования, инноваций.

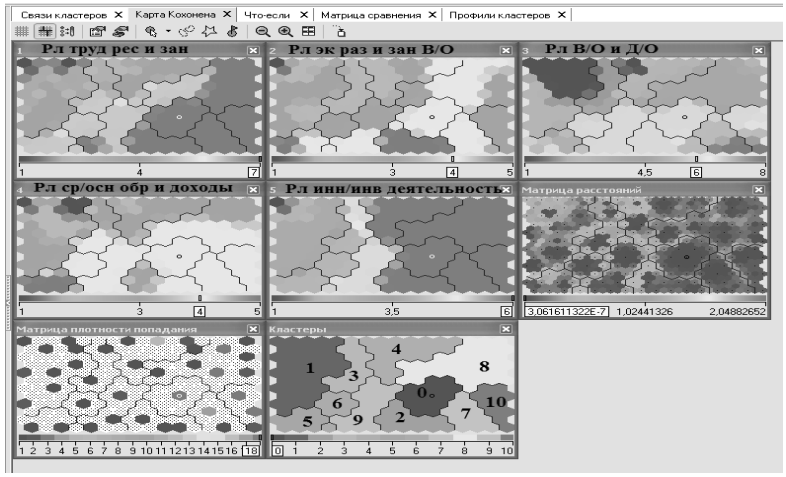


Рис. 3. Самоорганизующиеся карты Кохонена

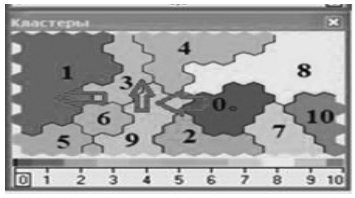


Рис. 4. Траектория движения кластеров от текущего к целевому

Для разработки ННС составлена обучающая выборка, структура которой соответствует правилам принятия решений вида «ЕСЛИ – ТО».

Предлагается вариант формирования часть «ЕСЛИ» правил с использованием трех признаков: «№ текущего кластера», «№ желаемого кластера», «Текущие расходы на национальную экономику». Эти признаки являются входами сети. Отметим, что величина расходов на национальную экономику соответствует объектам-регионам текущего кластера. Выбор этого признака «Расходы на национальную экономику» без учета детализации расходов на различные направления развития экономики обусловлено тем, что предполагаемая процедура принятия решений основывается на принципе последовательного уточнения состава принимаемых решений. В статье приведен пример начального этапа данной процедуры.

Показано, что для перехода региональной СЭС из одного кластера в другой, более благоприятный кластер, согласно построенной траектории движения, необходимо повысить расходы на национальную экономику. Поэтому часть правила «ТО» формирует признак «Необходимое изменение расходов на национальную экономику», который является выходом нейронной сети. Одним из возможных способов расчета данной величины является расчет разности между величинами расходов на национальную экономику объектов-регионов желаемого и текущего кластера.

Правила имеют вид: «ЕСЛИ № текущего кластера = 0 и № желаемого кластера = 9 и Текущие расходы на национальную экономику = 10675,5, ТО Необходимое изменение расходов на национальную экономику = 2934,65».

Фрагмент сформированной обучающей выборки представлен в таблице III. На основе данной выборки сконструирована нейро-нечеткая сеть. Для проверки работоспособности сети проведены ее опросы с помощью дополнительных данных о состоянии региональных СЭС.

ТАБЛИЦА III. ОБУЧАЮЩАЯ ВЫБОРКА

	№ текущего кластера	№ желаемого кластера	Расходы на национальную экономику		Необходимое изменение расходов на национальную экономику
Если	0	9	10675,5	То	2934,65
	0	9	11770,5		1839,65
	0	9	3093,1		10517,05
	9	3	12225,3		31865,25
	9	3	7927,1		36163,45
	9	3	13055,6		31034,95
	9	3	21232,6		22857,95
	3	1	23369,3		12992,75

Разработанная ННС позволяет сформировать требуемые значения дополнительных расходов на национальную экономику, которые необходимы для обеспечения перехода региональной СЭС из одного, неблагоприятного, кластера в другой, более благоприятный кластер, а затем достичь целевого кластера.

V. Заключение

Разработана двухуровневая структура интеллектуальной системы управления процессом функционирования СЭС. На первом уровне управления реализован принцип управления по обратной связи, на втором уровне – принцип ситуационного управления.

Предложен алгоритм анализа состояния региональных СЭС и формирования их рейтинговой оценки в сфере труда, образования, инноваций. Применение алгоритма позволило выявить кластеры региональных СЭС, сформулировать их характерные особенности, а также рассчитать рейтинговые оценки СЭС на основе построения интегральных признаков для пяти выборок, составленных в сфере ТОИ. Полученные результаты необходимы при формировании правил поддержки принятия решений при управлении СЭС с учетом ее региональной декомпозиции в сфере ТОИ. Данный алгоритм может быть применен к различным сферам функционирования региональных СЭС.

Предложен алгоритм формирования правил принятия решений при управлении СЭС в сфере ТОИ. Алгоритм предполагает построение нейронной сети Кохонена и обучение ее на основе специально составленной выборки, полученной по результатам ранжирования кластеров, построенных ранее по пяти составленным выборкам в сфере ТОИ. Это позволило сформировать кластеры СЭС на основе построения самоорганизующихся карт Кохонена и построить траектории их развития в виде цепочек возможных переходов регионов по выделенным кластерам.

В рамках предложенного алгоритма разработана нейро-нечеткая сеть, которая позволила определить желаемые объемы привлекаемых финансовых средств, что обеспечивает решение задач сокращения региональной дифференциации и сбалансированного развития региональных СЭС.

Полученные результаты могут использоваться информационно-аналитическими отделами различных министерств и ведомств при разработке систем поддержки принятия решений при управлении развитием социально-экономических систем на региональном и федеральном уровнях.

Список литературы

[1] Конституция Российской Федерации http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_28399/6e9322b9a111e965ab5650f7f01bf0039d6a29c6/

[2] Плотников В. А., Шамахов В. А. Стратегии территориального развития и качество жизни // Управленческое консультирование, 2015. № 7. - С. 57-64.

[3] Концепция долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2020 года http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_82134/28c7f9e359e8af09d7244d8033c66928fa27e527/

[4] Кузнецов С.В., Растова Ю.И., Растов М.А., Рейтинговая оценка качества жизни в российских регионах // Экономика региона, 2017. Т.13. Вып.1. - С. 137-146.

[5] Бобков В.Н., Гулюгина А.А., Неравенство качества и уровня жизни населения регионов // Экономика региона, 2012. №2. - С. 170-178.

[6] Татаркин А.И., Васильева Е.В., Чичканов В.П., Карта выбора механизма управления качеством жизни населения региона // Региональная экономика: теория и практика, 2015. №42. - С.2-14.

[7] Брагина З. В., Киселев И. К., Илюхина А. С. Инструментарий поддержки принятия решений при управлении регионами // Региональная экономика и управление: электронный научный журнал, 2017. №4 (52). https://eee-region.ru/article/5207/

[8] Курейчик В.М., Цвелик Е.А., Пирожков Р.В. Информационная система поддержки выбора решения при управлении социально-экономическими системами на территориях размещения объектов атомной отрасли // Глобальная ядерная безопасность, 2018. № 1 (26). - С. 76-86.

[9] Карелин В.П. Проблемы и особенности принятия решений при управлении сложными системами // Вестник Таганрогского института управления и экономики, 2015. №2. - С. 87-93.

[10] Ильясов Б.Г., Герасимова И.Б., Макарова Е.А., Закиева Е.Ш. Объективно-субъективный подход к оценке качества жизни // Качество. Инновации. Образование, 2016. № 2 (129). - С.47-57.

[11] Ильясов Б.Г., Дегтярева И.В., Макарова Е.А. Поточно-запасная модель макроэкономического воспроизводственного процесса // Научное обозрение, 2014. № 8. - С. 473-479.

[12] Регионы России. Социально-экономические показатели. 2013. Стат. сб. / Росстат. – М., 2013. – 990 с.

[13] V. Chaudhary, R. S. Bhatia, and A. K. Ahlawat. An efficient self-organizing map (E-SOM) learning algorithm using group of neurons. International Journal of Computational Intelligence Systems, Atlantis Press, vol. 7, no. 5, 2014, pp. 963-972. https://doi.org/10.1080/18756891.2014.966995.

[14] Ch.-H. Shih, S.-J. Lin, and M.-F. Hsu. Detection of financial information manipulation by an ensemble-based mechanism. Neural Network World, vol. 5, 2014, pp. 479-499. doi: 10.14311/NNW.2014.24.028.

[15] Y. Erzin, M. Nikoo, M. Nikoo, and T. Cetin. The use of self-organizing feature map networks for the prediction of the critical factor of safety of an artificial slope. Neural Network World, vol. 5, 2016, pp. 461–475. doi: 10.14311/NNW.2016.26.027.

[16] J. Anitha, and D. Jude Hemanth. An efficient kohonen-fuzzy neural network based abnormal retinal image classification system. Neural Network World, vol. 2, 2013, pp. 149-167. doi: 10.14311/NNW.2013.23.011.

[17] L. Hongjiu, R. Rieg, and H. Yanrong. Performance comparison of artificial intelligence methods for predicting cash flow. Neural Network World, vol. 6, 2012, pp. 549-564. https://doi.org/10.14311/NNW.2012.22.034.

[18] Magdalena L. What is Soft Computing? Revisiting Possible Answers. International Journal of Computational Intelligence Systems, vol.3, no. 2, 2010, pp. 148-159. https://doi.org/10.2991/ijcis.2010.3.2.3.

[19] R. Yera, and L. Mart´ınez, Fuzzy Tools in Recommender Systems: A Survey. Fuzzy Tools in Recommender Systems: A Survey. International Journal of Computational Intelligence Systems, Atlantis Press, vol. 10, 2017, pp. 776-803. https://doi.org/10.2991/ijcis.2017.10.1.52.

[20] C. Kahraman, S. C. Onar, B. Oztaysi, Fuzzy Multicriteria Decision-Making: A Literature Review. International Journal of Computational Intelligence Systems, Atlantis Press 2015, vol. 8, no. 4 (2015), pp. 637–666. https://doi.org/10.1080/18756891.2015.1046325

[21] J. Liu, Adaptive Fuzzy Modeling For A Large-Scale Nonlinear System. Proceedings of the 2006 Joint Conference on Information Sciences, JCIS 2006, Kaohsiung, Taiwan, ROC, October 8-11, 2006, Atlantis Press, 2006. https://doi.org/10.2991/jcis.2006.75

[22] Sh. Rajab, V. Sharma, A review on the applications of neuro-fuzzy systems in business. Artificial Intelligence Review, 2018, vol. 49, no. 4, pp. 481.

[23] Jose L. Salmeron, Marisol B. Correia, Pedro R. Palos-Sanchez. Complexity in Forecasting and Predictive Models. Hindawi. Complexity, 2019. https://doi.org/10.1155/2019/8160659

Разработка расширенного интерфейса оператора системы ЧПУ с применением Web-технологий и дополненной реальности

Мартинов Г.М.
Кафедра компьютерных систем управления
ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН»
Москва, Россия
martinov@ncsystems.ru

Ковалев И.А.
Кафедра компьютерных систем управления
ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН»
Москва, Россия
ilkovalev@mail.ru

Червоннова Н.Ю.
Кафедра компьютерных систем управления
ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН»
Москва, Россия
4ervonnova@list.ru

***Abstract* — The article discusses the research and development to obtain the necessary information at the current time on the work of technological equipment. It is shown that the existing interfaces of the operators of different CNC systems are designed to display information depending on the operation mode, and such interfaces may vary significantly depending on the manufacturer. Existing approaches to configuring technology screens do not have the flexibility of customization and are aimed at advanced users. The information on the terminal screens of CNC systems may be either redundant or insufficient. It offers a method based on a Web-server, developed using Nginxs, Redis, Ruby on Rails framework. This approach removes the attachment to a specific technological unit and provides data transmission to mobile devices and augmented reality (AR) tools combined into a single information network with technological equipment. The use of a Web server allows you to adapt the output of information to devices with different sizes and screen resolutions. The data transfer using a web server to AR devices for visualization of technological processes is illustrated to reduce the level of dangerous situations and avoid collisions.**

Ключевые слова — Индустрия 4.0, сбор данных, ЧПУ, ПЛК, Web-сервер, HMI, дополненная реальность

I. Введение

На сегодняшний день на современных предприятиях для управления различным технологическим оборудованием и решения задач автоматизации технологических процессов зачастую используются разнообразные решения от различных производителей (системы ЧПУ, ПЛК, роботы и т.д.), что обуславливается множеством факторов, в том числе и экономической составляющей. Использование такого подхода может усложнять создание единой информационной сети предприятия, т.к. каждый производитель системы управления зачастую использует собственные проприетарные решения доступа к данным своих систем. При этом существует тенденция создания «умных» производств для реализации концепции «Индустрия 4.0». Объединение гетерогенного оборудования различных производителей в единую сеть позволит оперативно получать информацию о работе станочных, роботехнических и других линий, своевременно передавать информацию на верхние уровни управления производством (ERP, MES). Основное отличие разрабатываемого программного решения состоит в том, что за счет принципов кроссплатформенности и мультипротокольности, сбор данных может производиться с разнородного оборудования, использующих различные промышленные протоколы связи и т.д. [1].

С каждым годом происходит усложнение технологического оборудования и производимых процессов, совершенствование процессов обработки, диагностики, повышений требований к безопасности на производстве. Все это приводит к значительному увеличению объемов информации, которую необходимо получать и анализировать в ходе работы, и соответственно, к повышенным требованиям к квалификации сотрудников. Усложняются задачи реализации человеко-машинного взаимодействия, от которых также зависит эффективность производства в целом и обеспечение безопасности при работе.

На текущем этапе развития на производствах всё больше внимание уделяется внедрению в производственные процессы смарт-устройств, таких как планшетные компьютеры, мобильные телефоны. Однако при этом наблюдаются определенные проблемы, связанные с отсутствием способов представления больших объемов информации, их систематизации, а также подходов, обеспечивающих передачу оператору только той информации, которая является наиболее важной и необходимой в данный момент [2,3]. Другими словами, имеется проблема избыточности информации, передаваемой оператору: перегруженные интерфейсы терминальной части, у каждой системы управления свои технологические экраны, с различным расположением окон настроек системных параметров, выбора управляющих программ, привязки осей станков, реферирование системы и т.д.

Новизна предлагаемого подхода к построению человеко-машинного взаимодействия заключается в применения Web-технологий и дополненной реальности в использования новых методов и алгоритмов хранения и доступа к информации, позволивших с одной стороны унифицировать HMI от разных производителей систем ЧПУ, с другой стороны - избавиться от избыточности информации на экране.

II. Сбор данных с технологического оборудования

Существующие подходы по конфигурированию технологических экранов не обладают необходимой гибкостью настройки и направлены на продвинутых пользователей [4]. Зачастую информация на экранах

Работа выполнена в рамках соглашения №31-1/03-С18 от 01.08.2018 между ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН» и ФГАОУ ВО «СПб НИУ информационных технологий, механики и оптики»

©2019 ИПУСС РАН, СамГТУ, IEEE

оператора систем ЧПУ либо избыточная, либо недостаточная. Предлагается подход построения расширенных терминалов системы ЧПУ для управления и мониторинга процессов обработки с использованием мобильных устройств на базе единого Web-сервера и сборщика данных. Такой подход снимает привязанность к конкретной технологической единице и обеспечивает передачу данных как на мобильные устройства, так и на средства дополненной реальности (AR) объединенные в единую информационную сеть с технологическим оборудованием [5-7]. Применение Web-сервера позволяет адаптировать вывод информации на устройства с различными размерами и разрешениями экранов.

Для возможности сбора данных, например, с линии станков необходимо, чтобы это целевое оборудование было подключено в единую информационную сеть. В настоящее время с тенденцией развития концепции Индустрия 4.0 станкостроители для решения такой задачи используют либо готовые решения от компаний разработчиков, либо используют решения разработчиков систем ЧПУ («опция 4.0» для FAGOR, «FOCAS2» для Fanuc, «SDK Remo Tools» для Heidenhain и др.) Также возможно применение решений на основе OPC серверов и SCADA систем, в зависимости от поставленных задач.

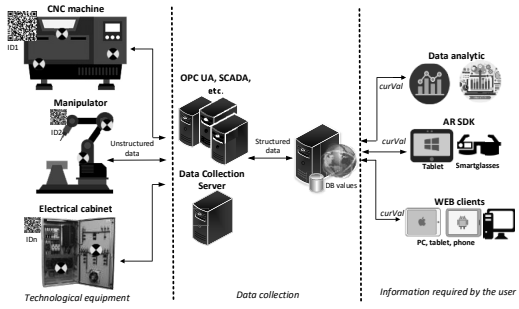


Рис. 1. Структура предлагаемого решения

На представленной схеме (рис.1) показано технологическое оборудование, объединённое в единую информационную сеть, данные с которого поступают на OPC UA сервер или SCADA, а далее – на Web-сервер агрегирования и предоставления информации [8]. Возможно решение, когда данные поступают на собственный сервер сбора информации, но тогда он должен включать в себя все функциональности промежуточных узлов и поддерживать работу по различным протоколам связи, используемых технологическим оборудованием. В данной статье рассматривается именно второй вариант [9,10].

В текущем варианте предлагается возможность сбора данных с систем ЧПУ «АксиОМА Контрол» с помощью специального API и FAGOR CNC 8060 с помощью опции Industry 4.0. В разработанном сервере сбора данных происходит подключение к системам ЧПУ по TCP/IP и запрос данных о работе технологического оборудования в двух вариантах: полинг и подписка на критические события [11-13]. Предполагается добавить поддержку систем Fanuc i0 и Heidenhain iTNC 530. Собираемая информация структурируется в специфицируемый формат JSON файла для отправки на разработанный Web-сервер, откуда выбираемые пользователем данные могут отображаться с использованием тонких Web-клиентов (планшеты, смартфоны, ПК) или на специализированных устройствах (AR очки, шлемы).

III. Способ агрегирования данных с использованием Web-сервера

Рассмотрим основные шаги получения данных web сервером и хранения их в БД (рис.2).

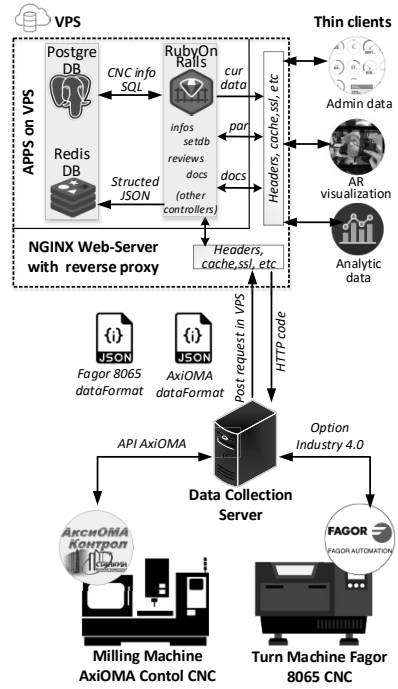


Рис. 2. Взаимосвязь основных компонентов

На нижнем уровне располагается технологическое оборудование, данные с которого поступают на сервер сбора данных (локальный), который находится в одном цехе с этим оборудованием. В приведенном выше примере используется API системы ЧПУ «АксиОМА Контрол» и специальная опция ЧПУ FAGOR 8065 [14]. После сбора данных они формируются в соответствующие JSON. Далее происходит post запрос на облачный VPS сервер, где развернут веб-сервер nginx, отвечающий за функции кэщ дескрипторов файлов, поддержки SSL протоколов, обработки запросов и т.д. На VPS также установлен фреймворк RubyOnRails, с помощью которого происходит разбор пакетов от сервера сбора данных, структурирования полезной информации в единый JSON файл и запись в БД Redis.

Например, от «АксиОМА Контрол» приходит формат пакета для моточасов вида ключ-значение:

```
dataURL = GetConnectURLforBD()
+ "&data_name[]=mototime"
```

+ "&mototime[mototimes.core_time]="
+ "&mototime[mototimes.core_current_time]="
+ "&mototime[mototimes.reload_core]="
+ "&mototime[mototimes.chanel_count]="

Для FAGOR CNC 8065 формат моточасов выглядит следующим образом:

dataURL = GetConnectURLforBD()
+ "&data_name[]=mototime"
+ "&mototime[mototimes.core_time]="
+ "&mototime[mototimes.first_time_start]=
+ "&mototime[mototimes.last_time_start]=

После знака ‘=’ идут в обоих случаях идут значения. Параметры отличаются в зависимости от структуры API функций систем ЧПУ. На VPS разработанный контроллер Ruby '/set_db', to: 'data#set_db' позволяет разбирать данные из пришедшего пакета: имя секций (mototime), в цикле пройтись по всем ключам этой секции и получить значения, после чего записать только полезную информации, отбросив возможные вспомогательные данные, и записать все в Redis [15].

БД Redis по сути представляет быстрое хранилище, позволяющее хранить значения последнего пакета данных (или небольшой буфер таких значений). В текущей реализации это является несомненным плюсом, т.к. стандартная база БД, например, PostgreSQL, который в текущей реализации используется только для хранения вспомогательной информации об оборудовании не выдерживает посылок с частотой 200 мс. Были проведены тестирования (Рис.3) с помощью специального сервиса loder.io, которые показали, что средний ответ системы при использовании Redis и 400 клиентах, которые постоянно обращаются к Web-серверу составляет 1600 мс и 0% шибок записи в БД. При таких же параметрах время отклика с PostgreSQL составляет 3400 мс и около 8% ошибок записи в БД.

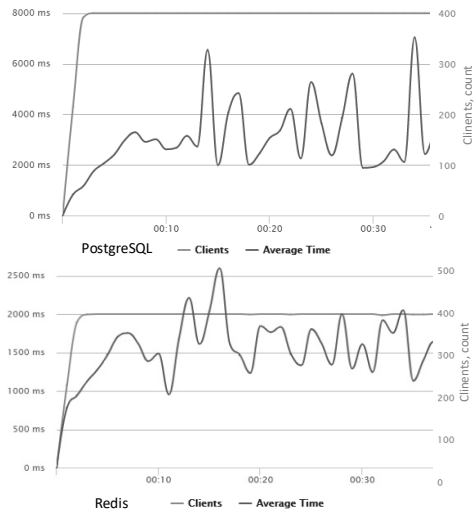


Рис. 3. Сравнение нагрузки на Web-сервер

Проведенный тест показал, что для накопления исторических данных целесообразно использовать хранилище PostgreSQL или аналогичную реляционную БД. Для быстрого доступа к данным, например, при использовании push-уведомлений необходимо использовать быстрое хранилище Redis. Такой подход с использованием нескольких БД позволяет разрабатывать собственные API для обращения к агрегированным данным и при этом гибко настраивать права доступа к определенным типам данных технологического оборудования. С помощью собственного API можно интегрировать сторонние решения по проведению аналитики исторических данных и выстраивания бизнес-процессов – использование различных business intelligence пакетов (Power BI) и библиотек визуализации данных (Kibana).

В текущей реализации существует несколько контроллеров Ruby, каждый из которых имеет адрес, по которому происходит получение данных:

get 'infos/:id', to: 'info#show', as: 'info' # отображение страницы со всем списком подключенного оборудования
get '/reviews/:machine_id' # страница с текущим станком
get '/get/:id', to: 'data#get' # обращение по id
get '/set_db', to: 'data#set_db' # запись в БД
get '/documentations/:machine_id' # документация станков

Например, контроллер documentations отвечает за работу с документацией оборудования: к каждому станку можно загрузить различные документы, в тонком клиенте оператора (браузер, приложение) можно отслеживать необходимые параметры системы и проверять их по документации. Контроллер infos отвечает за предоставление информации о всем сконфигурированном технологическом оборудовании и возможности задания собственных экранов с навигацией по ним в Web-браузере (тонкий клиент). В текущей реализации присутствует модуль администрирования, который позволяет добавлять новое оборудование, его описание, выбирать список необходимых параметров: сервер сбора данных в настоящий момент отправляет больше 300 различных параметров, с помощью модуля администрирования можно подстроить интерфейс оператора под конкретную задачу и выбрать, создав новый экран HMI в реальном времени.

Данные с контроллера поступают в Web-сервер nginx после чего отправляются на тонкие клиенты. Тонкине клиенты представляют собой web-браузер или специальное приложение (для варианта AR решения).

IV. Практическая реализация на примере Web-клиента и AR приложения

Представленные выше компоненты направлены на агрегирование данных в облачных серверах, которые могут быть расположены как локально на территории предприятия (хранение наиболее важных технологических данных), так и удаленно (вспомогательная информация). Рассмотрим сервер сбора данных

Модуль сбора данных разрабатывается как кроссплатформенное решение для запуска на различных программно-аппаратных платформах. Например, в рассматриваемой реализации используется 3 типа реализации модуля. Первый тип – приложение с GUI для гибкой настройки, которое работает совместно с терминальной частью системы ЧПУ и отправляет на Web-сервер запросы формата

request1=(System.Net.HttpWebRequest) System. Net. Web Request.Create(data), где data – строка, содержащая JSON файл с данными и параметрами оборудования. Второй – консольная утилита, запущенная на одноплатном ПК Raspberry Pi 3, которая подключается к отдельной единице технологического оборудования и собирать дополнительную информацию с помощью внешних датчиков подключенная к единой иноформенной сети. Третий – единый сервер в информационной сети, если системы управления могут посылать диагностические данные по EtherNet.

Каждое оборудование имеет свой уникальный ID, который добавляется к началу посылки, для того, чтобы однозначно определить область записи в БД на Web-сервере.

В настоящий момент сбор данных происходит с 2 станков, 3 контроллеров автоматизации и двух тестовых стендов под управлением системы ЧПУ «АксиОМА Контрол», также данные поступают с 2 стендов с системой ЧПУ FAGOR CNC 8065, в ближайших планах тестирование работы сервера с реальным станком с ЧПУ FAGOR.

К серверу возможно подключение через любой браузер (настольный ПК, планшет, смартфон), где в виде страницы отображается список оборудования, показывается его состояние (онлайн или офлайн), возможно отследить текущий режим работы и выполняемую управляющую программу, просмотреть лог ошибок, состояние ПЛК и т.д. При этом эти параметры являются выбираемыми и быстро конфигурируемыми в зависимости от требований оператора [16,17].

На рисунке 4 представлен вариант интерфейса web-сервера, отображающего настройки фильтров сбора данных для конкретного технологического оборудования.

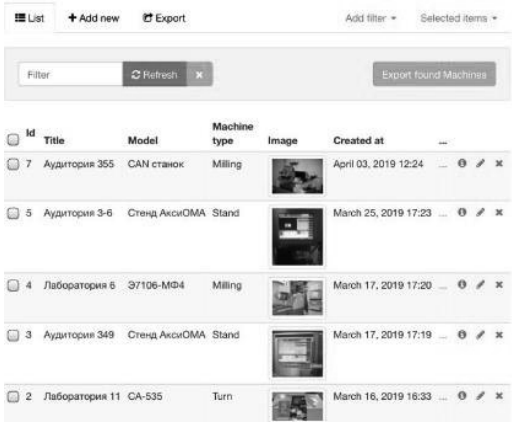


Рис. 4. Интерфейс web-сервиса рабты с агрегированными данными

Доступ к расширенным настройкам имеет только обученный персонал, который выбирает те данные, которые будут агрегированы на облачном сервере. Выбор же отображаемых данных доступен каждому оператору, который выбирает те данные, которые необходимы в текущий момент времени.

С развитием технологий одним из перспективных направлений является применение дополненной реальности на производстве, что позволяет, с одной стороны, значительно повысить информативность о проходящих технологических процессах, а с другой – снизить объем избыточной информации, в которой оператор не нуждается в определенный момент [18,19]. При этом визуализация технологических процессов будет максимально наглядной, а уровень опасных ситуаций, вызванных неопытностью оператора, будет сведен к минимуму. При обучении такой подход позволяет акцентировать внимание обучающегося на ключевых и значимых параметрах, а также освобождает от необходимости изучать сложный интерфейс [20,21].

Для визуализации обработанных данных используется Client компонент. Этот компонент представляет собой клиентское приложение, устанавливаемое в настоящий момент на смарт устройства – планшеты, смартфоны и очки под управлением операционной системы Android [22,23]. В приложении реализованы технологии дополненной реальности. Основным экраном является - изображение с камеры устройства, поверх которого отрисовывается информация о технологическом оборудовании. Представлен один из вариантов применения предлагаемого решения (Рис.5), когда оператору во время работы выдаются специальные подсказки. Для полноценной работы и внедрения данного способа необходима разработка полноценной методики обучения.

В качестве развития проекта рассматривается проработка архитектуры БД для хранения информации, получаемой с оборудования для возможности ее дальнейшего анализа, в том числе и предиктивной аналитики [24,25].

Рис. 5. AR обучение работы с терминалом системы ЧПУ

V. Заключение

Представленный подход по агрегированию данных с использованием модуля сбора данных и последующего разбора на Web-сервере, позволяет предоставлять информацию, которая необходима в данный момент, на определенные события, а также проводить обучение операторов по работе с технологическим оборудованием с использованием различных подсказок, либо экранов, которые усложняются по мере освоения материала.

Интеграция разрабатываемого решения с технологическим оборудованием может происходить 3

способами: GUI утилита, специальное устройство, единый модуль сбора. Собранные данные структурируются, после чего отправляются на выбранный облачный сервер (локальный или удалённый). Данные о работе технологического оборудования, структурированные в единой БД могут использоваться для проведения различной аналитики и прогнозирования различных нештатных ситуаций.

Показаны практические испытания с использованием разработанного web-сервера, на котором можно отслеживать информацию в реальном времени о работе ряда технологического оборудования. Разработанный пользовательский интерфейс позволяет выбирать и отображать только необходимые данные в текущий момент. Также показан вариант использования модуля агрегирования данных для отображения информации с применением AR технологии для вывода подсказок оператору во время работы с фрезерным станком.

Список литературы

[1] Nikishechkin, P., Kovalev, I. and Nikich, A. An approach to building a cross-platform system for the collection and processing of diagnostic information about working technological equipment for industrial enterprises. MATEC Web of Conferences, 129, p.03012.

[2] Martinov, G. and Kozak, N. Numerical control of large precision machining centers by the AxiOMA contol system. Russian Engineering Research, 35(7), pp.534-538.

[3] Martinov, G., Kovalev, I. and Al Khoury, A. Construction of a Specialized CNC System for Thread Grinding Machines. In: 2018 International Russian Automation Conference (RusAutoCon). Sochi: IEEE

[4] Nezhmetdinov, R., Nikishechkin, P. and Nikich, A. Approach to the Construction of Logical Control Systems for Technological Equipment for the Implementation of Industry 4.0 Concept. In: 2018 International Russian Automation Conference (RusAutoCon). Sochi: IEEE.

[5] Kovalev, I., Nikishechkin, P., and Grigoriev A. Approach to Programmable Controller Building by its Main Modules Synthesizing Based on Requirements Specification for Industrial Automation. International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM), pp.1-4

[6] Martinov, G., Lyubimov, A., Bondarenko, A., Sorokoumov, A. and Kovalev, I. An approach to building a multiprotocol CNC system. Automation and Remote Control, 76(1), pp.172-178.

[7] Martinov, G., Kozak, N., Nezhmetdinov, R., Grigoriev, A., Obukhov, A. and Martinova, L. Method of decomposition and synthesis of the custom CNC systems. Automation and Remote Control, 78(3), pp.525-536.

[8] Grigoriev, S. and Martinov, G. An Approach to Creation of Terminal Clients in CNC System. In: 3rd Russian-Pacific Conference on Computer Technology and Applications. Vladivostok, pp.1 - 4.

[9] Viktor Chekryzhov, Ilya A.Kovalev, Anton S.Grigoriev. An approach to technological equipment performance information visualization system construction using augmented reality technology. In: MATEC Web Conf. Volume 224, 2018. International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment (ICMTMTE 2018). Sevastopol,Russia,September 10-14,2018. pp.1-7.

[10] Petr Nikishechkin, Nadezhda Chervonnova, Anatoly Nikich. Approach to the construction of specialized portable terminals for monitoring and controlling technological equipment. In: MATEC Web Conf. Volume 224, 2018. International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment (ICMTMTE 2018). Sevastopol, Russia, September 10-14, 2018. pp.1.

[11] Martinov, G., Sokolov, S., Martinova, L., Grigoryev, A. and Nikishechkin, P. Approach to the Diagnosis and Configuration of Servo Drives in Heterogeneous Machine Control Systems. In: 8th International Conference, ICSI. Fukuoka, Japan, pp.586-594.

[12] Roman Pushkov, Evgeniy Salamatin, Svetlana Evstafieva. Method of developing parametric machine cycles for modern CNC systems using high-level language. In: MATEC Web Conf. Volume 224, 2018. International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment (ICMTMTE 2018). Sevastopol, Russia, September 10-14, 2018. pp.1-7

[13] Martinov, G. and Kozak, N. Specialized numerical control system for five-axis planing and milling center. Russian Engineering Research, 36(3), pp.218-222.

[14] Pushkov, R., Martinova, L. and Evstafieva, S. Extending Functionality of Control System by Adding Engraving Capabilities. In: 2018 International Russian Automation Conference (RusAutoCon). Sochi: IEEE.

[15] Michael Hartl. Ruby on Rails Tutorial: Learn Web Development with Rails Second Edition. Addison-Wesley. 2012.

[16] O. Perez, S. Sauceda, J. Cruz Manufacturing 4.0: The Use of Emergent Technologies in Manufacturing. Palibrio 2018.

[17] M.F. Cloutier, C. Paradis, V.M. Weaver, “Design and analysis of a 32-bit embedded high-performance cluster optimized for energy and performance,” in Hardware-Software Co-Design for High Performance Computing (Co-HPC) IEEE, pp.1-8, 2014.

[18] G. M. Martinov, P.A.Nikishechkin, A.S.Grigoriev and N. Yu. Chervonnova Organizing Interaction of Basic Components in the CNC System AxiOMA Control for Integrating New Technologies and Solutions // Automation and Remote Control, 2019, Vol. 80, No. 3, pp. 584–591

[19] Jian-Yu Chen, Kuo-Cheng Tai, Guo-Chin Chen, “Application of Programmable Logic Controller to Build-up an Intelligent Industry 4.0 Platform” in Proc. CIRP, vol. 63, pp. 150-155, 2017.

[20] Martinova, L., Kozak, N., Nezhmetdinov, R., Pushkov, R. and Obukhov, A. The Russian multi-functional CNC system AxiOMA control: Practical aspects of application. Automation and Remote Control, 76(1), pp.179-186.

[21] Grigoriev, S. and Martinov, G. The Control Platform for Decomposition and Synthesis of Specialized CNC Systems. Procedia CIRP, 41, pp.858-863.

[22] Dawn Griffiths, David Griffiths. Head First Android Development: A Brain-Friendly Guide 2nd Edition. CA O’Reilly. 2017.

[23] Martinova, L., Sokolov, S. and Nikishechkin, P. Tools for Monitoring and Parameter Visualization in Computer Control Systems of Industrial Robots. Advances in Swarm and Computational Intelligence, 6th International Conference, ICSI 2015 held in conjunction with the Second BRICS Congress, CCI, Proceedings, Part II, pp.200-207.

[24] Jonathan Linowes. Unity Virtual Reality Projects. Packt Publishing. 2018

[25] Martinova L. and Martinov, G. Automation of Machine-Building Production According to Industry 4.0. In: 3rd Russian-Pacific Conference on Computer Technology and Applications. Vladivostok, pp.1 - 4.

Структурно-параметрическое моделирование гетерогенных систем в интересах обеспечения их безопасности

Меньших В.В.
Воронежский институт
МВД России
Воронеж, Россия
menshikh@list.ru

Спиридонова Н.Е.
Воронежский институт
МВД России
Воронеж, Россия
spiridonova_n@icloud.com

***Abstract* — Process automation systems based on IoT technologies are particularly popular today. Their distinctive feature is heterogeneity - the possibility of interaction of objects of different nature. This contributes to the emergence of various kinds of synergistic effects, which greatly increase the attractiveness of the use of such systems.**

At the same time, synergistic effects can lead to the strengthening of existing or to the emergence of new threats to security both for humans and for the systems themselves. It should be noted that the system of IoT-objects includes elements and subsystems that ensure its security.

In this connection there is a problem of optimization of functioning of the specified elements which can be solved with the use of methods of mathematical modeling.In this paper a structural-parametric model of a system of heterogeneous objects in the form of a weighted directed graph is proposed. The vertices of this graph are IoT-objects, arcs reflect the mutual influence of objects, and their weights snow the nature and strength of this influence.

The main types of object interactions are described: traditional ones and those taking into account possible synergetic effect in the process of their functioning. A model and a numerical method of expert evaluation of the force of influence are developed.

This model allows toidentify the most vulnerable elements and subsystems of the IoT system. This ranking of objects can be used to optimize the security of the system.

Ключевые слова — гетерогенные системы, безопасность, структурная модель, синергетический эффект, структурно-параметрическая модель

I. Введение

В современном мире все большую популярность приобретают сложные интегрированные системы автоматизации процессов[1]. Одной из особенностей таких систем является гетерогенность, т.е. возможность взаимодействия объектов различного функционального назначения. Характерными примерами служат системы, построенные на основе IoT-технологий и получившие широкое распространение в рамках реализации концепции «умный город» [2]. Такие системы призваны способствовать улучшению качества жизни, оптимизации производственных процессов, экономии ресурсов, денежных средств, а также повышению безопасности населения.

Объекты рассматриваемых систем в свою очередь также могут носить гетерогенный характер, обладая набором различных функций в разной степени и даже разнонаправлено влияющих на защищённость других объектов.

Гетерогенный характер рассматриваемых систем способствует возникновению различного рода синергетических эффектов, которые в значительной степени и повышают привлекательность их использования [3]. Однако проявление синергетических эффектов может приводить и к негативным последствиям: к усилению существующих или к появлению новых угроз безопасности как для человека, так и для самих систем [4]. Следует отметить, что многие современные системы, в частности, системы, построенные на основе IoT-технологий, включают в себя элементы и подсистемы, обеспечивающие её безопасность.

На сегодняшний день существует множество подходов к выбору мер и средств обеспечения безопасности на различных объектах, которые, как правило, носят эвристический характер и основываются на экспертных оценках, полученных с использованием неформализованных или частично формализованных методов [5]. Поэтому для повышения обоснованности выбора мер и средств обеспечения безопасности возникает необходимость разработки моделей и методов, основанных не только на качественном, но и количественном анализе возможных как внутренних, так и внешних деструктивных воздействий на рассматриваемые системы [6, 7].

Одной из основных задач при обеспечении безопасности системы является выявление и количественная оценка совместимости мер и средств обеспечения её безопасности и, на этой основе, выбора вариантов усиления совместимых и/или исключения несовместимых мер и средств[8, 9].

В связи с этим возникает задача оптимизации функционирования указанных элементов, которая может быть решена с использованием методов математического моделирования.

II. Модель гетерогенной системы

Под гетерогенной системой в рамках данной работы понимается совокупность взаимодействующих друг с другом разнородных объектов. Для решения поставленной задачи рассмотрим гетерогенную систему в виде взвешенного ориентированного двудольного графа $G = (O \cup F, S^O \cup S^F, H^O, L^F)$, где:

$O = \{o_1, o_2, ..., o_n\}$ – множество вершин, соответствующих объектам системы;

©2019 ИПУСС РАН, СамГТУ, IEEE

$F = \{f_1, f_2, ..., f_m\}$ – множество вершин, соответствующих функциям объектов, влияющим на защищённость других объектов системы;

$S^O \subseteq O \times F$ – дуги, направленные от вершин, соответствующих объектам, к вершинам, соответствующим их функциям;

$S^F \subseteq F \times O$ – дуги, направленные от вершин, соответствующих функциям одних объектов к вершинам, соответствующим другим объектам, на защищённость которых они могут оказывать влияние;

$H^O = (h_1(t), h_2(t), ..., h_n(t))$ – веса вершин, отражающие степень защищённости объектов;

$L = (l_{ij}(t))$ – веса дуг, отражающие влияние функций одних объектов на степень защищенности других.

III. Оценки параметров гетерогенной системы

Для оценки параметров гетерогенной системы следует учитывать, что в процессе её функционирования защищённость содержащихся в ней объектов может изменяться под воздействием как внешних, так и внутренних факторов.

Степень защищённости $h_i(t)$ каждого объекта o_i может быть количественно определена на основе использования известных методов получения экспертных оценок. Примеры их нахождения для систем различного назначения описаны в [10,11].

Веса вершин $h_i(t)$ характеризуют изменение степени защищенности объектов o_i на некотором временном интервале $T = [t_1, t_2]$, а их производные – усиление (если $\dot{h}_i(t) > 0$) или ослабление (если $\dot{h}_i(t) < 0$) степени защищенности объектов. Заметим, что количественно $h_i(t)$ может быть рассчитан как с учётом влияния на защищённость объекта o_i всех возможных функций других элементов системы, так и без учёта влияния отдельной функции f_j некоторого элемента, что позволяет получить количественную оценку взаимовлияния объектов на защищённость друг друга.

Обозначим $h_i|_F$ – степень защищенности в рамках системы в целом, $h_i(t)\big|_{F\setminus\{f_j\}}$ – защищенность системы после исключения влияния функции f_j. В этом случае влияние функции f_j на защищённость объекта o_i оценивается как:

$$l_{ij}(t) = \dot{h}(t)\big|_F - \dot{h}(t)\big|_{F\setminus\{f_j\}}. \qquad (1)$$

IV. Описаниекачественного влияния объектов гетерогенной системы на защищённость друг друга

Обратимся к нахождению оценок взаимовлияния объектов на безопасность друг друга. Первоначально рассмотрим возможные типы взаимовлияния объектов гетерогенной системы, которое осуществляется через их функции. При этом между объектами могут возникать как положительные, так и отрицательные обратные связи, влияющие на уровень защищённости данных объектов.

Указанные типы связей проявляются в усилении (ослаблении) уровня защищённости одних объектов системы в результате усиления (ослабления) уровня защищённости других объектов. Для описания указанных связей в этом случае используются знаковые графы, в которых дуги, соответствующие усилению, снабжаются знаком «+», а соответствующие ослаблению – знаком «–». Положительная обратная связь может быть следующих видов[12]:

- синергетическая связь – усиление (ослабление) уровня защищённости объекта o_i вызывает усиление (ослабление) уровня защищённости объекта o_j и наоборот (рис.1);

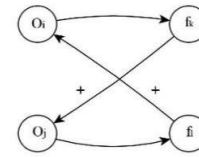


Рис. 1. Положительная обратная связь (синергетическая)

- антагонистическая связь – усиление (ослабление) уровня защищённости объекта o_i вызывает ослабление (усиление) уровня защищённости объекта o_j и наоборот (рис.2).

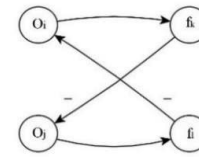


Рис. 2. Положительная обратная связь (антагонистическая)

Для отрицательной обратной связи результат знаков прямого и обратного отношений всегда отрицательный(рис.3).

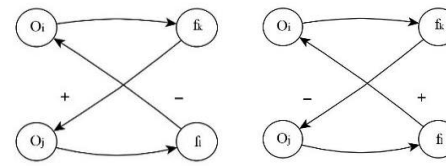


Рис. 3. Отрицательная обратная связь

В качестве примера рассмотрим взаимосвязь элементов некоторой интегрированной системы безопасности (ИСБ), структурная модель которой представлена на рис. 4. Вершинами являются объекты, обеспечивающие безопасность:

o_1 –средства видеонаблюдения;

o_2 – беспилотные летательные аппараты (БПЛА);

а также их функции:

f_1 – функция контроля периметра;

f_2 – функция реагирования на движение объектов;

f_3 – функция контроля за оборудованием.

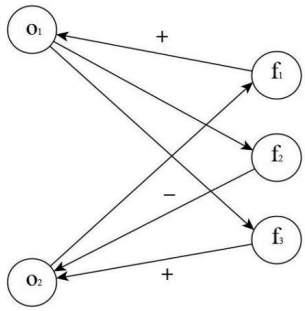


Рис. 4. Структурная модель взаимосвязи элементов ИСБ

Положительное влияние на объект o_1 оказывается объектом o_2 посредством функции f_1. В свою очередь, объект o_2 оказывает положительное влияние на объект o_1 посредством реализации функции f_3.

При взаимодействии устройств различных типов (БПЛА и камер видеонаблюдения) наблюдается синергетический эффект, который заключается в следующем: за счет функции БПЛА «наблюдать за периметром» исключаются слепые зоны камер видеонаблюдения, а за счет функции видеокамер «контролировать оборудование» исключается возможность вылета БПЛА за пределы контролируемой зоны (КЗ).Недостатком средств видеонаблюдения является возможность в некоторых случаях неправильной идентификации движущихся объектов. Это может приводить к ложному распознаванию БПЛА как нарушителей безопасности (функция f_2).

Таким образом, выявление типов взаимосвязей между объектами позволяет построить структурную модель гетерогенной системы. Однако этого может быть недостаточно, посколькукак положительная, так и отрицательная обратная связь:

- могут оказывать на защищённости объектов и системы в целом различное воздействие - от самого незначительного до существенного;
- не учитывают динамику изменения уровня защищённости.

V. Оценки количественного влияния объектов гетерогенной системы на защищённость друг друга

Имеющуюся структурную модель преобразуем в структурно-параметрическую. Для этого обратимся к нахождению количественных оценок взаимовлияния объектов гетерогенной системы на защищённость друг друга с учётом динамики её изменения.

Если

$$l_{ij}(t) = \dot{h}(t)\big|_F - \dot{h}(t)\big|_{F\setminus\{f_j\}} > 0, \quad (2)$$

то функция f_j в момент времени t оказывает положительное влияние на защищенность объекта o_i.

Если

$$l_{ij}(t) = \dot{h}(t)\big|_F - \dot{h}(t)\big|_{F\setminus\{f_j\}} < 0, \quad (3)$$

то функция f_j в момент времени t оказывает негативное влияние на защищенность объекта o_i.

Если

$$l_{ij}(t) = \dot{h}(t)\big|_F - \dot{h}(t)\big|_{F\setminus\{f_j\}} = 0, \quad (4)$$

то функция f_j в момент времени t не оказывает влияния на защищенность объекта o_i.

Выражения (2)-(4) позволяют не только качественно описать типы влияния отдельных функций одних объектов на защищённость других объектов в момент времени t, но и охарактеризовать их количественно.

Оценка влияния объекта o_i через все свои функции $f_{q_1}, f_{q_2}, \ldots, f_{q_s}$ на степень защищённости объекта o_j может быть охарактеризована следующей величиной:

$$\lambda_{ij}(t) = \sum_{k=1}^{s} l_{q_k j} \quad (5)$$

Выражение (5) может быть использовано для оценки степени влияния всех объектов системы на защищенность объекта o_j за интервал времени T:

$$\int_T \sum_{i=1}^{n} \lambda_{ij}(t)\, dt \quad (6)$$

Формула (6) позволяет осуществить ранжирование объектов системы по влиянию на их безопасность всех элементов системы.

VI. Оценка значимости объектов и их функций для безопасности системы

Введём коэффициенты α_j значимости объектов o_j в составе данной системы (они могут быть определены на основе использования метода анализа иерархий [13]). Тогда оценка степени влияния объекта o_i на защищенность всех других объектов системы за интервал времени T с учётом значимости объектов определяется выражением:

$$\int_T \sum_{j=1}^{n} \alpha_j \lambda_{ij}(t)\,dt \qquad (7)$$

Формула (7) позволяет осуществить ранжирование объектов по их важности для обеспечения безопасности системы. Аналогичным способом могут быть найдены степени влияния функции f_j некоторого объекта на все объекты системы (8).

$$\int_T \sum_{k=1}^{n} \alpha_k l_{jk}(t)\,dt \qquad (8)$$

Выражения (6)-(8) могут быть использованы для формирования политики безопасности гетерогенной системы.

Если известен набор допустимых вариантов $W = \{w_1, ..., w_n\}$ реконфигурации системы, которые могут моделироваться изменением степени взаимного влияния объектов на защищённость друг друга.

Введем обозначения:

$\lambda_{ij}^{w}(t)$ – оценка влияния всех функций объекта o_i на степень защищённости объекта o_j в соответствии с вариантом реконфигурации w;

$l_{ij}^{w}(t)$ – оценка влияния функции f_i на степень защищенности объекта o_j в соответствии с вариантом реконфигурации w.

Если реконфигурация предполагает модификацию объектов, которая может затрагивать все или часть его функций, то задача выбора варианта реконфигурации гетерогенной системы имеет следующий вид:

$$\text{найти } w^* = Arg\max \sum_{i=1}^{n} \int_T \sum_{j=1}^{n} \left(\alpha_j \lambda_{ij}^{w}(t)\right) dt \qquad (9)$$

Если реконфигурация предполагает модификацию отдельных функций объектов, то задача выбора варианта реконфигурации гетерогенной системы имеет следующий вид:

$$\text{найти } w^* = Arg\max \sum_{i=1}^{n} \int_T \sum_{j=1}^{n} \left(\alpha_j l_{ij}^{w}(t)\right) dt \qquad (10)$$

После введения дополнительных ресурсных ограничений задачи (9) и (10) сводятся к задачам линейного программирования.

VII. Заключение

Таким образом, получена математическая модель, описывающая как качественно, так и количественно взаимовлияние элементов гетерогенных систем на их защищённость, а также влияние данных элементов на защищённость системы целом. На этой основе предлагается модель оптимизации выбора различных вариантов реконфигурации системы для максимизации её защищённости, и как следствие, эффективности. Полученная структурно-параметрическая модель может быть применена для конкретных гетерогенных систем, при условии детального изучения всех функциональных зависимостей между объектами и разработки необходимых для этого численных методов.

Список литературы

[1] Болодурина И.П., Парфёнов Д.И. Моделирование обеспечения надежности функционирования объектов сетевой инфраструктуры кибер-физической системы // Вестник ЮУрГу. Серия «Компьютерныетехнологии, управлениеирадиоэлектроника», 2018. № 4. –С. 41-51.

[2] Stallings W. The Internet of Things: Network and Security Architecture// The Internet Protocol journal, desember 2015, volume 18, number 4, pp. 2-25.

[3] Recommendation ITU-T Y.2060. Overview of the Internet of Things, 2012.

[4] Hassan Q. Internet of Things A to Z: Technologies and Applications. –Wiley-IEEE Press, 2018.

[5] ЯзовЮ.К., СоловьевС.В. Организациязащитыинформации в информационных системах от несанкционированного доступа. Монография. – Воронеж: Кварта, 2018. – 588 с.

[6] Menshikh, V.V., Pyankov, O.V. Structural parametric modelling of an information-analytical system // Bulletin of the South Ural State University, Series: Mathematical Modelling, Programming and Computer Software, pp. 105-113. – 2016.

[7] Menshikh, V.V., Pyankov, O.V. Interval estimation of a system balance based on the conflict theory //Journal of Siberian Federal University - Mathematics and Physics,pp. 249-257. – 2018.

[8] Menshikh, V., Samorokovskiy, A., Avsentev, O. Models of resource allocation optimization when solving the control problems in organizational systems // Journal of Physics: Conference Series. – 2018.

[9] Меньших Т.В. Оценка параметров игр с иерархическим вектором интересов / Т.В. Меньших // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Математическое моделирование и программирование». – 2018. — С. 118-122.

[10] Грибунин В.Г., Чудовский В.В. Комплексная система защиты информации на предприятии. – Москва: Академия, 2009. – 416 с.

[11] Шанаев Г.Ф., Леус А.В. Системы защиты периметра.– М: Секьюрити Фокус, 2011. – 280 с.

[12] Светлов В.А. Аналитика конфликта. – СПб.: ООО «Росток», 2001. –512с.

[13] Саати Т. Принятие решений «метод анализа иерархий». Перевод с английского Вачнадзе Р.Г. / Т. Саати – М. : Радио и связь, 1993. – 278с.

Анализ изменения точности прогнозов нейронной сети, в зависимости от используемых входных параметров

Мисник А.Е.
МОУ ВО «Белорусско-Российский университет»
Могилев, Республика Беларусь
anton@misnik.by

Крутолевич С.К.
МОУ ВО «Белорусско-Российский университет»
Могилев, Республика Беларусь
s_krutolevich@tut.by

Прокопенко С.А.
МОУ ВО «Белорусско-Российский университет»
Могилев, Республика Беларусь
puss95@yandex.by

Боровых П.А.
RoninAI Lab
Нью-Йорк, США
peter.borovykh@gmail.com

Васильев М.В.
RoninAI Lab
Могилев, Республика Беларусь
max.vasilyeu@gmail.com

***Abstract* — The neural networks are tool for approximation universal series of data, but their precision highly depends on a adequate set of inputs. Cryptocurrencies experience high levels of volatility due to absence of agreed upon pricing methodologies behind its valuation. In this article we analyze approaches of obtaining additional inputs for neural networks and explore their influence on its precision.**

Ключевые слова — нейронные сети, подбор входных параметров, анализ точности

I. Введение

Нейронные сети являются универсальным аппроксиматором данных, но точность их прогнозов в значительной степени зависит от адекватного набора входных данных. Из-за отсутствия согласованных методологий ценообразования криптовалюты характеризуются высоким уровнем волатильности. В данной статье анализируются подходы получения дополнительных входных данных для нейронных сетей и исследуется их влияние на точность прогнозов нейронной сети.

Для анализа выбрано изменение точности прогнозов нейронной сетью цены Биткойн (BTC), с использованием в качестве входных параметров рыночных данных, социальных и временных факторов.

Для сравнения в исследования включены две архитектуры нейронных сетей: многослойный персептрон (MLP) и сеть долгой краткосрочной памяти (LSTM). MLP является наиболее распространенной архитектурой, обеспечивающей приемлемую точность в большом количестве задач, а LSTM считается более точной в задачах прогнозирования временных рядов.

Результаты проверены и основаны на нейронных сетях, созданных RoninAI Lab. RoninAI использует различные нейронные сети для прогнозирования курса криптовалют, предоставляя практические данные и их анализ для данного исследования.

II. Сбор рыночных данных

В ряде источников упоминается возможность прогнозирования цены актива с использованием рыночных данных.

Чтобы проверить точность прогнозирования рыночных данных, мы начали со сбора исторических минутных рыночных данных за год с одной из старейших и крупнейших криптовалютных бирж - Kraken. Входные параметры рыночных данных приведены в таблице I.

ТАБЛИЦА I. Параметры рыночных данных

Название параметра	**Описание**
ДАТА И ВРЕМЯ	Отметка времени данной минуты
ОТКРЫТИЕ	Цена актива в 0 секунду текущей минуты
ЗАКРЫТИЕ	Цена актива в 59 секунду текущей минуты
МАКСИМУМ	Максимальная цена актива в течение текущей минуты
МИНИМУМ	Минимальная цена актива в течение текущей минуты
ОБЪЕМ ОТ	Минимальный объем продаж в секунду
ОБЪЕМ ДО	Максимальный объем продаж в секунду

III. Обучение нейронных сетей на основе рыночных данных

В качестве эталонной модели для анализа будем рассматривать MLP и LSTM нейронные сети, обученные на основе рыночных данных. [1,2,5]

После обучения нейронных сетей MLP и LSTM, использующих рыночные данные в качестве входных данных и цену BTC в следующую минуту в качестве выходных данных, модели продемонстрировали результаты, представленные на рис. 1.

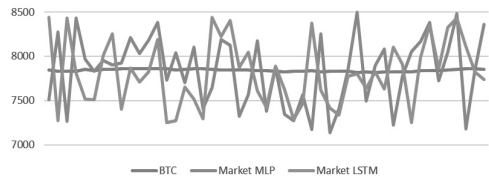


Рис. 1. Результаты обучения нейронных сетей на основе рыночных данных

Точность прогнозов обеих нейронных сетей оказалась достаточно низкой. LSTM показала чуть лучшую точность.

©2019 ИПУСС РАН, СамГТУ, IEEE

IV. Дополнение входных параметров временным фактором

Первым дополнительным фактором, включенным в исследование, является экспертный фактор времени, отражающий уровень активности бирж. Переобучение нейронных сетей с дополнительным временным фактором привело к результатам, показанным на рис. 2.

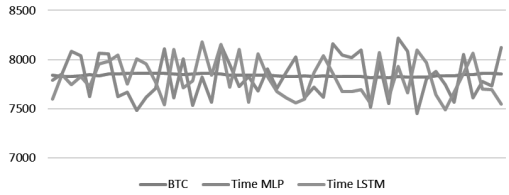


Рис. 2. Результаты обучения нейронных сетей на основе рыночных данных и временного фактора

Несмотря на достаточно низкий уровень точности, прогнозы, сделанные как MLP, так и LSTM, оказались значительно лучше по сравнению с прогнозами, основанными только на рыночных данных.

V. Дополнение входных параметров социальным фактором

Считается, что большинство игроков на рынке криптовалюты являются розничными инвесторами, которые принимают свои инвестиционные и торговые решения, в частности, глядя на изменение графиков курса криптовалют. Пример такого графика представлен на рисунке 3.

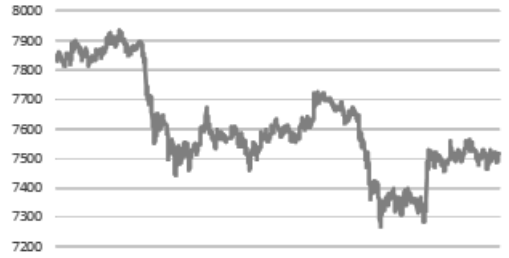


Рис. 3. График изменения курса BTC

В рамках исследования было решено проверить влияние факторов визуального восприятия на прогноз нейронной сети.

Рассмотрим алгоритм, который позволяет нам идентифицировать некоторые сложные показатели числового ряда, которые мы можем использовать для оценки субъективного восприятия трейдером визуального графика.

В общем, любой ряд данных может рассматриваться как сумма линейных и гармонических компонентов.

Цель дальнейшего исследования заключается в исследовании алгоритма выделения этих составляющих и их нормирования. [4,6,11]

Предложенный алгоритм предполагает проведение следующих этапов.

1. Определение минимального элемента e_{min} ряда E.

2. Проведение операции вычитания

$$E'=e_i-e_{min}. \quad (1)$$

3. Аппроксимация ряда E' полиномом первого порядка вида

$$e_l=a(0)+a(1)*n, \quad (2)$$

где a(0), a(1) –коэффициенты аппроксимации; n-дискретные значения оси времени.

4. Вычисление коэффициента относительного изменения линейной составляющей за период T по формуле:

$$e_l=a(1)*T*100/e_{min}, \quad (3)$$

Величина e_l является относительной и не зависит от абсолютного значения ряда. Если величина $e_l>0$ линейная составляющая увеличивается.

5. Для оценки гармонической составляющей ряда проведем прямое преобразование Фурье (FFT) для ряда E'.

6. Определим модули амплитуд колебаний в частотной области A(w). Проведём фильтрацию частот по значениям амплитуд.

Для анализа эффективности предложенного алгоритма проведём ряд экспериментов в среде MATLAB.

Шаг 1. Линейная составляющая постоянная. Гармоническая отсутствует. Результаты представлены на рисунке 4. В качестве легенды на второй график выводится значение коэффициента e_l. В данном случае $e_l=0$.

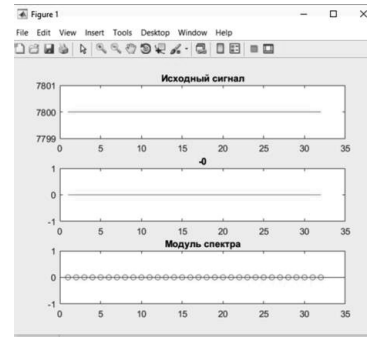


Рис. 4. Анализ эффекивности, шаг 1

Шаг 2. Линейная составляющая растет. Гармоническая отсутствует. Результаты представлены на рисунке 5. Коэффициент e_l=20%. Модули спектра имеют значения в области низких частот (1-2 Гц.). Следует помнить, что основная полоса частот для модуля вещественной последовательности лежит в интервале 0<=k<=N/2-1.

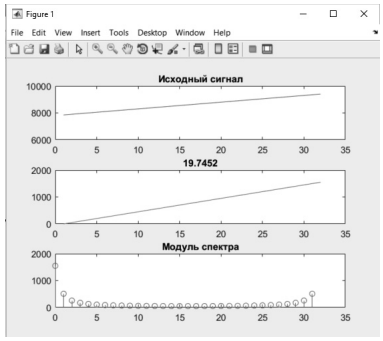


Рис. 5. Анализ эффективности, шаг 2

Поэтому частоты выше 15 Гц в нашем примере должны игнорироваться. При необходимости учитывать более высокие частоты увеличим число точек дискретизации времени N.

Шаг 3. Линейная составляющая уменьшается. Гармоническая отсутствует. Результаты представлены на рисунке 6. Значение коэффициента e_l<0.

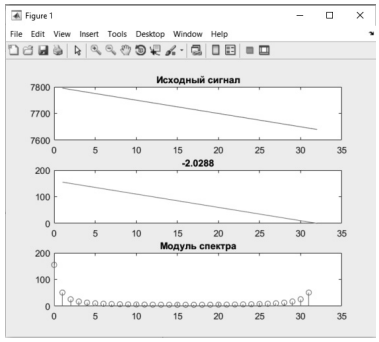


Рис. 6. Анализ эффективности, шаг 3

Шаг 4. Линейная составляющая отсутствует. Гармоническая присутствует при частоте 3Гц - амплитуда 20. Результаты представлены на рисунке 7.

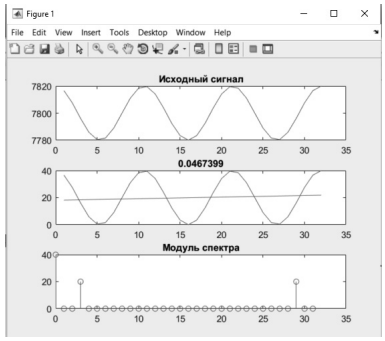


Рис. 7. Анализ эффективности, шаг 4

Шаг 5. Линейная составляющая возрастает. Гармоническая присутствует при частоте 3Гц - амплитуда 400. Результаты представлены на рисунке 8.

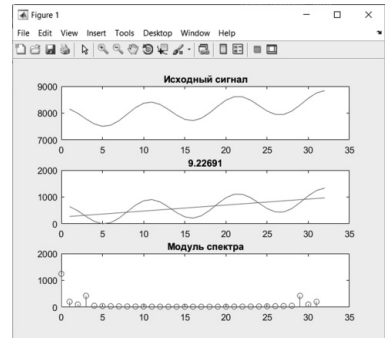


Рис. 8. Анализ эффективности, шаг 5

Применим предложенный алгоритм к данным, представленным на рисунке 3.

Результат представлен на рисунке 9. На рисунке видно, что линейная составляющая прогнозирует тренд на снижение со скоростью 4,1 % за период. Модули амплитуд гармонических составляющих оказывают влияние в частотах до 10 Гц.

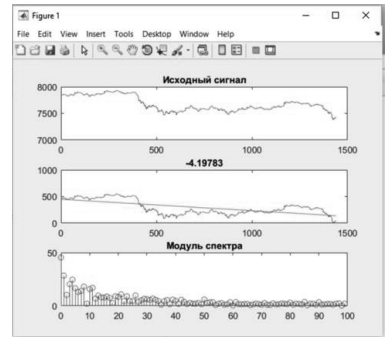


Рис. 9. Анализ эффективности, график курса BTC

Предложенный алгоритм выделяет линейную и гармонические составляющие числового ряда.

Предложенный коэффициент e_l – может служить мерой оценки тренда изменений значений числового ряда.

Модули амплитуд колебаний в частотной области после прямого преобразование Фурье могут служить мерой оценки колебательной составляющей ряда данных.

В нашем случае мы расширили входы нейронных сетей 4 новыми параметрами: коэффициент e_l и 3 диапазона гармонических составляющих: от 0 до 10 Гц, от 10 до 30 Гц, 30 Гц и выше.

После расчета вышеупомянутых параметров для каждого ряда нашего набора данных сети MLP и LSTM прошли переобучение. Результаты обучения показаны на рисунке 10.

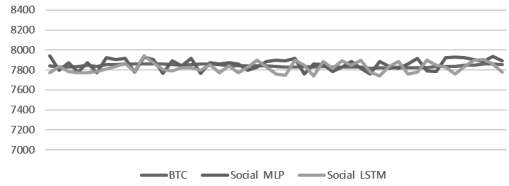


Рис. 10. Результаты обучения нейронных сетей на основе рыночных данных, временного и социального факторов

Точность прогнозов в сетях MLP и LSTM оказалась намного лучше по сравнению с предыдущими результатами.

VI. Дополнение входных параметров фактором социальных сетей

В последнее время социальные сети стали мощным явлением, влияющим на мнение людей по различным вопросам.

Чтобы сделать прогнозы более точными, мы попытались использовать данные, полученные из социальных сетей.

Мы расширили наши входные данные параметрами, извлеченными из социальных сетей по темам, связанным с BTC. Результаты обучения нейронных сетей показаны на рисунке 11.

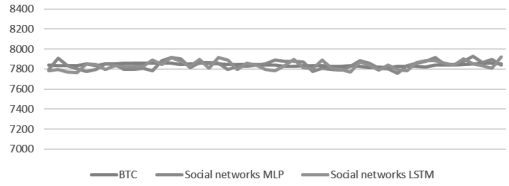


Рис. 11. Результаты обучения по рыночным данным, фактору времени, социальным факторам и факторам социальных сетей

Точность прогнозов сетей MLP и LSTM стала еще ближе к реальной цене BTC.

VII. Заключение

Дополнение рыночных данных релевантными параметрами может значительно повысить точность прогнозов.

Метод, описанный в разделе V, можно использовать на различных числовых рядах данных для получения дополнительных входных параметров.

В наших экспериментах сети LSTM показали несколько лучшую точность, чем MLP.

Список литературы

[1] Хайкин С. Нейронные сети: полный курс, 2-е изд., испр. — М. Ж ООО «И.Д. Вильямс», 2006. — 1104 с.

[2] Галушкин А.И. Теория нейронных сетей. Кн. 1. М.: ИПРЖР. 2000. — 416 с.

[3] Tang, Jiliang; Chang, Shiyu; Aggarwal, Charu; Liu, Huan (2015). "Negative Link Prediction in Social Media" (PDF). In Proceedings ofACM International Conference on Web Search and Data Mining.

[4] «Исследование и разработка методов и моделей интеллектуального управления рисками в сложных организационно-технических систе-мах», НИР, 2011—2013 г.г., Минобрнауки России, Аналитическая ведом-ственная целевая программа «Развитие научного потенциала высшей шко-лы», в рамках тематического плана НИУ «МЭИ», Договор № 1043110. Отчет о НИР; Борисов В.В., Сеньков А.В., Мисник А.Е. и др. — М., 2012. № гос.рег. 01201067780. — 108 с.

[5] Головко В.А. Нейронные сети: обучение, организация, применение. — Кн.4. — М.: ИПРЖР. — 2001.

[6] Борисов В.В., Мисник А.Е. Иерархическая нейросетевая модель систем теплоснабжения //Энергетика, Информатика, Инновации–2011 — ЭИИ-2011: сб. трудов Междунар. науч.-техн. конф. В 2 т. Т. 2 Секции 3, 4, 5. Смоленск: РИО филиала ГОУВПО МЭИ(ТУ) в г. Смоленске, 2011. — 291 с. С. 205—207.

[7] Wierstra, Daan; Schmidhuber, J.; Gomez, F. J. (2005). "Evolino: Hybrid Neuroevolution/Optimal Linear Search for Sequence Learning". Proceedings of the 19th International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI), Edinburgh: 853–858.

[8] Борисов В.В., Мисник А.Е. Комбинированный нейросетевой способ моделирования для оперативного управления сложными системами // Информационные технологии. – 2012. – № 7. – С. 69–72.

[9] Мисник А.Е., Борисов В.В. Композиционное нейросетевое моделирование сложной технической системы // Тез. докл. XII Всероссийской научной конференции «Нейро-компьютеры и их применение», «НКП–2014», Москва, 18.04.2014. – С. 64–65.

[10] Tax, N.; Verenich, I.; La Rosa, M.; Dumas, M. (2017). "Predictive Business Process Monitoring with LSTM neural networks". Proceedings of the International Conference on Advanced Information Systems Engineering (CAiSE): 477–492. arXiv:1612.02130 Freely accessible. doi:10.1007/978-3-319-59536-8_30.

[11] Борисов В.В., Мисник А.Е. Использование типизированных нейросетевых моделей сложной технической системы // Информационные технологии, Энергетика и Экономика–2013 — Сб. трудов 10-й Междунар. Науч.-техн. конф. В 3 т. Т. 2 Секции 4, 5. Смоленск: РИО филиала МЭИ в г. Смоленске, 2013. — 282 с. С. 103—105.

Методика построения промышленных аналитических систем сбора и обработки данных

Мисник А.Е.
МОУ ВО «Белорусско-Российский университет»
Могилев,
Республика Беларусь
anton@misnik.by

Лукьянов Е.П.
ЗАО «ГИАП-ДИСТцентр»
Москва,
Российская Федерация
lukjanovep@giapdc.ru

Крутолевич С.К.
МОУ ВО «Белорусско-Российский университет»
Могилев,
Республика Беларусь
s_krutolevich@tut.by

Прокопенко С.А.
МОУ ВО «Белорусско-Российский университет»
Могилев,
Республика Беларусь
puss95@yandex.by

***Abstract* — This article is devoted to methods of the development of industrial analytical data collection and processing systems. It is shown how to obtain a synergistic effect by combining well-known approaches and ensuring interaction between them using analytical and neural network modules.**

Ключевые слова — промышленные аналитические системы сбора и обработки данных, хранение данных, анализ данных

I. Введение

Современные предприятия, как организационно-техническая система, становятся всё более сложными как по структуре, так и по внутренним связям между структурными компонентами. Предпосылками этих процессов являются: активная работа на международных рынках; высокая конкуренция; тенденция к снижению затрат; обеспечение безопасности производства; необходимость динамичного реагирования на потребности рынка.

В связи с развитием технологий в области контрольно-измерительных приборов, существенно вырос доступный для анализа объём данных о состоянии технических устройств, кроме того, очевидно, что автоматизация процессов приводит к снижению количества ошибок, вызванных человеческим фактором. Эти аспекты должны контролироваться с использованием соответствующих аналитических информационных систем обработки данных, обеспечивающих достижение поставленных целей в условиях значимых неопределенностей, особенно в контексте длительных временных горизонтов.

II. Традиционный подход к построению аналитических систем сбора и обработки данных

В рамках традиционного подхода к организации промышленных аналитических систем сбора и обработки данных каждая отдельная часть такой системы представляет из себя, фактически, отдельный программный модуль, со своей, как правило, статичной системой хранения данных и логикой работы, жёстко определённой на этапе проектирования и реализации системы.

Данный подход имеет следующие недостатки:

- дублирование данных в системе;
- сложность, а, зачастую, и невозможность организации связей между данными в различных модулях;
- необходимость привлечения программистов для создания новых модулей, внесения изменений в логику работы существующих модулей, отображение данных и внешний вид модулей.

III. Методика построения аналитических систем сбора и обработки данных

В качестве основы для организации хранения данных, предлагается использовать объектно-ориентированный подход, в рамках которого формируется подсистема **«Дерево типов»**.

Под типом, в полном соответствии с классическим подходом, понимается описание совокупности объектов через их общие атрибуты. Атрибутом типа объекта является именованное свойство или характеристика объекта данного типа. Каждый атрибут типа характеризуется именем, уникальным в этом типе, и видом данных, которые данный атрибут будет хранить. Все экземпляры (объекты) одного типа имеют одинаковый набор атрибутов. Экземпляры типа отличаются друг от друга значениями атрибутов. Атрибуты, по значениям которых можно идентифицировать каждый объект от других объектов этого типа называются ключевыми. Если ключевых атрибутов несколько, то формируется составной ключ. Предлагается использовать следующие основные виды атрибутов: строка, число, счетчик, дата, дата и время, текст, файл. Для атрибутов вида строка, число, дата, дата и время, файл должна быть доступна возможность задать свойство «массив». Кроме того, атрибутом может выступать ссылка на другой тип системы [1].

Типы должны находиться в иерархических отношениях и могут быть произвольно связаны как друг с другом, так и сами с собой, если этого потребует структура данных, либо бизнес-процесс. [3]

Подобный подход позволяет без привлечения программистов и инженеров по базам данных формировать силами подготовленного пользователя иерархические структуры данных произвольной вложенности с необходимыми связями между уровнями иерархии.

На практике бизнес-процессы крайне редко идеально повторяют структуру хранения данных. Для формирования отображения данных, для конечного пользователя системы, необходима подсистема, способная связать данные, находящиеся на различных уровнях иерархии, так и в различных ветвях **«Дерева типов»**. [3]

©2019 ИПУСС РАН, СамГТУ, IEEE

В качестве такой подсистемы предложены **«Интерфейсы»**.

В рамках этой подсистемы должны быть реализованы возможности по настройке отображения данных, как в виде форм, так и в виде таблиц для просмотра и редактирования информации. Диапазон настроек должен позволять формировать широкое разнообразие бизнес-процессов.

Пользовательские интерфейсы должны иметь иерархическую структуру, которая обеспечивает последовательный вывод связанных данных.

Такой подход позволяет отказаться от предварительной настройки всех возможных вариантов использования бизнес-процесса.

В рамках промышленных аналитических систем сбора и обработки данных для полноценного их функционирования недостаточно только лишь возможностей для ввода и вывода информации. Особенностью систем обработки данных, ориентированных на использование инженерно-техническим персоналом, является необходимость предоставления пользователю аналитических данных, на основе доступной внутри системы информации.

Для обработки данных и формирования аналитической информации, предлагается использовать подсистему **«Аналитика»**, которая, фактически, должна представлять собой внутрисистемный мета-язык программирования, позволяющий в первую очередь оперировать данными в системе в максимально дружественном для пользователя виде, преимущественно с помощью системных диалогов - «мастеров». Сравнение различных вариантов реализации такого модуля приведено в таблице I.

ТАБЛИЦА I. СРАВНЕНИЕ ВАРИАНТОВ РЕАЛИЗАЦИИ ПОДСИСТЕМЫ «АНАЛИТИКА»

	Логика в ядре системы	**Встраиваемая логика на языке ядра системы**	**Логика на внутреннем языке системы**
Уровень знаний языков программирования	Отсутствует	Высокий	Базовый
Безопасность модуля	Высокая	Низкая	Высокая
Зависимость от разработчиков	Высокая	Низкая	Низкая
Сложность разработки модуля	Отсутствует	Низкая	Высокая
Универсальность и гибкость	Низкая	Низкая	Высокая

С целью снижения порога вхождения пользователя для работы с данной подсистемой и повышения уровня безопасности, не рекомендуется использовать традиционные языки программирования, а разработать свой внутренний мета-язык программирования. Данный мета-язык должен реализовывать принципы линейного программирования, включать основные алгоритмические конструкции, иметь доступ к структуре данных подсистемы **«Дерево типов»** в дружественном для пользователя виде.

Практика показывает, что основной потребностью пользователей при работе с промышленными аналитическими системами сбора и обработки данных является получение необходимых данных, их несложная обработка и запись результатов. Какие-либо алгоритмически сложные для пользователя операции могут быть реализованы программистами в рамках подключаемых к подсистеме **«Аналитика»** функций. [2]

Применение такого подхода позволит подготовленным пользователям без привлечения программистов формировать бизнес-логику обработки данных внутри системы.

Актуальной проблемой промышленных аналитических систем сбора и обработки информации является качество данных, как поступающих на вход системы, так и полученных в результате анализа. Для входных данных проблема обостряется, если полностью или частично они вводятся операторами. Что касается аналитических данных, полученных с помощью расчётов, помимо рисков, касающихся исходных данных, на их точность влияют риски несовершенства методики расчётов.

Существующие подходы, такие как, например, двойной ввод информации или постоянный контроль за её вводом, являются достаточно затратными как финансово, так и по времени. Такие способы решения не всегда оправданы и эффективны.

Одним из возможных решений проблемы качества исходных и аналитических данных в промышленных системах является использование нейросетевого модуля **«Супервизор»**, который в режиме реального времени способен проверять изменяющиеся в системе данные. Реализация такого **«Супервизора»** в каждом отдельном случае должна быть индивидуальна, потому наиболее удобна в виде некого конструктора, в рамках которого архитектор системы может выбрать архитектуру и топологию сети, а также входные и выходные параметры. В случае если существует вероятность некорректного ввода данных, супервизор сообщает оператору о необходимости проверки введённых данных. Если же вероятность ошибки зафиксирована в аналитических данных, сообщение об этом передаётся эксперту или архитектору системы. Для дополнительного обучения нейросетевой **«Супервизор»** отслеживает реакцию пользователей на переданные им сообщения о вероятных ошибках. Кроме того, обучение может происходить под управлением подготовленного пользователя системы. [4]

Использование нейросетевого **«Супервизора»** позволяет повысить качество вводимых данных и усилить контроль за результатами аналитических расчётов. [5,6]

Подводя итог, можно представить следующую упрощённую схему взаимодействия подсистем в рамках промышленной аналитической системы сбора и обработки данных (рис. 1).

Помимо вышеописанных, на схеме присутствуют подсистемы **«Аутентификация и авторизация»**, **«Импорт данных»** и **«Отчёты»**, назначение которых очевидно.

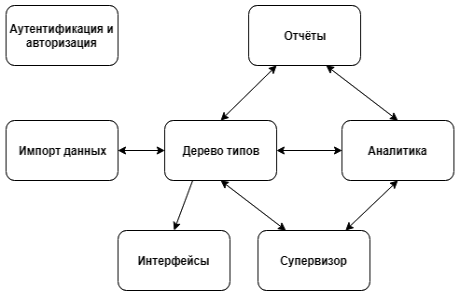


Рис. 1. Схема взаимодействия подсистем

IV. Пример реализации промышленной аналитической системы сбора и обработки данных

Закрытое акционерное общество «ГИАП-ДИСТцентр» создано в 1995 году, основным видом деятельности являются работы по обеспечению промышленной безопасности опасных производственных объектов.

При проведении крупных проектов, таких как создание систем контроля технических устройств, в том числе в рамках уникальных работ по увеличению интервалов между капитальными ремонтами объектов нефтегазового и химического комплексов, консолидируются для выполнения поставленных задач силы профильных ведущих институтов и экспертных организаций страны.

Для обеспечения надежности и безопасности промышленных установок необходимо учитывать накопленные научные знания и некоторые существующие подходы, подкрепленные хорошей инженерной практикой, которые включены в международные стандарты и руководящие принципы.

Разработанные методические документы, такие как ICTE 1-002-14, ICTE 3-002-14, ICTE 3-003-14, а также создаваемое собственным IT-отделом программное обеспечение позволяют оптимизировать процесс анализа фактического состояния оборудования, своевременно выявлять критически опасные объекты и обеспечивать промышленную безопасность.

На основании многолетнего опыта и анализа существующих систем, было принято решение о разработке собственной промышленной информационной системы обработки данных, позволяющей решать конкретные задачи, как в области обеспечения промышленной безопасности предприятия, так и в области информационной поддержки различных бизнес-процессов на предприятии. Модульность и гибкость системы позволяют оперативно адаптировать её для внедрения на конкретном предприятии.

Промышленная информационная система сбора и обработки данных ГИАП-ДИСТ ЦЕНТР представляет собой клиент-серверное приложение, доступ к которому возможен, как со стационарных компьютеров, так и с мобильных устройств, как из локальной вычислительной сети, так и через Интернет, что существенно повышает гибкость работы с ней и увеличивает оперативность доступа к необходимым данным.

Данная система включает в себя следующие основные подсистемы:

- подсистема управления пользователями и группами пользователей, отвечающая за предоставление доступа пользователей к системе и настройку их прав;
- подсистема построения дерева типов, отвечающая за формирование структуры данных;
- подсистема построения дерева объектов, позволяющая управлять данными, введёнными в систему;
- подсистема настройки и отображения пользовательских интерфейсов, отвечающая за настройку и обеспечение функционирования бизнес-процессов системы;
- подсистема единиц измерения, обеспечивающая преобразование данных из одной размерности в другую;
- подсистема преобразования данных, позволяющая приводить в нужный вид сложноструктурированные данные, например, полученные от диагностических приборов;
- подсистема построения отчётов, отвечающая за генерацию документов в системе;
- подсистема построения двумерных и трёхмерных схем, обеспечивающая визуализацию объектов системы;
- подсистема импорта данных, позволяющая загружать данные в систему из различных источников;
- подсистема аналитических вычислений;
- нейросетевой супервизор.

Общий вид подсистемы управления пользователями представлен на рис. 2. Помимо стандартных операций с пользователями, данная подсистема позволяет настраивать права пользователей на любые объекты системы, экспортировать и импортировать пользователей и их настройки, просматривать журналы взаимодействия пользователей с системой. [7]

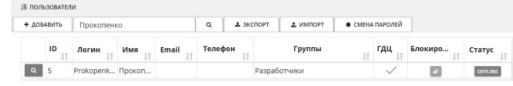


Рис. 2. Подсистема управления пользователями

Общий вид подсистемы «Дерево типов» представлен на рис. 3.

Данная подсистема позволяет построить универсальную систему хранения данных, без привлечения программистов.

Для просмотра всех созданных объектов в системе разработана подсистема «Дерево объектов». Данная подсистема позволяет отследить состояние всех объектов в системе, просмотреть связи объекта, и при необходимости его отредактировать. Объекты представлены в древовидной структуре, что позволяет легко проанализировать связи объекта.

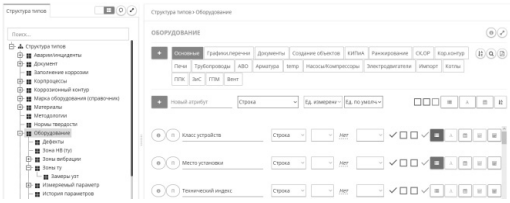


Рис. 3. Подсистема «Дерево типов»

Общий вид подсистемы «Дерево объектов» представлен на рис. 4.

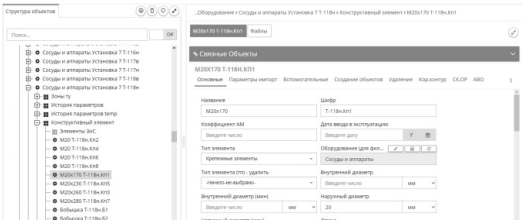


Рис. 4. Подсистема «Дерево объектов»

Общий вид подсистемы настройки пользовательских интерфейсов приведён на рис. 5, примеры пользовательских интерфейсов приведены на рис. 6 и 7.

Табличное отображение пользовательского интерфейса обладает функционалом сортировки, фильтрации, раскраски данных, а также позволяет проводить множественные операции с данными.

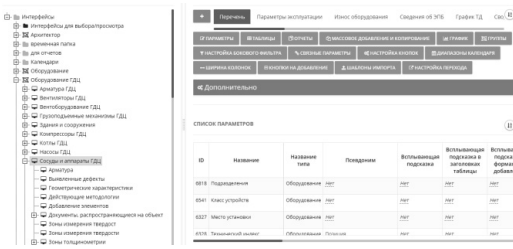


Рис. 5. Подсистема «Интерфейсы»

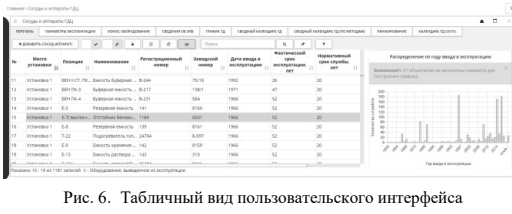


Рис. 6. Табличный вид пользовательского интерфейса

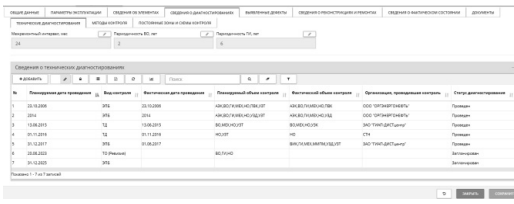


Рис. 7. Комбинированный вид пользовательского интерфейса

На рис. 8 представлен общий вид редактора подсистемы «Аналитика». В рамках данной подсистемы реализован внутренний язык линейного программирования, а также следующие наборы функций:

- математические функции;
- логические функции;
- функции работы с датами (получение сегодняшней даты, получение разницы между датами, установка даты, получение максимальной/минимальной даты);
- статистические функции;
- функции работы со строками;
- функции конвертирования (конвертирование строки в число, конвертирование арабских чисел в римские, и наоборот).

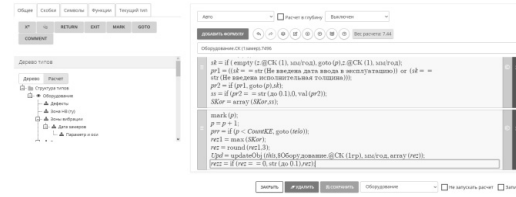


Рис. 8. Подсистема «Аналитика»

V. Заключение

В данной статье рассмотрены вопросы методики построения промышленных систем сбора и обработки данных, внутренней структуры таких систем. Кроме того, рассмотрен пример реализации такой системы.

Список литературы

[1] Andrew S. Tanenbaum, Maarten van Steen. "Distributed Systems. Principles and paradigms". Prentice Hall, Inc., 2002 (Таненбаум Э., ван Стеен М.. "Распределённые системы. Принципы и парадигмы". СПб.: Питер, 2003 – 878 с.)

[2] Горбунов-Посадов М.М. Расширяемые программы. Москва, Полиптих, 1999 г., 336с.

[3] Борисов В.В., Мисник А.Е. Способ оперативного управления на основе комбинированного моделирования // Научное обозрение – 2014. № 1. – С. 64–71.

[4] Борисов В.В., Мисник А.Е. Комбинированный нейросетевой способ моделирования для оперативного управления сложными системами // Информационные технологии. – 2012. – № 7. – С. 69–72.

[5] Мисник А.Е., Борисов В.В. Композиционное нейросетевое моделирование сложной технической системы // Тез. докл. XII Всероссийской научной конференции «Нейрокомпьютеры и их применение», «НКП–2014», Москва, 18.04.2014. – С. 64–65.

[6] Мисник А.Е., Крутолевич С.К., Прокопенко С.А., Лукьянов Е.П. Использование нейросетевого модуля-супервизора в промышленной системе сбора и обработки данных // Тез. докл. XVII Всероссийской научной конференции «Нейрокомпьютеры и их применение», «НКП–2019», Москва, 19.03.2019. – С. 264–265.

[7] Крутолевич С.К., Мисник А.Е., Лукьянов Е.П. Иерархический способ построения информационных систем и организации хранения данных для ранжирования опасных производственных объектов // Тез. докл. конференции «Современные методы и приборы контроля качества и диагностики состояния объектов», Могилев, 19-20.09.2017. – С. 502-505.

Использование алгебры гиперразмерных векторов для эвристического представления данных при обучении широких нейронных сетей

Пащенко Д.В.
Пензенский Государственный Технологический Университет
Пенза, Россия
dmitry.pashchenko@gmail.com

Трокоз Д.А.
Пензенский Государственный Университет
Пенза, Россия
dmitriy.trokoz@gmail.com

Мартышкин А.И.
Пензенский Государственный Технологический Университет
Пенза, Россия
alexey314@yandex.ru

Синев М.П.
Пензенский Государственный Университет
Пенза, Россия
mix.sinev@gmail.com

***Abstract* — The method of neuristic data representation in broad artificial neural networks training using the algebra of binary vectors of a large length (hyper-size vectors) is offered in the article. The idea of data decentralization in a binary vector is the basis for a data hyper-size representation. The usage of a traditional data structure presupposes that a binary vector can be divided into two parts where each of them stores some specific value of a data structure field. Such vector division is impossible in a decentralized representation. Each bit of a hyper-size vector stores to some extent structure fields all at once and at the same time all bits of a hyper-size vector are necessary for getting a specific value of a field. Such a representation of data is similar to a traditional one for brain natural neural networks. According to the authors' view point its application will allow improving the recognition quality and in the future it can lead to the creation of crucially new methodology of machine training and artificial intelligence.**

Ключевые слова — искусственная нейронная сеть, ассоциативная память, большие данные, гиперразмерный двоичный вектор, эвристический алгоритм, машинное обучение, децентрализация данных

I. Введение

Согласно статистическому закону Мура число транзисторов на единицу площади кристалла интегральной схемы растет экспоненциально, удваиваясь каждые пару лет. Вместе с ростом количества транзисторов аналогичный прирост наблюдается в производительности вычислительных устройств. Последнее, впрочем, характерно лишь для классических вычислительных машин, которые способны выполнять строгие по Тьюрингу алгоритмы [1]. Для задач, которые не могут быть формализованы на уровне алгоритма, либо задач, алгоритмы, точные решения которых слишком сложны для современных вычислительных устройств, используются эвристические методы [2]. Одним из активно развивающихся в настоящее время подходов к решению сложно формализуемых задач является использование математического аппарата искусственных нейронных сетей. Несмотря на то, что первые попытки описания искусственных нейронных сетей были предприняты в далеком 1943 году У. Маккалоком и У. Питтсом, лишь к 1958 году с созданием однослойного персептрона была показана возможность практического использования нейронных сетей в задачах простейшей классификации [3]. Несмотря на это, вплоть до 1986 года нейронные сети не были способны решать задачи, которые не могли бы быть более эффективно решены другими методами [4]. Лишь с созданием модифицированного метода обратного распространения ошибки для обучения многослойного персептрона стали видны перспективы их практического применения [5].

Однако, так называемое глубокое обучение многослойных искусственных нейронных сетей было недоступно большей части научного сообщества в силу недостаточных мощностей вычислительных устройств [6], оставаясь прерогативой лишь узкого круга крупных корпораций, обладающих достаточными ресурсами для владения суперкомпьютерами. Это существенно ограничивало совершенствование методов обучения нейронных сетей, поскольку в их развитии участвовала лишь небольшая часть научного сообщества, связанная непосредственно с этими корпорациями, в то же время, достигнутые результаты далеко не всегда предавались огласке, в связи с жесткой конкуренцией между корпорациями в области машинного обучения. Лишь с развитием в последние несколько лет графических ускорителей и таких технологий, как CUDA [7] и OpenCL [8], стало возможным обучать и исследовать глубокие нейронные сети с использованием сравнительно недорогого оборудования для широких научных групп, что дало серьезный толчок в развитии машинного обучения [9].

Вскоре стало ясно, что увеличение глубины (количества слоев) и ширины (количества нейронов в слое) нейронной сети, которое стало возможным благодаря росту вычислительных мощностей [10, 11], дает лишь экстенсивный прирост, повышая точность решения, и не позволяет решать принципиально новые задачи [12]. Это заставило обратить внимание на существующие методы и подходы, которые были забыты в силу невозможности их практического применения в эпоху вычислительных устройств, не обладающих достаточным быстродействием [13]. Так, в 2012 году сверхточные нейронные сети получили вторую жизнь [14], когда было показано, что они способны решать задачи классификации изображений лучше, чем любые другие классы нейронных сетей или методы, не связанные с нейронными сетями [15]. Однако, несмотря на всю прелесть использования существующих методов, остается очевидным, что для дальнейшего развития машинного обучения необходимы новые подходы для построения искусственных нейронных сетей, которые бы позволили решать принципиально новые классы задач и ощутимо повысить точность решения существующих задач, эффективно используя современные вычислительные устройства для обучения искусственных нейронных сетей.

Данная статья была профинансирована РФФИ в соответствии с исследовательским проектом № 19-07-00516.

©2019 ИПУСС РАН, СамГТУ, IEEE

II. Теоретический Анализ

Эффективность применения нейронных сетей для решения любой задачи зависит от двух основных факторов. Первое – это топология нейронной сети, несомненно является важнейшей из ее характеристик [16]. Однако, второе, от чего зависит успех использования нейронной сети для решения той или иной задачи, – это способ задания входных и выходных данных нейронной сети. Отчасти это зависит от топологии – числа нейронов во входном и выходном слоях, но лишь отчасти. Способ представления входных данных также оказывает существенное влияние, как на процесс обучения, так и на его конечный результат [17].

В данной работе предлагается метод кодирования входных и выходных данных для бинарных нейронных сетей различных классов, в основе которого лежит инвариантность позиционирования данных в рамках слоя нейронной сети. Чтобы понять, о чем идет речь, рассмотрим классический подход к кодированию данных в нейронных сетях. На рис. 1 представлен классический персептрон, решающий задачу «исключающее или».

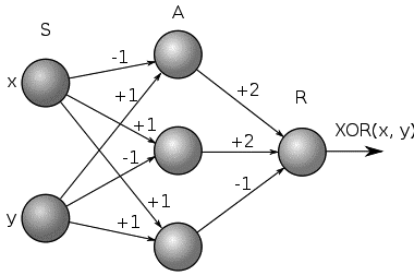


Рис. 1. Персептрон, решающий задачу «исключающее или»

Представленная нейронная сеть несмотря на свою простоту отлично демонстрирует классический подход, использующийся для кодирования входных данных в нейронных сетях. Обратим внимание на входы нейронной сети: здесь каждый вход представляет собой одну входную переменную (x или y соответственно). В общем случае группа входов нейронной сети может представлять собой одну переменную, если множество принимаемых ею значений больше двух. Кроме того, количество выходных переменных может быть тоже любым. Общий случай схематично представлен на рис. 2.

Здесь множество входных переменных $A=\{a_i\}$ и множество выходных переменных $B=\{b_j\}$. При этом каждая переменная представляет собой подмножество входов и выходов нейронной сети. Из рисунка 2 видно, что при классическом кодировании данных в нейронной сети успешность обучения может зависеть от порядка расположения переменных, если используются несимметричные топологии нейронных сетей. Из-за этого при использовании таких нейронных сетей практически всегда стараются равномерно распределить входные связи между отдельными нейронами, снизив зависимость от расположения входов. Это ограничивает возможность исследования ассиметричных нейронных сетей, где в одном слое одни нейроны содержат существенно больше входных связей, чем другие. Очевидно, что классическое кодирование информации удобно для представления в ЭВМ, когда данные объединяются в структуру, разбитую на поля, однако, оно увеличивает параметрическую сложность при проектировании нейронной сети, поскольку необходимо задумываться не только над топологией нейронной сети, но и над кодированием данных в ней, а это в свою очередь также оказывает влияние на топологию, как минимум на количество нейронов во входном и выходном слоях.

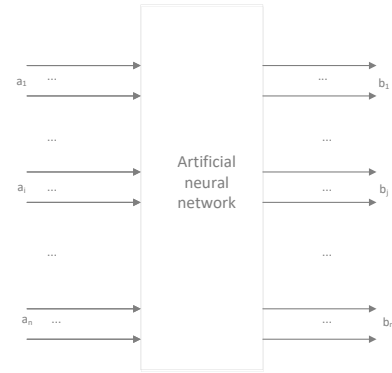


Рис. 2. Классическое кодирование входных и выходных переменных в нейронной сети

Теперь, когда недостатки классического способа кодирования информации в нейронных сетях очевидны, перейдем к рассмотрению инвариантного метода кодирования данных, предложенного авторами работы. Метод использует алгебру гиперразмерных двоичных векторов, описанную Pentti Kanerva в работе [18], в основе которой лежит эвристический подход к представлению данных и операций над ними.

Прежде чем перейти к описанию предлагаемого инвариантного способа кодирования, рассмотрим кратко основные особенности алгебры гиперразмерных векторов. Первое и самое важное отличие, на котором основывается предлагаемый метод кодирования – это отказ от позиционного кодирования в структурах данных. Классическую структуру данных можно в общем случае представить, как двоичный вектор, в котором последовательно представлены значения полей структуры. Схематично классическое кодирование представлено на рис. 3.

Рис. 3. Классическая структура данных

Bit number	Original vector	Value 0	Value 1
1	0	**10011010100101…**	10110010101011…
2	1	01010101010010…	**00011010111100…**
3	1	01110101111101…	**00111101010011…**
4	0	**11010010101101…**	11101010010101…
5	0	**01011011110101…**	10101100011110…
6	1	10101010110010…	**01101010101011…**
7	0	**11101100101011…**	10101010101011…

Рис. 4. Выбор гиперразмерных векторов

При таком способе кодирования каждое поле структуры строго позиционировано, точно известно какой бит к какому полю структуры относится, также строго упорядочены биты в рамках каждого поля. Преимуществом такого способа кодирования является отсутствие избыточности, для хранения данных используется минимально необходимый объем памяти. Кроме того, если требуется выполнить какие-либо операции над данными, хранящимися в такой структуре с использованием строго формализованных алгоритмов, то такая структура также будет эффективна. Однако, при использовании эвристических алгоритмов дополнительная информация о структуре данных напротив снижает эффективность таких алгоритмов.

Теперь рассмотрим способ кодирования информации, который используется в алгебре гиперразмерных векторов. Для этого множество значений каждого поля представим в виде соответствующего множества случайных двоичных векторов большой размерности. Упрощенно будем считать, что каждый бит исходного вектора – это отдельное поле. Тогда для каждого поля (бита) исходного вектора понадобится два гиперразмерных вектора, соответствующих нулевому и единичному значениям поля.

Прежде чем перейти к получению результирующего вектора, который бы являлся гетероморфным исходному рассмотрим операцию суммы гиперразмерных векторов. Сумма N гиперразмерных векторов представляет собой побитовую операцию, при которой результирующим значением в соответствующем разряде является доминирующее (наиболее часто встречающееся) значение бита. Если количество единичных и нулевых бит одинаково, то результирующий бит определяется случайно.

Вернемся к преобразованию классической структуры данных к инвариантной. Вначале для каждого поля (бита) исходной структуры необходимо выбрать один из векторов в зависимости от значения поля (бита). Рис. 4 иллюстрирует сказанное.

Затем следует сложить выбранные вектора (на рис. 4 отмеченные жирным шрифтом) в соответствии с правилами сложения алгебры гиперразмерных векторов (рис. 5).

10011010100101…
00011010111100…
00111101010011…
11010010101101…
01011011110101…
01101010101011…
11101100101011…
01011010101101…

Рис. 5. Сумма выбранных гиперразмерных векторов

В полученном векторе каждый бит исходного вектора «распределен» по всей длине, в то же время каждый бит результирующего вектора хранит частицу информации о каждом бите исходного вектора.

Обратное преобразование выполняется следующим образом. Находят расстояние Хэмминга между результирующим вектором и парой векторов, соответствующих нулевому и единичному значениям, для каждого бита исходного вектора. Минимальное расстояние Хэмминга показывает, каково значение бита исходного вектора. Доказательство обратимости операции сложения гиперразмерных векторов приводится в работе [19]. Теперь рассмотрим, как описанные преобразования могут быть применены для кодирования информации в нейронных сетях.

Если каждый элемент нумерованного множества входных переменных представить в виде нумерованного подмножества входов нейронной сети (аналогично для выходов), то получим классический способ представления данных в нейронной сети (рис. 2). В то же время инвариантный способ кодирования данных предполагает представление всех переменных нейронной сети так, чтобы была обеспечена позиционная инвариантность этих переменных. Чтобы обеспечить такую инвариантность, необходима децентрализация значений всех переменных в двоичном векторе так, чтобы для получения значению любой переменной был необходим весь вектор, и чтобы каждый бит вектора хранил значение всех переменных в той или иной мере, причем эта мера должна быть случайна, а распределение равномерным. Чтобы такое представление было возможным приходится прибегать к избыточности информации, как следствие, длина результирующего вектора больше, чем суммарная длина векторов, задающих переменные.

Рассмотрим подробнее как именно происходит такое кодирование. Пусть $X=\{x_i\}$ - исходный двоичный вектор (нумерованное множество), задающий входы или выходы нейронной сети (в данном случае роли не играет). Для простоты будем считать, что каждый бит – это входная или выходная двоичная переменная. Очевидно, что значение каждой переменной влияет строго на один определенный элемент вектора с соответствующим порядковым номером. Также не менее очевидно, что каждый бит вектора может принимать только одно из двух значений 0 или 1, т.к. вектор является бинарным. Представим вышесказанное с помощью следующей таблицы (рис. 6).

$x_1 = 0$
$x_1 = 1$
…
$x_n = 0$
$x_n = 1$

Рис. 6. Возможные значения каждой переменной двоичного вектора

Теперь каждой строчке таблицы сопоставим случайный двоичный вектор длиной значительно большей, чем длина исходного вектора, дав ему соответствующее обозначение (рис. 7)

$x_1 = 0$	$x_{1/0} = 101110110001010101\ldots$
$x_1 = 1$	$x_{1/1} = 011011010111101011\ldots$
…	
$x_n = 0$	$x_{n/0} = 010110101010111010\ldots$
$x_n = 1$	$x_{n/1} = 111101010100010011\ldots$

Рис. 7. Сопоставление значениям переменных исходного вектора случайных векторов

Далее представим исходный двоичный вектор в виде «суммы» соответствующих ему случайных векторов, то есть для каждой *i*-ой переменной (разряда) исходного вектора выберем случайный вектор $x_i/0$ или $x_i/1$ и включим его в результирующую «сумму». Под «суммой» здесь понимается соответствующая операция из алгебры гиперразмерных векторов. «Сумма» в соответствии с этой алгеброй представляет собой операцию выбора для всех слагаемых доминирующего значения (0 или 1) в каждом разряде, то есть значение, которое встречается чаще. Если количество нулей и единиц в соответствующем разряде совпадает (это возможно, только если длина исходного вектора – четное число), разряд заполняется случайным значением. Результирующий вектор при этом обладает рядом важных свойств. Во-первых, расстояние Хэмминга между результирующим вектором и любым из векторов входящим в сумму, результатом которой он является, будет меньше, чем расстояние Хэмминга до любого случайного вектора с большой долей вероятности. Это позволяет осуществить обратное преобразование – разложение результирующего вектора на отдельные слагаемые (вектора, суммой которых он является). Во-вторых, поскольку суммируемые вектора являются случайными, сумма также будет случайна, а значит будет достигнут желаемый эффект децентрализации значений в векторе – значение каждого бита исходного вектора будет равновероятно влиять (содержаться) на каждый бит результирующего, а то же время для получения значений любого бита исходного вектора необходим результирующий вектор целиком.

III. Анализ Результатов

Важно отметить, что данный способ кодирования носит отчасти эвристическую природу, поскольку невозможно точно вычислить необходимую длину результирующего вектора, зная длину исходного. Однако, очевидны две вещи. Во-первых, результирующий вектор должен быть длиннее, чем исходный. Во-вторых, чем длиннее результирующий вектор, тем выше вероятность безошибочного разложения результирующего вектора на слагаемые. Отсюда вытекает основной недостаток такого кодирования – ширина результирующей нейронной сети должны быть значительно больше, чем исходной. Несмотря на это, многие исследования показывают, что с ростом ширины нейронной сети может быть уменьшена ее глубина, при этом свойства исходной нейронной сети сохраняются [20].

Таким образом, нейронная сеть, использующая предложенный метод эвристического представления данных, обеспечивающий инвариантное кодирование информации схематично может быть представлена следующим образом (рис. 8)

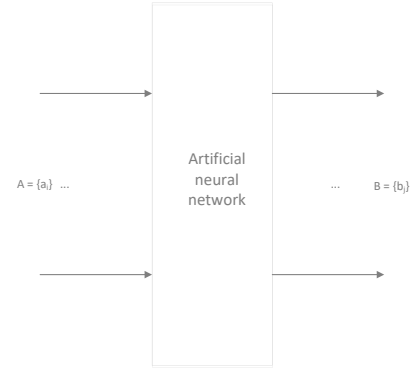


Рис. 8. Инвариантное кодирование входных и выходных переменных в нейронной сети

Рис. 2 и 8 показывают, что невозможно соотнести биты исходных и результирующих входных и выходных векторов (множеств *A* и *B*). Преобразование возможно лишь с использованием таблицы соответствия (рис. 7), однако, оно носит случайный характер, значит без этой таблицы в результирующем векторе невозможно аналитическими методами осуществить выделение значений отдельных разрядов исходного вектора, что говорит о полной децентрализации исходных значений в результирующем векторе.

IV. Заключение

Предложенный метод эвристического представления данных при обучении искусственных широких нейронных сетей позволяет абстрагироваться от проблемы кодирования данных в нейронной сети и задавать входные и выходные переменные без привязки к топологии нейронной сети. Это позволит уменьшить число параметров нейронной сети, так как параметры, задающие положение каждой входной и выходной переменной, будут исключены, что в свою очередь снизит время на проектирование нейронной сети и вероятность ошибки при таком проектировании. А главное инвариантность позиционирования данных в нейронной сети позволит проектировать топологически ассиметричные нейронные сети. Кроме того, подобное представление данных схоже с привычным для естественных нейронных сетей головного мозга и его применение в обучении искусственных нейронных сетей, по мнению авторов работы, позволит повысить качество распознавания, а в будущем может привести к появлению принципиально новой методологии машинного обучения и искусственного интеллекта.

Список литературы

[1] Pashchenko Dmitry, et al. The methodology of multicriterial assessment of Petri nets' apparatus // MATEC Web of Conferences. Vol. 44. EDP Sciences. – 2016.

[2] Pashchenko D. V., et al. Directly executable formal models of middleware for MANET and Cloud Networking and Computing // Journal of Physics: Conference Series. Vol. 710. No. 1. IOP Publishing. – 2016.

[3] Samarasinghe, Sandhya. Neural networks for applied sciences and engineering: from fundamentals to complex pattern recognition // Auerbach publications. – 2016.

[4] Pershin Y. V., Di Ventra M.. Experimental demonstration of associative memory with memristive neural networks. // Neural Networks 23(7). – 2010. P. 881-886.

[5] Hinton G. E., Salakhutdinov R. R.. Reducing the dimensionality of data with neural networks // Science 313(5786). – 2006. P. 504-507.

[6] Glorot X., Bengio Y.. Understanding the difficulty of training deep feedforward neural networks // Thirteenth international conference on artificial intelligence and statistics. – 2010. P. 249-256.

[7] Weninger, Felix, Johannes Bergmann, Björn Schuller. Introducing CURRENNT-the Munich open-source CUDA recurrent neural network toolkit // Journal of Machine Learning Research 15. – 2014. P. 5.

[8] Suda, N., Chandra, V., Dasikan et al. Throughput-optimized opencl-based fpga accelerator for large-scale convolutional neural networks // ACM/SIGDA International Symposium on Field-Programmable Gate Arrays. – 2016. P. 16-25.

[9] Uetz R., Behnke S.. Large-scale object recognition with CUDA-accelerated hierarchical neural networks // In Intelligent Computing and Intelligent Systems 2009. – 2009. P. 536-541.

[10] Goodfellow, Ian, et al. Deep learning. // MIT press. – 2016.

[11] Silver D., Huang A. et al. Mastering the game of Go with deep neural networks and tree search // Nature 529(7587). – 2016. P. 484-489.

[12] Nguyen A., Yosinski J., Clune J.. Deep neural networks are easily fooled: High confidence predictions for unrecognizable images // IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. – 2015. P. 427-436.

[13] Szegedy, C., Toshev, A., Erhan D.. Deep neural networks for object detection // In Advances in neural information processing systems. – 2013. P. 2553-2561.

[14] Krizhevsky A., Sutskever I., Hinton G. E.. Imagenet classification with deep convolutional neural networks // In Advances in neural information processing systems. – 2012. P. 1097-1105.

[15] Karpathy A., Toderici G., Shetty S. et al. Large-scale video classification with convolutional neural networks // IEEE conference on Computer Vision and Pattern Recognition. – 2014. P. 1725-1732.

[16] Schmidhuber J. Deep learning in neural networks: An overview // Neural networks. – 2015. P. 85-117.

[17] Han S., Mao H., Dally W. J.. Deep compression: Compressing deep neural networks with pruning, trained quantization and huffman coding // ICLR. – 2016.

[18] Ivanov A. I., et al. High-dimensional neural-network artificial intelligence capable of quick learning to recognize a new smell, and gradually expanding the database. // Digital Information Processing, Data Mining, and Wireless Communications (DIPDMWC). – 2016. P. 332-335.

[19] Kanerva P., Kristoferson J., Holst, A. Random indexing of text samples for latent semantic analysis // Annual Meeting of the Cognitive Science Society Vol. 22, No. 22. – 2000.

[20] Kanerva Pentti. Hyperdimensional computing: An introduction to computing in distributed representation with high-dimensional random vectors. // Cognitive Computation Vol.1, No. 2. – 2009. P. 139-159.

Поддержка принятия решений при выборе специальности на основе онтологической базы знаний

Старцева Е.Б
Уфимский государственный авиационный технический университет,
Университет Аликанте
Уфа, Россия
star_elena@list.ru

Никулина Н.О.
Уфимский государственный авиационный технический университет
Уфа, Россия
nick_nataly@rambler.ru

Черняховская Л.Р.
Уфимский государственный авиационный технический университет
Уфа, Россия
lrchern@yandex.ru

Гримайло А.Ю.
Университет Аликанте
Аликанте, Испания
grandres185@gmail.com

***Abstract* — The objective of many research works in educational field of studies is the discovery of the natural student's motivation to study, timely personal development planning in order to become of making the best and individually adequate educational choice. For that purpose, the following studies have been performed: statistical analysis of the first year performance for a cohort of more than ten thousand students of the University of Alicante, data intellectual analysis, decision on alternative educational alternatives ranging for every students including the competence management (aptitudes, cognitive and social models). The ontology has been developed in order to rationalize, organize and automate the processes, procedures of the decision support system, based on the rules and precedents within the semantic net context notions of the study area.**

Ключевые слова — система поддержки принятия решений, выбор специальности, эффективность обучения, онтология, метод анализа иерархий, SWRL-правило

I. Введение

В современном мире наблюдается парадоксальная ситуация: увеличение фактического количества поступающих в вузы при практически повсеместном снижении мотивации молодежи к обучению в университете. Этому сейчас есть масса причин и одна из них – это неспособность молодых людей планировать свою жизнь на долгосрочную перспективу, что приводит к выбору «не своей» специальности, и как следствие, отсутствие мотивации обучаться этой специальности в дальнейшем. Наши исследования показали, что более половины абитуриентов выбирают специальность, не связанную со школьной специализацией, полученной в старших классах. В Испании ученики старших классов проходят специализацию, призванную подготовить их к обучению в университете и получению профессии, по трем направлениям – естественнонаучному, экономико-социальному и гуманитарному. Диаграммы, построенные на основе анализа данных 11923 студентов-первокурсников университета Аликанте, обучавшихся в период 2010-2017 гг., показывают, что в старших классах эти студенты были распределены практически в равных пропорциях по трем базовым направлениям обучения, однако в университете 64% студентов предпочли экономику и социальные науки, 28% выбрали естественные науки и лишь 8% видят необходимость в изучении языков и гуманитарных наук. Это распределение не является постоянным и корректируется в процессе всего цикла обучения.

Рис. 1-2 показывают распределение студентов по школьным и университетским направлениям обучения.

Рис. 1. Распределение по направлениям обучения в старших классах

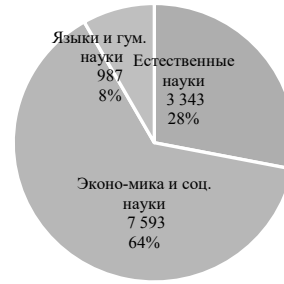


Рис. 2. Распределение по направлениям обучения в университете

Аналогичная ситуация наблюдается и в других странах, например, в Соединенных Штатах Америки, где по данным исследований «до 80% абитуриентов не приняли окончательного решения в пользу выбранной специальности на момент зачисления, и до 50% меняют специальность уже в процессе обучения» [1]. Эти цифры заставляют задуматься о том, что половина учеников не удовлетворена своим школьным выбором и еще больше учеников сомневаются в правильности своего следующего «жизненного шага».

Работа выполнена при поддержке гранта Российского фонда фундаментальных исследований № 19-08-00937 «Методы и модели интеллектуальной поддержки принятия решений при управлении программными проектами, реализуемыми в среде производственных предприятий».

©2019 ИПУСС РАН, СамГТУ, IEEE

В то время как общее число студентов в мире постоянно увеличивается, растет количество тех, кто не переходит на второй курс. В целом, больше миллиона американских студентов каждый год бросают учебу [2].

Высокий процент отчислившихся и затянутое на долгие годы получение высшего образования среди студентов- бакалавров увеличивает затраты государства на подготовку и переподготовку кадров. В Америке 40% студентов не получают диплом о четырехлетнем высшем образовании даже спустя шесть лет после поступления. Мировая статистика говорит о 30% ежегодно отчисляющихся студентов [3].

Исчерпывающих и надежных данных о масштабах отчисления студентов из российских вузов нет. По оценкам ОЭСР, отчисленные студенты в РФ составляют 21% совокупной численности обучающихся в вузах [4]. Этот процент гораздо ниже среднего значения по миру, т.о. можно говорить о том, что Российская система школьного образования, которая готовит выпускников преимущественно по направлению «Естественные науки», является подтвержденной временем и универсальной в современных условиях.

В Испании этот процент чуть выше - больше трети испанских студентов- бакалавров не получают диплом после положенных 4 лет или просто бросают учебу [5].

В 2017/2018 учебном году расходы на образование в Испании превысили 51 миллиард евро, из которых 20% (более 10 млрд. евро) были направлены непосредственно в систему высшего образования, и еще 530 миллионов евро – в виде учебных стипендий. При этом 1/3 всех поступивших в университеты оказываются неудовлетворенными выбранной специальностью и являются кандидатами на отчисление, что в итоге оборачивается неэффективным трехмиллиардным бременем для социального бюджета страны [6]. Очевидно, что стратегия управления подготовкой специалиста должна быть комплексной и со стороны государства формироваться на основе тенденций общей стратегии развития экономики. Профессиональная подготовка должна способствовать развитию и мобилизации всех внутренних резервов каждого отдельного специалиста, полного и комплексного использования его интеллектуального капитала.

Целью исследований в области управления в сфере образования является поиск способов естественной мотивации на обучение и заблаговременное планирование развития ученика как личности, способной к самостоятельному выбору наилучшего направления обучения. Таким образом, целью своей работы мы видим построение такой системы поддержки принятия решений, которая позволит каждому ученику ответить на свои собственные вопросы при принятии первых стратегических (долгосрочных) решений в своей жизни. Но это именно те решения, от результатов которых будет зависеть желание учиться, объем и качество усвоения информации, удовлетворенность полученной специальностью, а в дальнейшем успешность и адаптация каждого конкретного человека в современном обществе.

Для достижения этой цели были решены следующие задачи: проведен статистический анализ результатов обучения студентов- первокурсников университета Аликанте [7], проведено ранжирование критериев выбора направления обучения методом анализа иерархий и сформулированы правила принятия решений по выбору направления обучения. Для рационализации, упорядочения и автоматизации процессов и процедур поддержки принятия решений, реализуемых с применением созданных правил в контексте семантической сети понятий рассматриваемой предметной области, разработана онтология принятия решений по выбору специальности.

II. Механизмы реализации стратегии принятия жизненно важных решений

Особенности принятия стратегических решений заключаются в сложности оценки большого количества факторов и учете целого ряда неопределенностей, связанных с изменением, как конъюнктуры рынка труда, так и экономической ситуации в обществе, влияющих на окончательное решение абитуриента.

В случае с 17-20-ти летними выпускниками школы критическим является недостаток информации для принятия решений и слабое представление о своих собственных способностях и приоритетах.

Знание законов стратегического управления, используемое при решении сложных проблем в условиях нестабильности социально-экономической обстановки и высокой скорости научно-технического прогресса, присуще узкому кругу специалистов аналитиков. Эти знания и способы их применения до настоящего времени практически не автоматизированы, т.к. являются в большей мере искусством. Достижение целей стратегического управления требует наличия определенного жизненного опыта, обладания знаниями, умениями, техническими навыками, а также позитивными социальными и личностными качествами. Трудно себе представить наличие таких знаний и навыков у новоиспечённых абитуриентов.

Усугубляет эти проблемы и накладывает еще более жесткие ограничения современная система образования Испании, которая всячески подавляет креативное мышление в процессе обучения, усиливает страх перед принятием самостоятельного решения и ответственностью за него. Оценка успешности обучения построена на тестах, оценивающих человека по формальным признакам, где проявление элементов творчества, новизны и нестандартного подхода является ошибкой. Более того, система образования построена на необходимости раннего выбора и принятия стратегических решений учеником в возрасте 15-18 лет, т.к. направление своего будущего обучения ученик выбирает еще при поступлении в старшие классы. Таким образом, ограничивается набор изучаемых им в старших классах дисциплин и, соответственно, возможность выбора будущего университетского направления.

Статистический анализ результатов обучения студентов-первокурсников показал, что, независимо от выбранной специальности в вузе, абитуриент, окончивший школу по естественнонаучному направлению, демонстрирует существенно более высокий и универсальный уровень подготовки [8].

Например, при обучении в университете Аликанте на специальности, относящейся к естественнонаучному

направлению, только чуть больше половины первокурсников, пришедших со школьных направлений «Экономика и социальные науки» (зеленый цвет на диаграмме) и «Языки и гуманитарные науки» (серый цвет на диаграмме), успешно осваивают программу обучения. На диаграмме (рис. 3) этот результат показан столбцами 55% и 53% соответственно. Напротив, студенты, закончившие школу по направлению «Естественные науки» (что практически полностью соответствует основной российской программе обучения в старших классах и представлено на диаграмме синим цветом) по окончанию первого курса обучения в университете демонстрируют лучшие показатели освоения материала независимо от выбранной специальности (75%, 85%, 86% соответственно).

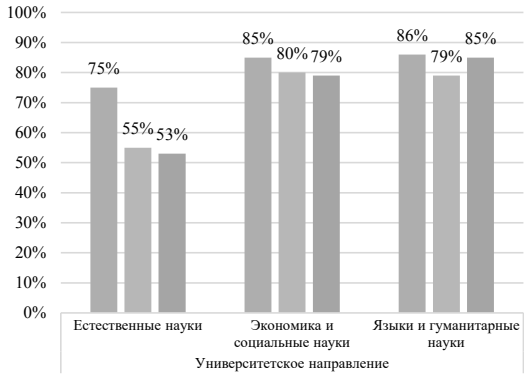


Рис. 3. Диаграмма зависимости успешности обучения в вузе от направления обучения в старших классах

Важно заметить, что для успешного принятия решений о будущей специальности ученик должен также учитывать следующие конкурентные стратегии: инновационная стратегия, стратегия повышения качества и стратегия снижения себестоимости. Могут ли несовершеннолетние ученики мыслить этими категориями?

Действительно, стратегии принятия решений обычно сочетают в себе перечисленные стратегии, определяющие такие цели, как снижение затрат на обучение, повышение качества своего образования и инновации на рынке труда.

В общем случае принятие решения об обучении является важнейшей стратегической задачей и представляет собой деятельность по разработке и реализации стратегий в масштабе реального времени [9], которая осуществляется в сложных условиях динамически изменяющихся параметров, включающих как самого человека, так и внешнюю среду, определяющую беспрецедентно высокие требования к адаптации и непрерывному развитию специалиста.

В соответствии с теорией интерсубъективного управления [10] эффективность стратегического управления следует искать «в самих людях», в каждом человеке, в использовании интеллектуальных и волевых ресурсов каждого человека.

III. Построение онтологии принятия решений по выбору направления обучения

Онтология предназначена для поддержки эффективности принятия решений и построена на результатах статистического анализа ретроспективных данных, знаниях экспертов, а также базовых знаниях о природе человека и его компетенциях.

Разрабатываемая система поддержки принятия решений должна обеспечивать информационную поддержку абитуриента при выборе направления обучения (специальности); учитывать индивидуальные возможности учеников, показывать пути развития их личных качеств на основе выявленных компетенций. Система предполагает использование продукционных правил для подбора направления обучения в каждом конкретном случае. Авторы предлагают разрабатывать продукционные правила, основываясь на индивидуальных способностях каждого человека. При этом система будет предлагать решения, рассматривая способности (компетенции) как интегративную характеристику возможностей субъекта осуществлять деятельность в той или иной сфере экономики, как возможность отдельных личностей вносить существенный вклад в развитие общества [11], [12].

В данной статье для построения правил принятия решений по выбору направления обучения были использованы результаты статистического анализа данных студентов первого года обучения. Для оценки альтернативных вариантов на основе экспертных знаний и результатов статистического анализа были сформированы критерии выбора (таблица I).

ТАБЛИЦА I. Критерии выбора направления обучения в университете

Обозначение критерия	Описание критерия
MajorUni	Университетская специальность
MajorHS	Направление обучения в старших классах
CutOffMark	Проходной балл при поступлении на университетскую специальность
EntranceMark	Результат вступительных экзаменов (общий синтетический показатель)
EntranceExam	Вступительный экзамен по предмету
StudyField	Направление обучения в университете (совокупность «родственных» специальностей)
FCPerspective	Перспектива развития специальности в соответствии с общим прогнозом развития рынка труда
HollandTestProfile	Профиль по Холланду (полученные анкетированием предрасположенности к направлению обучения/ специальности/ профессии)

Наряду с уже принятыми критериями оценки знаний абитуриента, такими как: проходной балл, возраст абитуриента и направление обучения в школе, на основе которых сейчас принимаются решения о выборе направления обучения в вузе, авторами предлагается учитывать: результаты тестирования по методу Холланда [13], собственный выбор направления обучения абитуриента, а также информацию о его способностях и компетенциях и перспективы развития специальностей [14].

Тестирование абитуриентов по методу Холланда в США, Канаде и ряде др. стран уже более 30 лет является принятой практикой и зарекомендовало себя, как

инструмент позволяющий учесть потребность личности к самовыражению через выбор профессии. Разделяя всех людей на шесть типов, Холланд предложил модель, на основе которой человек соотносится с каждым из шести выделенных типов в разной пропорции. Дж. Холланд предложил шкалу приспособленности различных типов личности к разным профессиональным средам [15].

По результатам диагностики выделяют три рекомендуемые профессиональные среды. На первом месте стоит среда, наиболее отчетливо отражающая тип личности, на втором и третьем местах - менее значимые профессиональные среды, позволяющие личности подобрать себе резервные профессии.

В системе поддержки принятия решений по выбору специальности авторы предлагают учитывать соответствие выбранной абитуриентом специальности и результата тестирования по методу Дж.Холланда. При этом учитываются попадание выбранной абитуриентом специальности во все три рекомендуемые по методу Холланда профессиональные среды.

Для оценки альтернатив применяются методы получения и обработки экспертных оценок, такие, как метод ранжирования, метод непосредственного оценивания (балльный), метод сопоставлений, а также методы принятия рациональных многокритериальных решений, например, метод анализа иерархий Т. Саати.

В данной работе результаты расчета значимости критериев были получены на основе метода Т. Саати [16], методов статистического анализа данных и непосредственных экспертных оценок. В качестве экспертов выступили представители приемной комиссии и преподаватели университета Аликанте, имеющие многолетний опыт проведения приемной кампании и образовательной деятельности.

Взаимоотношения между критериями учитываются при построении иерархии критериев и определяются с применением парных сравнений для выявления важности критериев.

Результаты попарного сравнения критериев выбора направления обучения в университете, проведенного в соответствии с методом анализа иерархий Т. Саати приведены в таблице II.

ТАБЛИЦА II. РЕЗУЛЬТАТЫ ПОПАРНОГО СРАВНЕНИЯ КРИТЕРИЕВ ВЫБОРА СПЕЦИАЛЬНОСТИ

КРИТЕРИИ	**MajorUni**	**MajorHS**	**CutOffMark**	**EntranceMark**	**EntranceExam**	**StudyField**	**FCPerspective**	**HollandTestProfile**
MajorUni	1	1/5	1/7	1/7	1	1/5	1	1/9
MajorHS EntranceExam	5	1	1	5	7	7	9	1/5
CutOffMark	7	1	1	1	7	7	9	1
EntranceMark	7	1/5	1	1	5	7	3	1/5
EntranceExam	1	1/7	1/7	1/5	1	3	3	1/5
StudyField	5	1/7	1/7	1/7	1/3	1	1	1/9
FCPerspective	1	1/9	1/9	1/3	1/3	1	1	1/9
HollandTestProfile	9	5	1	5	5	9	9	1

Сравнение проводилось по 9-балльной шкале, где значение 1 соответствует равной важности объектов сравнения, значение 9 символизирует исключительное превосходство одного объекта сравнения над другим по отношению к поставленной цели. Полученная матрица является диагональной и обратно симметричной.

Вектор значений критериев рассчитывается по формуле (1):

$$y_i = \sqrt[N]{\prod_{j=1}^{N} a_{ij}}, \qquad (1)$$

где $a_{ij}=b$, $a_{ji}=1/b$ - результаты попарного сравнения критериев;

b - важность, значение которой выбирается в пределах от 1 до 9 в соответствии с мнением эксперта;

N - размерность матрицы;

y_i, где $i=1,...,N$ - вектор собственного значения критерия.

Далее этот вектор нормализуется (2):

$$y_{in} = \frac{y_i}{\sum_{i=1}^{N} y_i}, \qquad (2)$$

где y_{in} - нормализованный коэффициент значимости, показывающий вклад каждого критерия в достижение цели.

Полученный в результате расчета ранжированный перечень критериев выбора представлен в таблице III.

ТАБЛИЦА III. РЕЗУЛЬТАТЫ РАНЖИРОВАНИЯ КРИТЕРИЕВ

Критерий	**Значение критерия**
HollandTestProfile	0,330
CutOffMark	0,216
MajorHS	0,207
EntranceMark	0,121
EntranceExam	0,043
StudyField	0,031
FCPerspective	0,026
MajorUni	0,025

Таким образом, первостепенную значимость при выборе направления обучения в университете приобретает правильное тестирование и определение предрасположенности абитуриента к конкретной профессиональной деятельности. Вводя конкретные значения по каждому критерию, абитуриент получает значение *EntrancePossibility* (Возможность поступления), и значение *SuccessPossibility* (Возможность успешного окончания первого года обучения) на выбранном им направлении обучения.

На основе взвешенной оценки критериев построена иерархия критериев, составляющая основу онтологии принятия решений по выбору специальности, фрагмент которой представлен на рис. 4.

С помощью онтологии можно с некоторой степенью уверенности определить вероятность успешного поступления в университет и, что немаловажно, вероятность успешного обучения в вузе и получения той специальности, к которой абитуриент имеет максимальную предрасположенность. Система

поддержки принятия решений позволяет «не обращать внимания» на модные тенденции, мнения родственников и друзей, а концентрирует внимание именно на личных качествах абитуриента, поддерживая уверенность в собственных силах.

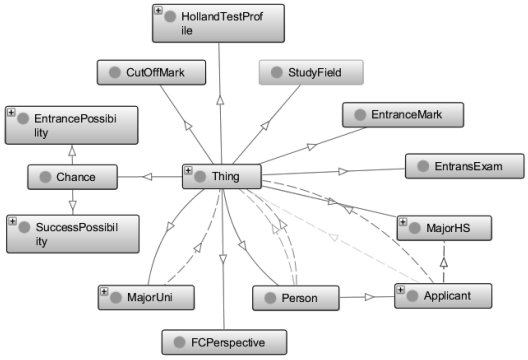


Рис. 4. Фрагмент онтологии принятия решений по выбору специальности

С учетом этих критериев, результатов проведенных тестов оценки специальностей с учетом личных предпочтений, способностей каждого ученика и результатов его школьного и профессионального тестирования стало возможным построение правил принятия решений по выбору специальности. Данные правила принятия решений построены на языке *SWRL* на основе онтологии [17] предметной области, фрагмент правил принятия решений по выбору специальности приведен на рис. 5.

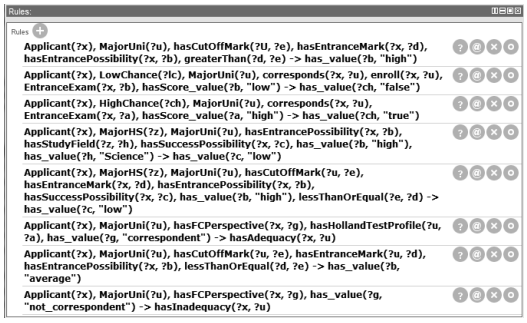


Рис. 5. Фрагмент правил принятия решений по выбору специальности

Построенные правила позволят дать конкретные прикладные рекомендации абитуриенту при поступлении. Например, абитуриент, при наличии базового школьного образования по направлению «Экономика и социальные науки» или по направлению «Языки и гуманитарные науки» с высоким результатом вступительных экзаменов, имеет высокий шанс при поступлении на естественнонаучные направления, но ему будет дана информация о том, что возможность успешного обучения на этом направлении у него невысокая.

Фиксируя результаты работы этих правил и отслеживая основные тенденции экономического и социального развития общества, становится возможным настроить эту систему принятия решений в соответствии с современными реалиями путем добавления новых правил.

IV. Заключение

Применение аналитических методов и методов интеллектуального анализа данных направлены на выбор наилучшей альтернативы для обеспечения поддержки принятия решений абитуриента при выборе специальности. Представленные в онтологии правила принятия решений представляют собой правила оценки альтернатив с применением известных методов получения и обработки экспертных оценок, с использованием метода анализа иерархий Т. Саати.

Результаты оценки и прогнозирования эффективности обучения в вузе имеют практическую ценность для принятия решений по выбору направления обучения и должны являться частью государственной стратегии управления подготовкой специалиста, разработки программ обучения и развития, разработки стратегии управления человеческими ресурсами, накопления и использования корпоративных баз знаний.

Список литературы

[1] Ronan Gayle B. College freshmen face major dilemma: Indecision about courses of study can prove expensiv. URL: http://www.nbcnews.com/. NBC News. 2005. (дата обращения: 16.9.2018 г.).

[2] Marcus J. More high school grads than ever are going to college, but 1 in 5 will quit. The Hechinger Report. 5.07.2018 г. URL: https://hechingerreport.org/more-high-school-grads-than-ever-are-going-to-college-but-1-in-5-will-quit/ (дата обращения: 15.9.2018 г.).

[3] Going to university is more important than ever for young people. The Economist. 3.02.2018 г. URL: https://www.economist.com/international/2018/02/03/going-to-university-is-more-important-than-ever-for-young-people (дата обращения: 1.10.2018 г.).

[4] Груздев И. А., Горбунова Е. В., Фрумин И. Д. Студенческий отсев в российских вузах: к постановке проблемы // Вопросы образования. 2013. № 2. С. 67-81.

[5] Ministerio de Educación, Cultura y Deporte. Estadística de Indicadores Universitarios. 2016. Annual Report, Madrid, 2016. URL: http://www.educacionyfp.gob.es/servicios-al-ciudadano-mecd/estadisticas/portada.html (дата обращения: 1.10.2018 г.).

[6] Vidal M. «Las carreras con más salida laboral tienen mayor tasa de abandono» Crónica Global. 21.06.2017 г. URL: https://cronicaglobal.elespanol.com/vida/carreras-salida-laboral-abandono_75294_102.html (дата оращения: 15.09.2018 г.).

[7] Llopis Pascual F., Montoyo Guijarro A., Startseva E.B., Grimaylo A.Yu. Las ciencias en la enseñanza secundaria como factor fundamental para el éxito universitario // XVII Jornadas de Redes de Investigación en Docencia Universitaria (REDES 2019) and III Workshop Internacional de Innovación en Enseñanza Superior y TIC-INNOVAESTIC 2019, – Alicante, 2019.

[8] Startseva E.B., Grimaylo A.Yu., Llopis Pascual F. Ontological analysis methods as a tool for a personal decision making process // 19th The International Workshop Computer Science and Information Technologies, – Baden-Baden, 2017, P. 63-66.

[9] Веснин В.Р. Стратегическое управление. – Санкт-Петербург: Издательский дом «Питер», 2013.

[10] Виттих В.А. Эволюционное управление сложными системами // Известия Самарского научного центра Российской Академии наук, № 1, 2000.

[11] Петровский А.Б. Теория принятия решений: учебник для студентов высших учебных заведений. –М: Издательский центр «Академия», 2009.

[12] Гвоздев В.Е., Черняховская Л.Р., Ровнейко Н.И., Малахова А.И. Интеллектуально-аналитическая поддержка принятия

коллективных решений при управлении программными проектами // XVI Международная конференция «Проблемы управления и моделирования в сложных системах». – Самара, 2014.

[13] Holland, John L. A Psychological classification of occupations. Washinton D.C: Johns Hopkins University, 1970.

[14] Данилова А.С., Здрестова-Захаренкова С.В., Федорова О.М. Основы профессиональной компетенции: учебное пособие. –Красноярск: СФУ, 2019.

[15] Воробьев А.Н., Сенин И.Г., Чирков В.И. Опросник профессиональных предпочтений. URL: https://forpsy.ru/methodology/proforientatsionnye_metodiki/oprosnik_khollanda/ (дата обращения: 5 7 2019 г.).

[16] Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. –М: Радио и связь, 1993.

[17] Черняховская Л.Р., Малахова А.И. Разработка моделей и методов интеллектуальной поддержки принятия решений на основе онтологии организационного управления программными проектами // Онтология проектирования: научн. журнал, – Самара: Новая техника, 2014. – № 4 (10). С. 42–50.

Система нечеткого когнитивного анализа и моделирования системной динамики

Стефанцов А.Г.
ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»
Москва, Россия
stefantsov-ag@mail.ru

Бобряков А.В.
ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»
Москва, Россия
avbob@mail.ru

Борисов В.В.
ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»
Москва, Россия
vbor67@mail.ru

Луферов В.С.
ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»
Москва, Россия
lyferov@yandex.ru

***Abstract* — The article considers the developed software system of fuzzy cognitive analysis and modeling of the system dynamics of complex processes. The system is intended: firstly, to analyze the direct and indirect interaction of systemic and external systemic factors in the study of complex problem situations which occur in urban areas; secondly, to model the system dynamics of complex processes occurring within these problem situations; thirdly, to predict the state of objects of urban areas; fourth, to justify a set of measures to improve the sustainability of the functioning and development of urban facilities, taking into account the non-linear nature of the links between the socio-economic development of the city, the environment and climate. The software system is based on a set of intelligent models, methods and technologies (including original ones) focused on intellectual analysis and modeling of complex systems and processes under conditions of various types of uncertainty, including: fuzzy cognitive models, fuzzy evaluation models, fuzzy logic models, neuro-fuzzy classifiers, models of system dynamics. The approbation of the developed software system is carried out on the example of an integrated assessment of the influence of climatic phenomena on objects of the urban areas of Moscow in various scenario climatic conditions. Models and methods of their usage created with the help of the software system are an effective tool for substantiating medium and long-term programs for the development of cities in the Russian Federation.**

Ключевые слова —— динамика сложных процессов, нечеткие когнитивные карты, прогнозирование временных рядов

I. Введение

В настоящее время существует большое число программных средств, позволяющих выполнять анализ системной динамики нечетких когнитивных моделей [1]. Созданием программных средств для специалистов программной области занимаются IT-специалисты, что для плохо формализуемых предметных областей может существенно усложнить разработку, а сопровождение и сервисное обслуживание таких программных средств вследствие недостаточного понимания между специалистами предметных областей приводит к появлению неуправляемой архитектуры [2]. Предпосылки к созданию рассматриваемой системы сложились в ходе выполнения работы по исследованию общих закономерностей и особенностей развития городских энергосистем в различных социально-экономических и природно-климатических условиях.

На сегодняшний день экономическая, политическая и культурная жизнь во всем мире сосредоточена в городах. Одной из самых острых проблем мирового сообщества на протяжении последних двух десятилетий является вопрос устойчивого развития городов. Для российских городов характерны те же проблемы, что и для городов остального мира, связанные с высоким уровнем техногенной нагрузки на окружающую среду.

Развитие городов, начиная с индустриальной революции, неразрывно связано с развитием энергетики. Вплоть до настоящего времени воздействие города на окружающую среду в значительной мере определяется работой его системы энергоснабжения. Известно, что это воздействие может приводить к существенным экологическим и климатическим изменениям, что в свою очередь неизбежно сказывается на развитии города.

Нелинейный характер обратных связей между социально-экономическим развитием города, окружающей средой и климатом определяет сложность проблем, возникающих при анализе потребности в тепловой, электрической энергии и мощности городов и городских поселений. Кроме того, энергосистема каждого региона функционирует в широком спектре демографических, политических, экономических и социальных факторов, в оценке которых всегда существует некоторая неопределенность, что создает дополнительные серьезные трудности для разработки прогнозных оценок городского энергопотребления.

Необходимость учета разнородных входных параметров модели, обладающих сложной структурой взаимосвязей, а также характеризующихся свойствами неполноты и нечеткости является основанием применения и развития оригинальных авторских методов, базирующихся на аппарате нечеткого анализа и моделирования сложных систем и процессов, в том числе нечеткого когнитивного моделирования и нечеткого логического вывода.

Проблемы анализа и моделирования воздействия внешних факторов, к которым, прежде всего, относятся климатические явления, на функционирование и развитие объектов городского хозяйства, включая системы энергоснабжения городов и городских поселений, (с точки зрения воздействия на уязвимости этих объектов) относятся к классу сложно формализуемых проблем, что проявляется:

- в разнокачественной информации, как о самих климатических явлениях, так и об их влиянии;
- в недостаточности сведений и сложности определения зависимостей влияния различных климатических явлений на уязвимости объектов городского хозяйства;
- в сложности построения и использования для решения этих задач традиционных математических моделей и методов.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Российского научного фонда, проект 16-19-10568.

©2019 ИПУСС РАН, СамГТУ, IEEE

В этих условиях для оценки влияния климатических явлений на объекты городского хозяйства целесообразно использование интеллектуальных методов, моделей и технологий, основанных на нечетко-логическом и нейро-нечетком подходах, достоинствами которых является:

- возможность решения частных и комплексных задач моделирования и оценки влияния различных климатических явлений на уязвимости всех объектов городского хозяйства в целом в рамках единого подхода;
- возможность описания закономерностей и зависимостей влияния различных климатических явлений на уязвимости объектов городской среды в виде нечетких правил «если–то» и отношений;
- адекватная обработка неопределенной информации, с учетом представления данных в количественно-качественном виде;
- бóльшая «прозрачность» из-за лингвистической интерпретации нечетких продукционных правил;
- аппроксимация с заданной точностью сложных нелинейных зависимостей между параметрами влияния климатических явлений и уязвимостью объектов городского хозяйства;
- хорошие возможности к адаптации и обучению таких моделей при и изменении параметров анализируемых проблем;
- типизированный подход к решению различных оценочных и аналитических задач за счет единообразного представления целевых, входных и выходных показателей моделей, а также использование развитого аппарата нечеткого логического вывода.

II. Структура программных средств когнитивного анализа и моделирования системной динамики

Разработанные программные средства нечеткого когнитивного моделирования системной динамики позволяют исследовать работу нечеткой когнитивной карты, используя различные модели мероприятий (внешних воздействий), указывая необходимые индикаторы (сенсоры или рецепторы), а также выполнять моделирование, используя различный масштаб временного интервала [3]. В основу решения положена модель программных средств, которая характеризуется модульностью в соответствии с нижеперечисленными этапами работы.

Этап 1. Построение нечеткой когнитивной карты в соответствии с автоматической настройкой или экспертным заключением.

Этап 2. Построение систем нечеткого вывода для оценки подсистем.

Этап 3. Построение системы нечеткого вывода для оценки системы.

Этап 4. Настройка мероприятий (внешние воздействия) системы в процессе моделирования нечеткой когнитивной карты.

Этап 5. Настройка индикаторов (рецепторы или сенсоры) для отслеживания промежуточных, важных или критических событий в процессе моделирования нечеткой когнитивной карты.

Этап 5. Вывод отчета о моделировании когнитивной динамики в табличном или графическом виде.

Структура программных средств, в соответствии с вышеперечисленными этапами способа нечеткого когнитивного моделирования системной динамики представлена на рис. 1.

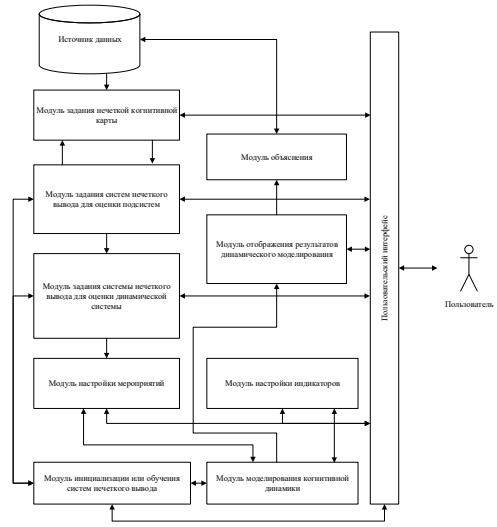


Рис. 1. Структура программных средств нечеткого когнитивного моделирования системной динамики

Источником данных может являться база данных, таблицы данных, специализированные файлы данных различного формата и т.д. Данные загружаются программными средствами и преобразуются в нечеткую когнитивную карту, нечеткие модели вывода оценки систем и подсистем [4]. В случае, если источник данных содержит эталонные значения показателей моделирования системной динамики нечеткой когнитивной карты формируется обучающая выборка для оценки показателей подсистем и системы в целом.

Модуль задания нечеткой когнитивной карты обеспечивает задание концептов и их значений, а также, если необходимо, установление границ изменений значений концептов, которые могут быть изменены в процессе моделирования динамического процесса. Связь между концептами обеспечивают дуги, веса которых задаются в диапазоне [-1, 1]. Проблема обработки отрицательных влияний решается за счет удвоения мощности множества концептов и раздельной обработки положительных и отрицательных влияний. Нечеткие значения концептов вычисляются с помощью операций Т-норм или S-норм над нечеткими значениями концептов и весов влияний [5,6].

Модуль задания систем нечеткого вывода для оценки подсистем обеспечивает задание моделей нечеткого вывода для оценки влияний подсистем исследуемого динамического процесса при моделировании. В качестве

входных параметров нечеткой модели вывода выступают концепты нечеткой когнитивной карты, значения которой изменяются в процессе динамического моделирования. Выходные значения нечеткого вывода оценки подсистем могут выступать как самостоятельные показатели, так и в роли входных данных для оценки динамической системы в целом.

Задание модели оценки влияния для подсистем состоит из 3 этапов.

На первом этапе в соответствии с выбранными концептами задаются лингвистические термы, которые могут быть треугольными, колоколообразными, трапецеидальными и составными.

На втором этапе размечаются лингвистические термы для выходной переменной нечеткой модели оценки подсистем. Лингвистические термы указываются в зависимости от типа выбранной системы нечеткого вывода.

На третьем этапе формируется база нечетких правил. При автоматическом задании используется алгоритм «горной» кластеризации [7], входными параметрами которого являются входные временные ряды обучающей выборки прогнозной модели и параметры кластеризации.

Для настройки параметров обучения прогнозной модели необходимо указать коэффициент обучения и его изменение на каждой итерации обучения, а также методы пересечения и объединения нечетких множеств нечетких переменных. Корректировка лингвистических термов нечетких переменных и базы нечетких правил доступна после обучения прогнозной модели.

Модуль задания системы нечеткого вывода для оценки динамической системы определяет модель нечеткого вывода для оценки когнитивной динамики в целом. Настройка модели осуществляется по такому же алгоритму, как и настройка нечетких систем вывода для оценки подсистем.

Модуль настройки мероприятий используется для задания внешних воздействий на нечеткую когнитивную карту. Каждая модель мероприятий содержит множество изменений концептов нечеткой когнитивной карты или весов влияний, которые применяются на указанном шаге при динамическом моделировании системы.

Модуль настройки индикаторов используется для задания индикаторов, которые срабатывают при выполнении условия срабатывания. В качестве индикации могут быть указаны информационные, важные или критические события, возникающие при моделировании когнитивной динамики.

Модуль инициализации или обучения систем нечеткого вывода обеспечивает предварительную проверку целостности системы и, если необходимо, настройку при моделировании когнитивной динамики. При возникновении ситуации, когда моделирование невозможно, модуль укажет на неточности при задании начальных условий моделирования.

Модуль моделирования когнитивной динамики обеспечивает непосредственное моделирование динамического процесса нечеткой когнитивной карты, вычисляет показатели подсистем и системы в целом. Результаты моделирования в реальном времени выводятся пользователю для интерактивного взаимодействия с помощью модуля отображения результатов динамического моделирования.

Модуль объяснения обеспечивает формирование результатов динамического моделирования в понятной для человеческого восприятия форме.

III. Апробация разработанных программных средств анализа и моделирования системной динамики

Программные средства основаны на комплексе интеллектуальных моделей, методов и технологий (в том числе оригинальных), ориентированных на интеллектуальный анализ и моделирование сложных систем и процессов в условиях неопределенности различного типа, в том числе: нечетких когнитивных моделей, нечетких оценочных моделей, нечетких логических моделей, нейро-нечетких классификаторов, моделей системной динамики. Апробация разработанной программной системы проведена на примере комплексной оценки влияния климатических явлений на объекты городской среды города Москвы в различных сценарных климатических условиях. Оценка осуществлялась с использованием когнитивной карты, приведенной на рис. 2.

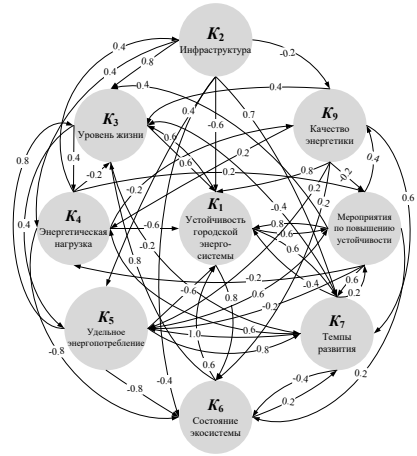


Рис. 2. Структура нечеткой когнитивной карты для оценки влияния мероприятий на показатели и подсистемы электроснабжения

Когнитивная карта представляет собой множество вершин $C = \{c_1, ..., c_N\}$, которые связаны между собой дугами, значения которых можно представить матрицей:

$$W = \begin{pmatrix} w_{11} & \dots & w_{1N} \\ \dots & \dots & \dots \\ w_{N1} & \dots & w_{NN} \end{pmatrix},$$

где W – матрица отношений между концептами; w_{ij} – значение между i-м и j-м концептом. В случае отсутствия дуги $w_{ij} = 0$.

Для анализа динамики развития когнитивных карт используется математический аппарат импульсных

процессов [8]. Расчет динамического процесса когнитивной карты представляет собой итерационный процесс. Каждая вершина когнитивной карты принимает значения $K_i(t)$ в дискретные моменты времени $t = 0, 1, 2, ..., n$, где n – количество установленных итераций. Значение концептов на каждой следующей итерации рассчитывается по определенному правилу.

Отличительной особенностью реализованного математического аппарата моделирования является свойство расчета значений всех концептов одновременно. Эта особенность определяет весьма специфичные допущения о влиянии изменений значения одного концепта на параметры других концептов. Под такими допущениями принимается выбор правила изменения значения концептов в зависимости от значений других концептов и связей между соответствующими концептами.

Выбор правила играет очень важную роль. Если допустить, что исходные данные известны с некой точностью, то окончательные выводы, основанные на определенном правиле изменения значений концептов, будут также всегда неточными. Всякий полученный результат динамического моделирования следует рассматривать как предварительный. Этот результат должен быть подвергнут экспертному анализу. Экспертный анализ может включать дополнительное повторное моделирование с измененными параметрами (исходными данными) и возможно, выбор других правил изменения значений концептов.

При определении правил изменения концепта возможно довольно много вариантов [[9]]. В настоящей работе реализовано моделирование с использованием следующих правил:

$$K_i(t+1) = K_i(t) + \sum_{j=1}^{n} w_{j,i} \cdot K_j(t),$$

$$K_i(t+1) = K_i(t) + sigmoid\left(\sum_{j=1}^{n} w_{j,i} \cdot K_j(t) \right),$$

$$K_i(t+1) = sigmoid\left(K_i(t) + \sum_{j=1}^{n} w_{j,i} \cdot K_j(t) \right),$$

где $K_i(t+1)$ – значение *i*-го концепта на следующем этапе расчета; $K_i(t)$ – значение *i*-го концепта на текущем этапе расчета; $w_{j,i}$ – значение дуги исходящего от *j*-го в *i*-й концепты; *sigmoid* – сигмоидальная функция, плавно ограничивающая значения расчетов.

Определение начальных значений концептов реализовано путем усреднения, нормированных от 0 до 1 значений отдельных показателей, входящих в состав концепта [10].

Моделирование системной динамики когнитивной карты осуществлялось в следующей последовательности:

- задание начальных значений показателей;
- задание функции изменения концепта;
- моделирование системной динамики;
- анализ результатов моделирования экспертом;
- при необходимости выбор другой функции, либо настройка параметров функции изменения концепта;
- фиксация правила вывода и его параметров, обеспечивающего сходимость с мнением эксперта.

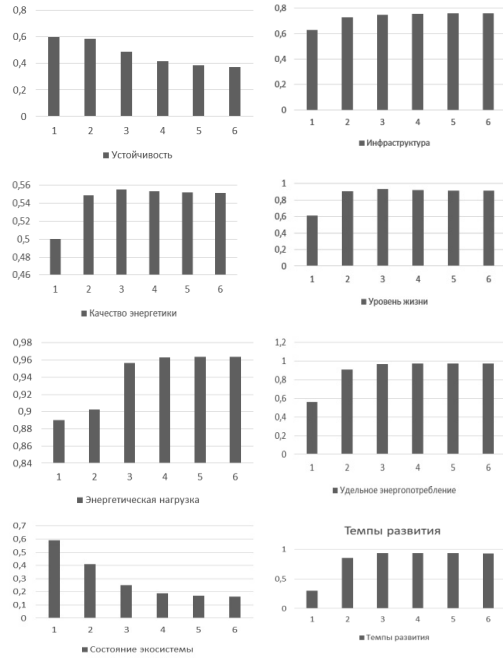


Рис. 3. Иллюстрация поведения каждого концепта на 5-ти модельных шагах

После достижения желаемого поведения когнитивной карты в динамике становится возможным исследование эффективности применения мероприятий, которые устанавливаются экспертом или экспертами в процессе динамического моделирования когнитивной карты. Под мероприятием понимается однократное или продолжительное изменение веса дуги или значения концепта – добавление, вычитание, либо переприсвоение заданного значения, которое имитирует воздействие реальных мероприятий, изменяющих состояние отрасли.

На рис. 3 приведены графики, иллюстрирующие поведение концептов на 5-ти модельных шагах (отсчет 1 – начальное состояние, отсчеты 2-6 – результаты моделирования системной динамики).

IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В целях реализации рассмотренной системы разработано методическое обеспечение и реализованы программные средства моделирования системной динамики энергосистем городов и городских поселений с учетом основных факторов, влияющих на устойчивость развития энергосистемы. Настройка модели системной динамики проводилась с привлечением экспертов по отдельным отраслям

городского хозяйства. Определен подход к установлению начальных условий и проверке результатов моделирования с использованием информации, содержащейся в базе данных «GEPL Urban Energy & Environment».

С использованием разработанных программных средств рассчитаны показатели функционирования системы энергоснабжения г. Москвы на период до 2050 г. в новых сценарных климатических условиях.

Разработанная система является первым шагом к созданию интегрированной информационно-аналитической платформы интеллектуального анализа, моделирования и прогнозирования состояния сложных социо-технических систем с учетом направлений социально-экономического развития и динамики экстремальных погодных явлений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

[1] Кулинич А. А., Компьютерные системы моделирования когнитивных карт: подходы и методы, Проблемы управления, 2010, № 3, 2–16.

[2] Halliwell J., Keppens J., Shen Q., Linguistic Bayesian networks for reasoning with subjective probabilities in forensic statistics // Proc. of the 5th International Conference on AI and Law, 2003. – PP. 42–50.

[3] Кулинич А.А. Моделирование динамических процессов в понятийной системе субъекта для генерации креативных решений // Когнитивные исследования: Сб. науч. тр. – М., 2006. – Вып. 1. – С. 94–122.

[4] Kosko B. Fuzzy Cognitive Maps. *International Journal of Man-Machine Studies*, 1986, vol. 24, pp. 65-75.

[5] Silov V. B. *Strategic decision making in fuzzy environment*. Moscow, INPRO-RES, 1995. 228 p. (in Russian).

[6] Силов В.Б. Принятие стратегических решений в нечеткой обстановке. – М.: ИНПРО-РЕС, 1995. 228 с.

[7] Chiu S. Fuzzy model identification based on cluster estimation // Journal of Intelligent & Fuzzy Systems. – 1994. – Vol. 2, № 3 – P. 267-278.

[8] Roberts F. S. Discrete mathematical models with applications to social, biological and environmental problems. *Prentice-Hall, Englewood Cliffs*, 1976. 560 p/

[9] Федулов А.С., Борисов В.В. Модели системной динамики на основе нечетких реляционных когнитивных карт // Системы управления, связи и безопасности, 2016 №1

Плотинский Ю.М. Модели социальных процессов. – М.: Логос, 2001. – 296 с.

Биологические принципы интеллектуального управления движением: модели и варианты реализации

Суятинов С.И.
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана
Москва, Россия
ssi@bmstu.ru

***Abstract* — Article is devoted to the development of information processing models in the central nervous system (CNS) in the organization of human motion control. The CNS function, providing control of mechanical movements, is one of the oldest and most important for the survival of individuals. The study of the transformation of this function in living systems from the simplest to the highest in the evolutionary process, as well as the comparative availability of experimental studies of the manifestation of this function in humans, make it possible to formulate the basic principles of intelligent information processing in the organization of motion. Examples of the implementation of the proposed principles in the study of the functioning of complex systems of different origin are given. The basis of the research and development of mathematical models is the theory of the levels of the Russian physiologist N.A. Bernstein, as well as his description of the main physiological information processes occurring in the human central nervous system in the organization of movement. The mechanisms of information processing at each level are described. A hierarchical description of a system for processing various types of information is presented. The variants of possible mathematical models of various levels of information processing are considered. The integration of these models in the process of motion control provides self-organization and adaptive properties for the given control objectives. The technical implementation of intelligent control of mechanical movements on the principles of biomechanics is one of the most popular applications in various fields. Examples of intelligent control systems implemented on the principles of bio-cybernetics are given.**

Ключевые слова — интеллект, управление движением, теория уровней, обработка информации, модели, иерархическое управление

I. Два направления исследования механизмов интеллекта

В настоящее время существуют два принципиально разных подхода к пониманию сущности и трактовки интеллекта. Соответственно развиваются два основных направления технической реализации выявленных механизмов интеллектуальной обработки информации.

Философско-методологической основой первого подхода является рационализм. Исходя из идей рационализма Ньюэлл и Саймон сформулировали гипотезу о физической символьной системе. Она утверждает, что человеческий мозг представляет собой систему манипуляции символами. В соответствии с этим основой интеллекта считаются логические рассуждения и умозаключения, основанные на знаниях [1-4]. В практическом плане такая трактовка интеллекта оказалась весьма плодотворной. Методы искусственного интеллекта, основанные на манипуляции символами нашли практическое применение в различных технических задачах. Следует, однако отметить, что эти методы основаны на математической имитации субъективного представления актов мыслительного процесса.

В плане познания действительных механизмов интеллекта перспективным является второй естественно-биологический подход [5, 6]. Он основан не на умозрительных заключениях о мыслительном процессе, а на анализе поведения живых существ в процессе их адаптации к изменчивому окружению. Теоретической основой второго направления являются работы психологов Ч. Пирса, Ж. Пиаже и других. В соответствии с их теорией интеллект трактуется как биологический процесс, причем среди ключевых функций интеллекта отмечаются организация и адаптация.

Непрерывное усложнение двигательной активности в процессах адаптации явилось главной причиной развития и совершенствования функций головного мозга. В результате такого развития сформировались механизмы координационно-двигательного управления на основе центральной нервной системы (ЦНС). У человека этот механизм управления представляет наивысшую по сложности и совершенству структуру. Поэтому изучение организации управления движений со стороны ЦНС позволяет глубже познать закономерностей работы мозга, организацию естественного интеллекта. Одним из первых на это обратил внимание русский физиолог Н.А. Бернштейна.

II. Основы организации управления движением по Бернштейну

Эволюционный характер совершенствования механизмов управления позволяет сравнительно легко проследить развитие механизмов и структуры управления движениями. Исследуя изменения механизмов управления в процессе их развития, Бернштейн разработал теорию уровней, а также ряд других научных положений организации движения [7-9].

В соответствии с теорией Н.А. Бернштейна, физиологический уровень построения движений это определенный мозговой этаж-уровень абстрактного представления двигательной задачи. Для него

©2019 ИПУСС РАН, СамГТУ, IEEE

определены особый класс двигательных задач, соответствующее им рецепторное поле и тип коррекций; определенный класс (список) движений.

В настоящее время у человека выделяют пять уровней построения движений от A до E (рис. 1). Низший, подкорковый уровень (A) управляет мышечным тонусом, реализуя двигательные акты различной сложности. Источником информации этого уровня являются сигналы мышечного тонуса [10].

Рис. 1. Уровни организации управления движением

Подкорковый уровень (B) подчинен кортикальным уровням. Нервная система этого уровня организует координацию и управление движениями, в которых требуется точная согласованность ритмически повторяющихся во времени сложных движений, охватывающих все конечности и туловище. При этом преобладающей является внутренняя проприоцептивная информация о состоянии мышц и суставов.

Уровень C построения движений - это первый среди кортикальных уровней. В его состав входят высший отдел подкорковых узлов и некоторые слои коры головного мозга (зрительное поле, осязательное поле и другие). Это уровень пространственно-временной оценки окружающей среды, заполненной объектами, имеющими размер, форму и массу и изменяющихся во времени. Движения, формируемые на этом уровне, имеют выраженный целевой характер и хранятся в форме «готовых сноровок». Цель достигается с учетом пространственно-временной калибровки фрагментов движения.

Следующий уровень действий (D) почти монопольно принадлежит неокортексу. Здесь формируется не элементы движения, а его смысловой мотив. Каждый смысловой мотив расписывается т.е представляется в форме сноровок (моделей поведения) на нижележащих уровнях.

Выше уровня D лежит группа уровней E. Бернштейн Н.А. считал, что они объединяют действия всех предыдущих уровней. Здесь осуществляется смысловая коррекция в соответствии с «желаемым будущим», формируются сложные действия-навыки.

В зависимости от сложности движения в его организации могут участвовать не все уровни. При этом верхний уровень является ведущим, а нижележащие работают в фоновом (по отношению к ведущему) режиме. Ведущий включается в работу в случае возникновения проблем на фоновых уровнях. Качество управления движениями обеспечивается согласованной, синхронной деятельностью ведущего и фоновых уровней. При этом ведущий уровень обеспечивает проявление таких характеристик, как переключаемость, маневренность, находчивость, а фоновые уровни – слаженность, пластичность, послушность, точность.

Организация движения начинается с постановки цели и формирования программы действий. Программа действий – это структурированный по уровням и по степени абстракции набор моделей.

Правильное выполнение программы (любого движения) возможно только благодаря взаимодействию нескольких уровней построения движений. Это взаимодействие формируется в результате обучения, неоднократного выполнения упражнения, в результате которого происходит формирование двигательного навыка.

С позиций современных знаний, обучение это не что иное, как формирование модели поведения [11-15]. Двигательный навык или модель поведения активно формируется нервной системой путем неоднократного повторения упражнений. В этом процессе последовательно сменяют друг друга следующие фазы: определение ведущего уровня; определение двигательного состава навыка; выявление и роспись по уровням соответствующих коррекций; стандартизация и стабилизация двигательного навыка.

Ведущий уровень содержит общую модель изучаемого движения. Затем эта общая модель детализируется, то есть выделяются элементарные движения. Эти элементарные движения и соответствующие им коррекции распределяются по уровням. Так, например, самый нижний уровень A содержит различные модели мышечной активности. Входом модели являются сигналы возбуждения, а выходом – прогнозируемые значение сигналов соответствующих рецепторов.

Стандартизация позволяет из исходного набора моделей выбрать наиболее употребительные, обозначив их как типовые. Их использование позволяет формировать множество вариантов сложных движений.

В соответствии с теорией сенсорных коррекций Бернштейна, для выполнения какого-либо движения мозг не только посылает определенную команду мышцам, но и получает от периферийных органов чувств сигналы о достигнутых результатах и на их основании дает новые корректирующие команды. Таким образом, происходит процесс построения движений, в котором между мозгом и исполнительными органами существует не только прямая, но и непрерывная обратная связь. При этом управление движением имеет многоуровневый характер, организованный по принципу многоконтурной обратной связи. Сравниваются прогнозируемые значения рецепторных сигналов при реализации заданных моделей поведения и действительные выходы рецепторного поля. Этот

процесс обработки сигналов и формирования управляющих воздействий, сопровождается различными перекодировками и известен как кольцо Бернштейна [6]. Сравнения осуществляются на каждом уровне. Таким образом реализуется мультимодельное, многомасштабное управление.

Отметим, что теория мультимодельного управления техническими системами имеет давнюю историю [16-17]. На ее принципах построено адаптивное управление, когда в зависимости от ситуации выбирается подходящая модель. В рассматриваемом случае одновременно используется множество моделей, обеспечивая и точность и робастность.

Отметим еще одну характерную особенность биологического механизма формирования моделей движения. Бернштейна Н.А назвал открытое им явление «повторением без повторения». Оказалось, что при повторении одного и того же движения, несмотря на один и тот же конечный результат путь работающей конечности и напряжения мышц в чем-то различны. При этом многократные повторения таких движений не делают эти параметры одинаковыми. А это значит, что при каждом новом выполнении нервная система не повторяет одни и те же команды мышцам и каждое новое повторение совершается в несколько отличных условиях. Поэтому для достижения одного и того же результата используются различные команды мышцам.

Следует отметить, что в трудах Бернштейна не упоминаются слова «интеллект», «интеллектуальный». Однако в соответствии с современными определениями понятий «интеллект» и «искусственный интеллект», теория уровней – одна из первых описывает механизмы реализации интеллектуальных функций не в частных задачах по отдельности, а в системе.

III. Иерархическая организация неокортекса (уровни D и E)

Анализ внутренней организации и когнитивных процессов в неокортексе с позиций современных знаний позволяет дополнить и детализировать положения теории уровней. Следует отметить, что в основе анализа функционирования мозга лежат гипотезы, достоверность которых основывается на результатах исследований. Например, считается, что при выполнении разных функций кора головного мозга использует одни и те же методы и инструментарии [18]. Таким образом, существует общая функция, общий алгоритм, выполняемый всеми зонами коры головного мозга.

Многочисленные результаты исследований показывают, что неокортекс имеет сложное строение в форме повторяющейся иерархии нейросетевых структур [19]. Нейросетевая организация лежит в основе ключевой способности мозга обучаться и запоминать реальность в форме моделей, представленную сигналами сенсорного поля. Физической реализацией модели является фрагмент нейросети, который возбуждается при определенных сочетаниях входных сигналов. Благодаря сигналам кора головного мозга создает модель, очень близкую к реальному миру, а потом эту модель фиксирует в памяти. Реальность отражается в мозге в форме модели, построенной на сигналах. Модели – это устойчивые состояния фрагментов нейросети, которые оформились в результате обучения (жизненного опыта) и отражают оптимальную реакцию (поведение) на те или иные сочетания входных сигналов. По сути нейромодели - это биологическая форма представления знаний. Входные сигналы - это выходы других моделей и/или сенсорного поля. Предполагается, что выходом модели являются сигналы контекстной афферентации управления и сигналы управления. Контекстная афферентация отражает ожидаемую реакцию сенсорного поля на данное сочетание входных сигналов. Таким образом главным содержанием работы мозга является прогноз будущего, основанный на запоминании или модель «Память – Предсказание».

Функциональная организация головного мозга имеет форму отраслевой иерархии. Ее структура хорошо изучена на примере канала обработки визуальной информации. Считается, что первичные зоны коры головного мозга обеспечивают элементарные ощущения (модели деталей реальности); вторичные зоны создают из деталей целостные образы; третичные зоны (называемые еще ассоциативной корой) обеспечивают совместную работу различных анализаторов и формирование знаков и символов.

Моторные зоны, расположенные в лобных долях коры головного мозга, также имеют иерархическое строение. Иерархическая структура моторных и сенсорных зон похожи. В моторной области информация поступает из зон высшего порядка в зону низшего порядка и приводит мускулы в движение. В сенсорных областях органы чувств посылают информационные сигналы вверх по иерархической лестнице. Информационные сигналы передаются в обоих направлениях. То, что является обратной связью для сенсорных областей, одновременно является выходной информацией для моторных областей, и наоборот (рис. 2).

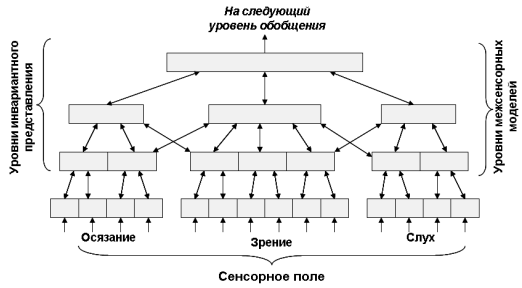


Рис. 2. Многоуровневая архитектура представления и обработки информации в неокортексе

Распределяя модели реальности по степени их абстракции, на каждой из зон коры головного мозга создается соответствующее инвариантное представление, исходя из того, что находится ниже в иерархии. Инвариантность выполняет роль фильтра, убирая детали и оставляя существенное для данного уровня. Вложенная структура реального мира отображается вложенной структурой коры головного мозга. Следует отметить способность мозга создавать межсенсорные модели, используя сигналы различных областей сенсорного поля.

IV. Биологические принципы интеллектуального управления

Анализ приведенных здесь и других представлений организации поведения живых существ позволяет сформулировать следующие биологические принципы интеллектуального управления движением [6]:

- наличие многоканальной информационной системы (сенсорные поля) мониторинга внешней среды и внутреннего состояния системы;
- принцип многомасштабного представления виртуальной модели: программа поведения (модель движения) имеет иерархическую структуру, содержащую согласованные подмодели разной степени детализации и абстрактного представления, которые реализованы в форме нейросетевых моделей и сосредоточены на соответствующих уровнях;
- принцип инвариантного представления внешнего окружения и двигательной активности;
- взаимодействие моделей разных уровней на принципах регуляризации;
- перманентная обучаемость системы с целью повышения адекватности модели и совершенствования собственного поведения;
- мультимодельное отражение внешнего мира: в результате обучения на каждом уровне строится своя модель;
- принцип подчинения и согласования уровней: модель верхнего уровня выбирает одну из нескольких моделей нижнего уровня;
- принцип мультиразрешения и дублирования: формально одно и то же движение может строиться на базе различных моделей (многорядная реализация принципа неоконченных решений);
- принцип многоконтурного управления: достижение полной цели равноценно достижению совокупности подцелей
- наличие механизмов прогноза изменений внешнего мира, собственного поведения и принцип опережающего управления.

Предложенные принципы согласуются с известными принципами и закономерностями функционирования сложных систем [5], а также расширяют принципы организации технических систем интеллектуального управления [20]. Результаты представлены в таблице I.

V. Модели и варианты реализации

Проведенный анализ и сформулированные принципы позволил представить механизм интеллектуального управления движением в форме обобщенной модели (рис. 3).

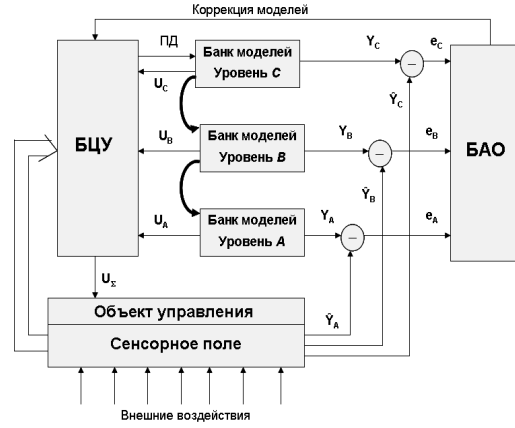


Рис. 3. Обобщенная модель интеллектуального управления

Блок целеполагания и управления (БЦУ), формирует программу действий (ПД). Программа действия определяет задачи и модели для каждого уровня.

Модели уровня выдают прогнозируемое значение Y соответствующего сигнала рецепторного поля, и командный сигнал U для формирования итогового сигнала управления U_{Σ}. Прогнозируемое значение Y сравнивается с действительным значением $\hat{Y}$. В блоке анализа ошибок (БАО) вырабатываются сигналы коррекции, которые используются для выработки корректирующих управлений и возможной модификации моделей.

ТАБЛИЦА I. Сопоставление принципов управления

№	Фундаментальные принципы и закономерности функционирования сложных систем [5]	Биологические принципы интеллектуального управления	Принципы организации систем управления с искусственным интеллектом [20]
1	Принцип внешнего дополнения	Взаимодействие моделей разных уровней на принципах регуляризации	-
2	Принцип опережающего отражения действительности	Наличие механизмов прогноза изменений внешнего мира	Принцип прогнозирования
3	Принцип вероятностного функционирования мозга	Многорядная реализация принципа неоконченных решений	Принцип частичности деградации
4	Принцип необходимости разрушения детерминизма.	Перманентная обучаемость системы	Принцип открытости, или развиваемости
5	Принцип иерархической организации	Мультимодельное отражение внешнего мира.	Принцип возрастания точности с уменьшением интеллектуальности
6	Принцип естественных технологий биологических систем.	Принцип инвариантного представления	-
7	Принцип необходимого разнообразия	Наличие многоканальной информационной системы	Принцип информационного обмена

Команды на модификацию моделей поступает от БЦУ с блоков уровня С или В (выделено жирными линиями). Модификация модели происходит в случае изменения ситуации, которая контролируется сигналами сенсорного поля, подаваемыми в БЦУ.

Структура и принципы управления движением в биологических системах находят свое отражение в технических системах с интеллектуальными свойствами. В зависимости от степени интеллектуальности выделяют три уровня организации технических систем.

Первый рефлекторный уровень соответствует биологическому уровню А. Это уровень элементарных ощущений и соответствующих им реакций. Характерной моделью этого уровня являются нейронные сети типа персептрона.

Второй уровень – это уровень образов. Здесь на основе элементарных ощущений создаются обобщенные образы. Классической моделью этого уровня является неокогнитрон. Сюда же относятся модели управления на основе процедурных и декларативных знаний. В настоящее время реализованы различные варианты систем управления второго уровня интеллектуальности от экспертно-нечетких систем до систем с машинным обучением [21-24].

Третий, высший, интеллектуальный уровень – уровень смысла. Здесь на основе предшествующего опыта осуществляется целеполагание, выбор методов достижения цели, формируется и в дальнейшем корректируется программа действий. Модели этого уровня находятся на стадии разработок.

VI. Заключение

Биологическая наука имеет значительные достижения в области исследования механизмов интеллектуального поведения живых систем. В настоящее время методология создания искусственных интеллектуальных систем находится на стадии формирования. Изложенные принципы могут служить концептуальной основой для построения прикладных систем с использованием элементов интеллектуального управления, свойственных живым организмам.

Разработанная модель позволит формализовать интеллектуальное управление как последовательность процессов «идентификация – прогноз – коррекция – управление», реализуемых на различных иерархических уровнях управления движением ЦНС, а также создать различные технические аналоги.

Список литературы

[1] Newell A. and Simon H. Human Problem Solving. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall. 1972.

[2] Newell A. and Simon H.A. Computer science as empirical inquiry: Symbols and search // Communications of the ACM, 19(3), 1976. - Pp. 111-126.

[3] Gugerty L. Newell and Simon's Logic Theorist: Historical Background and Impact on Cognitive Modeling. In: Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting 50(9), 880-884 (2006). DOI: 10.1177/154193120605000904

[4] Luger G.F. Artificial Intelligence: Structures and Strategies for Complex Problem Solving. 6th ed. London: Addison-Wesley Longman (2008).

[5] Novikov D. Cybernetics: from Past to Future. Berlin, Springer (2016). 107 p.

[6] Suyatinov S. Bernstein's Theory of Levels and Its Application for Assessing the Human Operator State. In: Dolinina O. at al. (Eds.) Recent Research in Control Engineering and Decision Making. ICIT-2019. Studies in Systems, Decision and Control. Vol. 199. Pp. 298-312. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-12072-6_25

[7] Bernstein N.A. The current problems of modern neurophysiology. In: Sporns O., Edelman G.M. (eds.). Bernstein's dynamic view of the brain: The current problems of modem neurophysiology. Motor Control, 2(4), 285-299. (1998) (Original work published 1945).

[8] Bongaardt R. and Meijer O.G. Bernstein's theory of movement behavior: historical development and contemporary relevance // Journal of Motor Behavior 32(1), 57-71. (2000).

[9] Meijer O.G., Bongaardt R. Bernstein's last paper: the immediate tasks of neurophysiology in the light of the modern theory of biological activity // Motor Control 2(1), 3–9 (1998)

[10] Veresov N. Guest editor's introduction Nikolai Bernstein: the physiology of activeness and the physiology of action. J. Russ. East Eur. Psychol. 44(2), 3–11 (2006)

[11] Proletarsky A.V., Shen K., and Neusypin K.A. Intelligent control systems: Contemporary problems in theory and implementation in practice // In: 5th International Workshop on Computer Science and Engineering: Information Processing and Control Engineering, pp. 39–47 (2015).

[12] Shen K., Selezneva M.S., Neusypin K.A., and Proletarsky A.V. Novel variable structure measurement system with intelligent components for flight vehicles // Metrology and Measurement Systems 24(2), 347-356 (2017).

[13] Buldakova T.I. and Dzhalolov,A.Sh. Analysis of data processes and choices of data-processing and security technologies in situation centers // Scientific and Technical Information Processing 39(2), 127–132 (2012). DOI: 10.3103/S0147688212020116

[14] Buldakova T.I. and Mikov D.A. Comprehensive approach to information security risk management. In CEUR Workshop Proceedings, vol. 2081, paper 05, pp. 21-26 (2017).

[15] Suyatinov S.I. The Use of Active Learning in Biotechnical Engineering Education. Handbook of Research on Engineering Education in a Global Context. Hershey, PA: IGI Global, 2019. P. 233-242. http://doi.org/10.4018/978-1-5225-3395-5.ch021

[16] Shen K., Xia Y., Wang M. Neusypin K.A., Proletarsky A.V. Quantifying Observability and Analysis in Integrated Navigation: Quantifying Observability // Navigation - Journal of The Institute of Navigation 65 (2), 2018. doi: 10.1002/navi.225.

[17] Zubov N.E., Li M.V., Mikrin E.A., Ryabchenko V.N. Terminal synthesis of orbital orientation for a spacecraft // Journal of Computer and Systems Sciences International 56(4), 2017. Pp. 721-737. https://doi.org/10.1134/S1064230717040190

[18] Mountcastle, V.B. Perceptual Neuroscience: The Cerebral Cortex. Harvard University Press, 1998. 512 p.

[19] Hawkins J., Blakeslee S. On Intelligence: How a New Understanding of the Brain Will Lead to the Creation of Truly Intelligent Machines. Times Books; Reprint edition (April 1, 2007). 284 p.

[20] Vasil'ev S.N. From classical control problems to intelligent control. // Izvestiya Akademii Nauk. Teoriya i Sistemy Upravleniya. Issue 1, 2001, Pp. 5-22.

[21] Buldakova T.I., Suyatinov S.I. Registration and identification of pulse signal for medical diagnostics // Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering. 2002. Vol. 4707, paper 48. -Pp. 343-350.

[22] Программно-аналитический комплекс модельной обработки биосигналов / Т.И. Булдакова, В.И. Гриднев, К.И. Кириллов, А.В. Ланцберг, С.И. Суятинов // Биомедицинская радиоэлектроника. 2009. № 1. С. 71-77.

[23] Kretzschmar H, Spies M, Sprunk C. and Burgard W. Socially compliant mobile robot navigation via inverse reinforcement learning // The International Journal of Robotics Research 35(11), 2016. –Pp. 1289–1307.

[24] Bohmer W., Springenberg J.T., Boedecker J., Riedmiller M., and Obermayer K. Autonomous learning of state representations for control: An emerging field aims to autonomously learn state representations for reinforcement learning agents from their real-world sensor observations // KI-Kunstliche Intelligenz 29(4), 2015. – Pp. 353–362.

Комбинированный метод определения аномалий в наборах данных об оказании медицинской помощи

Сысоев А.С.
Кафедра прикладной математики
Липецкий государственный технический университет
Липецк, Россия
anton_syssoyev@mail.ru

Щеглеватых Р.В.
Управление информационно-аналитических технологий
Территориальный фонд обязательного медицинского страхования Липецкой области
Липецк, Россия
schegl111@mail.ru

***Abstract* — Big data characterizing the quality of medical health care services provided to the population contain anomaly observations, which are either results of technical errors in filling databases, or falsified data. In the context of insurance medicine, the actual task is to identify such observation. The paper presents an approach to identify outliers in the database of medical health care information system based on the combination of Isolating Forest algorithm and subsequent neural network classifier.**

Ключевые слова — аномалии, выбросы, большие данные, медицинские данные, статистические данные

I. Введение

Переход к цифровизации в различных экономических и социальных сферах человеческой деятельности сопровождается возникновением данных больших объемов, обработка которых необходима для выявления определенных зависимостей, построения аналитических представлений процессов и систем. Актуальной является задача обнаружения аномалий в больших наборах данных. Это могут быть выбросы или новые наблюдения, не подпадающие под известные до этого шаблоны. Раннее выявление таких наблюдений позволяет предотвратить сбои в процессах эксплуатации сложных технических систем, техногенные аварии, выявить нарушения в фиксации экономических и социальных показателей и тем самым привести к экономии бюджетных средств.

Приоритетным направлением социальной политики Российской Федерации является создание системы управления качеством медицинских услуг здравоохранения [1]. Быстро меняющиеся информационные технологии оказывают непосредственное влияние на концепцию управления качеством любых услуг, в том числе и медицинских. Федеральный закон № 242 от 29.07.2017 г. [2] дополняет действующий закон “Об основах охраны здоровья граждан Российской Федерации” положением о создании единой государственной информационной системы в сфере здравоохранения. Целью данной системы является обеспечение доступа граждан к цифровым услугам здравоохранения, а также взаимодействие информационных систем в сфере здравоохранения уполномоченных федеральных организаций исполнительной власти. Одним из наиболее важных наборов статистических данных, хранящихся в этой системе и относящихся к управлению здравоохранением, является сводная аналитическая информация об осуществлении медицинской деятельности и оказании медицинской помощи. Из-за технических ошибок при заполнении баз данных аналитической информацией, вызванных человеческим фактором или злым умыслом, актуальной (в первую очередь с точки зрения страховой медицины) является задача поиска аномалий среди массива больших данных.

Обнаружение аномалий относится к проблеме поиска данных, которые не соответствуют ожидаемому поведению процесса или сопровождаются достижением некоторого значения индикатором системы или процесса. В зависимости от свойств предметной области такие наблюдения могут быть классифицированы как аномалии, выбросы, неполные наблюдения, особенности или загрязнения. Во многих источниках наиболее часто употребляются синонимы – термины “выброс” и “аномалия”. Обнаружением выбросов впервые заинтересовались в области статистики в XIX веке [3]. Последующие методики, использующие идею выявления аномальности, различаются в зависимости от специфики предметной области [4 – 8, 13 – 15, 20, 21, 23].

Обнаруживая аномалии, иногда трудно определить, какие реализации процесса или индикаторы системы являются нормальными. Зафиксированные данные, лежащие вблизи границ нормальной области, могут быть как нормальными, так и аномальными. Для устранения такой неопределенности для получения хорошей (в смысле некоторых критериев качества) прогнозной модели обнаружения аномалий необходимо проверить используемый метод, сравнив полученные результаты с имеющейся информацией об аномалиях.

Важным аспектом задачи обнаружения аномалий является определение их типа. Если наблюдение нельзя считать нормальным по сравнению с другими, то это единичная или точечная аномалия (или выброс). Если наблюдение аномально только в определенном контексте, то такое наблюдение является контекстуальной или условной аномалией. В этом случае контекст определяется структурой набора данных и конкретной постановкой задачи. Если группа наблюдений являются аномальной по отношению к остальной части набора данных, то такие наблюдения образуют коллективную аномалию.

©2019 ИПУСС РАН, СамГТУ, IEEE

Структура анализируемых данных важна при построении схемы обнаружения аномалий. Факторы могут быть представлены в виде набора обучающих признаков, которые являются переменными, лежащими в разных интервалах. Целью данного исследования является создание комбинированного метода обнаружения точечных аномалий (выбросов) среди медицинских записей, полученных из единой государственной информационной системы.

II. Комбинированный подход к выявлению аномалий в данных о медицинской помощи

A. Обзор существующих подходов

Существует несколько подходов к поиску аномальных наблюдений и множество исследований, представляющих различные алгоритмы обнаружения таких наблюдений. Первая группа подходов предполагает использование алгоритмов кластерного анализа и классификации. В ходе кластеризации наиболее удаленные точки (по сравнению с другими) помечаются как аномалии и должны быть исключены из дальнейшего анализа. Применение методов классификации предполагает определение нескольких определенных классов и построение на их основе прогнозной модели. Стоит также упомянуть модели с частичным обучением. Такой подход предполагает построение модели для распознавания только одного класса, когда все значения, которые не относятся к этому классу, идентифицируются как выбросы.

Особым свойством метода опорных векторов является непрерывное уменьшение эмпирической ошибки классификации и увеличение зазора. В ходе реализации исходные векторы переносятся в пространство более высокой размерности и выполняется поиск разделяющей гиперплоскости с максимальным зазором в этом пространстве. Две параллельных гиперплоскости строятся по обеим сторонам гиперплоскости, разделяющей классы. Разделяющей гиперплоскостью будет гиперплоскость, максимизирующая расстояние до двух параллельных гиперплоскостей. Алгоритм работает в предположении, что, чем больше разница или расстояние между этими параллельными гиперплоскостями, тем меньше будет средняя ошибка классификатора.

Другой областью исследований при выявлении аномальных наблюдений является применение деревьев решений [9]. В структуру дерева входят листья (вершины) и ветви (ребра). Ребра содержат атрибуты, зависящие от целевой функции, листья содержат значения целевой функции, а остальные узлы (вершины) содержат атрибуты, различающие случаи. Чтобы классифицировать новый случай, нужно переместиться с вершины дерева налево и выбрать соответствующее значение. Также возможно использование систем нечеткой логики [10]. Построение таких моделей требует разделения массива наблюдаемых данных на основе некоторых оценок. В качестве таких оценок могут использоваться различные статистические показатели. Для анализируемых данных может быть построена база правил нечеткого вывода для классификации новых наблюдений.

В реальных системах факторы могут быть связаны статистически, и этот факт может вызывать затруднения при построении моделей. В таком случае можно использовать вероятностную графовую модель, называемую наивной байесовской сетью [9], которая способна учитывать структурные связи между переменными случайной природы. Этот подход предполагает построение направленного ациклического графа, являющегося обобщением дерева. В построенном графе каждая вершина – это переменная системы, а ребро отражает степень влияния одной переменной на другую. По сравнению с деревьями решений наивные байесовские модели теряют точность, но значительно выигрывают с точки зрения вычислительной скорости. Поэтому применение такого подхода к большим данным оправдано.

На основе аналогов биологических процессов наследования, отбора, мутации и скрещивания были построены и широко используются генетические алгоритмы для решения оптимизационных задач. Известно применение генетического алгоритма [10] к задаче обнаружения вторжений. Преимуществами использования данного класса эволюционных алгоритмов является устойчивость по отношению к шуму и возможность самостоятельного обучения.

Нейронная сеть [11] представляет собой совокупность объектов (нейронов), разделенных на группы (слои), которые связаны друг с другом. Биологическая модель, лежащая в основе этой структуры, представляет собой сеть нервных клеток живого организма. Для решения задач классификации (с учителем и без него) могут применяться нейросетевые модели.

Для улучшения результатов классификации при решении задачи обнаружения аномалий предложено использовать комбинированные методы, включающие несколько алгоритмов. Среди таких комбинаций – каскадные методы классификации с учителем (комбинация наивных байесовских моделей и деревьев решений, деревьев решений и метода опорных векторов) и комбинации схем классификации с учителем и без него (например, комбинация метода опорных векторов и классификации методом k-средних).

Следует отметить, что все описанные выше схемы, используемые для обнаружения аномальных наблюдений, предполагают построение “нормального” профиля наблюдения, а затем наблюдения, не удовлетворяющие полученному профилю, должны быть исключены. Принципиально иной подход, отличающий аномальные наблюдения, – это изолирующий лес. Предпосылки для такого подхода формируются предположениями о двух значимых свойствах аномалий: во-первых, исходный набор данных содержит небольшое количество выбросов, а во-вторых, аргументы аномальных наблюдений сильно отличаются от аргументов других нормальных наблюдений.

B. Постановка задачи исследования

В исследовании рассматривается нахождение аномальных значений в массивах данных медицинской природы и построение классификатора для предсказания таких значений среди новой выборки. Опишем

исследуемое множество. Пусть x_i – одно из зафиксированных значений показателя i. Ввиду специфики рассматриваемой задачи и ее прикладного характера невозможно задать строгий критерий отнесения некоторого наблюдения к категории аномального и соответственно оценить качество алгоритма численно. Результаты подобных исследований необходимо подвергать анализу специалистами прикладной области для, в частности, получения обучающего множества для дальнейшего прогнозирования возникновения аномалий.

C. Изолирующий лес

Изоляция означает отделение одной группы наблюдений от другой. Чтобы применить такую идею для каждого наблюдения, необходимо вычислить некоторую меру восприимчивости, определяющую порог разделения.

Естественные структуры, разделяющие данные, - это случайно сгенерированные двоичные деревья, экземпляры которых рекурсивно разделены [12, 22]. Изолирующий лес строится по принципу Монте-Карло. В деревьях для подозрительных наблюдений выделяются заметные более короткие пути, поскольку (а) в областях с аномалиями меньшее количество аномалий приводит к меньшему числу секций – более короткие пути в древовидной структуре и (б) экземпляры с различимыми значениями атрибутов с большей вероятностью будут разделены в начале процесса секционирования. Поэтому, когда случайный лес в совокупности создает более короткие длины путей для некоторых конкретных точек, они с высокой вероятностью будут аномалиями.

Такой подход имеет ряд преимуществ, в том числе и способность распознавать аномалии различной природы (точечные и коллективные). С точки зрения вычислительной сложности он более эффективен, чем большинство других алгоритмов. Он не требует значительных затрат памяти и определения метрики или некоторой априорной информации об анализируемом объекте, устойчив к проклятию размерности.

Многие исследования, посвященные обнаружению аномалий, основаны на использовании изолирующих лесных структур. Далее даются краткие представления о его механизме. Для выявления аномалий при таком подходе необходимо применять двухэтапный процесс. На первом этапе необходимо обучить выбранную модель (включая настройки таких параметров, как количество деревьев в ансамбле и размер подстановки). Второй этап посвящен анализу полученной модели, чтобы получить оценку для каждого наблюдения, помогая определить его как аномалию.

Этап обучения – это процесс рекурсивного секционирования, на котором каждое дерево строится с использованием подвыборки X', случайно полученной без замены из исходной выборки наблюдений X. Основной шаг алгоритма принимает следующие входные параметры: X – набор начальных наблюдений, t – количество деревьев, используемых для построения модели, и ψ – размер подвыборки. Для каждого дерева от 1 до t случайным образом выбирается новая подвыборка X' из X с учетом ψ и добавляется к текущему лесу. Здесь параметр ψ управляет размером обучающих данных, он был эмпирически подобран в исследовании [12] (исходя из предположения, что аномалий “мало” и они “отличные”) – это значение 256. При построении каждого дерева выполняется следующий процесс. На вход поступает X' (случайная подвыборка) и на выходе получается iTree – изолирующее дерево. В случае, если X' нельзя разделить на два подмножества, то iTree достигнута концевая вершина; в противном случае, пусть Q – список атрибутов в X', следует случайным образом выбрать атрибут q из Q, а также случайным образом выбрать точку разделения p между минимальным и максимальным значениями выбранного атрибута q. Получены два подмножества X_l и X_r как отфильтрованные на основе P пороговых входных значений, которые затем образуют левый и правый внутренние узлы. Следует отметить, что временная сложность этой стадии равна $O(t\psi^2)$, а пространственная – $O(t\psi)$.

На втором этапе, этапе оценки (входные данные: x – наблюдение, T – структура изолирующего леса iTree, $hlim$ – порог отнесения наблюдения к разряду аномалий, e – текущая длина пути, которая равна 0 на первом шаге) длина пути $h(x)$ получается путем подсчета количества ребер e от корневого узла к концевой вершине, поскольку наблюдение x проходит через iTree. Когда обход достигает предопределенного предела высоты $hlim$, возвращаемое значение $e + c$ (c – некоторая поправка). Эта корректировка позволяет оценить среднюю длину пути случайного поддерева, которое может быть построено с использованием данных размера, превышающего предельный порог. Когда $h(x)$ получается для каждого дерева ансамбля, вычисляется оценка аномалии. Временная сложность процесса оценки равна $O(nt\psi)$, где n – размер выборки данных.

Задача обнаружения аномалий заключается в определении в построенном дереве некоторой характеристики для каждого наблюдения, отражающей степень его аномальности. Поэтому, чтобы определить, является ли наблюдение аномальным, необходимо отсортировать данные о длинах путей $h(x)$ в дереве или о степени аномалии. Поскольку случайный лес имеет эквивалентную двоичному дереву поиска структуру, можно применить ту же процедуру для оценки среднего пути $h(x)$ для внешнего узла, что и в бинарном лесе. В [22] показано, что средняя длина пути безуспешных поисков

$$c(\psi) = 2H(\psi - 1) - 2(\psi - 1) / n \text{ для } \psi > 2,$$
$$c(\psi) = 1 \text{ для } \psi = 2 \text{ и}$$
$$c(\psi) = 0 \text{ иначе.}$$

Здесь $H(i) = \ln(i) + 0.5772156649$ (константа Эйлера) – гармоническое число.

Степень аномальности s для наблюдения x определяется как

$$s(x,\psi) = 2^{-E(h(\psi))/c(\psi)},$$

где $E(h(x))$ – средняя длина пути $h(x)$ в построенном изолирующем лесе.

Следующие условия определяют три специальных значения оценки аномальности наблюдений:

$$\text{если } \mathrm{E}(h(x)) \to 0,\ s \to 1;$$
$$\text{если } E(h(x)) \to \psi - 1,\ s \to 0;\ \text{и}$$
$$\text{если } E(h(x)) \to c(\psi),\ s \to 0{,}5.$$

Таким образом, когда $s \to 1$, то наблюдение x является аномалией, а когда $s << 0{,}5$, то x является нормальным наблюдением. Если для всех наблюдений значение $s \approx 0.5$, то массив данных X не имеет аномалий.

Как уже упоминалось выше, описанный подход имеет много преимуществ и хорошо обнаруживает аномалии. Еще одной его положительной особенностью является возможность обнаружения контекстных аномалий, которые в рассматриваемой прикладной проблеме связаны с обнаружением выбросов (технических ошибок фиксации данных или их намеренное искажение) в данных о медицинской помощи. Чтобы обеспечить такое обнаружение, необходимо синтезировать комбинированный механизм распределения данных на нормальные и аномальные, которые впоследствии будут проанализированы контролирующими специалистами.

Идея, на которой основан наш подход, заключается в том, чтобы использовать изолирующий лес в качестве первого шага для фильтрации данных (распределить их на нормальные и аномальные), затем проанализировать все аномалии и выделить среди них контекстуальные аномалии (которые являются возможными наблюдениями, но не являются типичными по сравнению с ближайшими данными), а затем, применяя нейросетевой классификатор [16–19], построить модель, способную находить выбросы для новых исходных данных.

III. Численный эксперимент

A. План эксперимента

В качестве данных для численного эксперимента были взяты отдельные статистические показатели из информационной системы регистрации персонифицированной медицинской помощи Липецкого областного Фонда обязательного медицинского страхования (Липецкая область, Россия). Период фиксации: с 01.04.2018 г. по 30.04.2018 г. (327 670 случаев). На основе экспертного анализа были выбраны показатели, уникальным образом характеризующие каждый случай оказания медицинской помощи: 38 различных факторов, например, идентификаторы пациента (номер полиса обязательного медицинского страхования, возраст и т.п.), медицинской организации (код организации, специализация медперсонала, условия оказания медицинской помощи и т.п.), особенности конкретного случая (основной диагноз на первом, втором, третьем этапах госпитализации, дополнительный диагноз, длительность госпитализации и т.п.) и некоторая статистическая информация.

B. Исследование предлагаемого подхода

На первом этапе эксперимента исходная выборка была разделена на две части – обучающий и тестовый наборы (80% и 20% соответственно). К каждому набору был применен алгоритм изолирующего леса для оценки показателя аномальности каждой записи информационной системы. Результаты, полученные при применении алгоритма к обучающему множеству, были проанализированы специалистами, и все выявленные аномалии были классифицированы либо как контекстуальные аномалии, либо как выбросы. Распределение полученных результатов оценки аномалий показано на рис. 1. В качестве порогового значения показателя аномальности было выбрано значение 99 процентиля массива расчетных оценок (0,7536726). В таких условиях было обнаружено 273 выброса (технические ошибки или умышленная фальсификация данных).

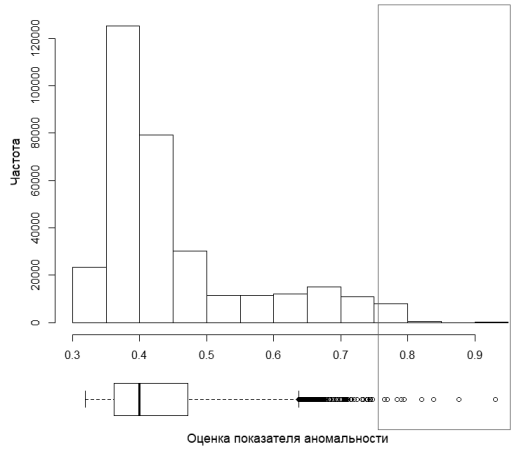


Рис. 1. Распределение оценок показателя аномальности для обучающего набора данных

На втором этапе эксперимента на основе результатов экспертизы был сформирован обучающий набор для нейросетевого классификатора распознавания аномалий. Классификатор имеет следующую структуру:

$$y_k = \sigma_1\left(\sum_{j=1}^{50} w_j \cdot \sigma_2\left(\sum_{m=1}^{4} w_{jm} x_m\right)\right),$$

где y_k – выход нейронной сети (значение, анализируя которое, принимают решение о принадлежности наблюдения к множеству выбросов), x_m – вектор входных факторов (в проведенном эксперименте это: код медицинского учреждения, код типа оказываемой медицинской помощи, возраст пациента и значение оценки показателя аномальности); w_j и w_{jm} - весовые коэффициенты на скрытом и выходном слое соответственно, $\sigma_1(net) = \sigma_2(net) = net$ – сигмоидные функции активации.

Обученная нейронная сеть была применена к набору тестовых данных и получены следующие результаты. Тестовый набор содержал 19 выбросов, тогда как

нейросетевой классификатор дал 30 наблюдений, которые являются аномалиями и должны были быть проанализированы экспертами. Эти аномалии содержали все 19 реальных выбросов. Это означает, что в данном конкретном случае эксперимент продемонстрировал: 37% ошибки первого рода классификации (ложная тревога при обнаружении цели) и 0% ошибки второго рода (точность обнаружения существующих аномалий 100%).

IV. Заключение и перспективы дальнейших исследований

Предлагаемый подход к выявлению аномальных наблюдений в данных об оказании медицинской помощи показал достаточно высокое качество нахождения случаев, требующих контроля качества оказанных услуг в медицинских организациях и может быть использован для анализа больших объемов статистических данных. Такой подход сочетает в себе преимущества алгоритмов изолирующего леса и нейросетевой классификации, что позволяет автоматически выявлять выбросы.

Однако нерешенной в рамках данного исследования остается задача определения факторов нейросетевого классификатора: использование большого числа факторов вызывает вычислительные трудности и может быть необоснованным. Поэтому в развитии данного исследования требуется корректировка набора показателей медицинской помощи и формирование оптимального (в некотором смысле) набора таких показателей. Математической основой такого подхода может выступать использование авторского анализа конечных изменений [24] для определения влиятельности рассматриваемых факторов.

Список литературы

[1] Распоряжение Правительства РФ от 17.11.2008 N 1662-р (ред. от 28.09.2018) «О Концепции долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2020 года».

[2] Федеральный закон от 29 июля 2017 г. N 242-ФЗ "О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации по вопросам применения информационных технологий в сфере охраны здоровья"

[3] F. Y. Edgeworth, “On discordant observations,” London, Edinburgh, Dublin Philos. Mag. J. Sci., vol. 23, no. 5, pp. 364–375, 1887.

[4] S. Wang and Z. Miao, “Anomaly detection in crowd scene,” in International Conference on Signal Processing Proceedings, ICSP, 2010.

[5] M. Teng, “Anomaly detection on time series,” in Proceedings of the 2010 IEEE International Conference on Progress in Informatics and Computing, PIC 2010, 2010.

[6] A. Lazarevic, L. Ertoz, V. Kumar, A. Ozgur, and J. Srivastava, “A Comparative Study of Anomaly Detection Schemes in Network Intrusion Detection,” in Proceedings of the 2003 SIAM International Conference on Data Mining, 2003.

[7] C. Kruegel and G. Vigna, “Anomaly detection of web-based attacks,” in Proceedings of the 10th ACM conference on Computer and communication security - CCS ’03, 2003.

[8] S. Bhatkar, A. Chaturvedi, and R. Sekar, “Dataflow anomaly detection,” in Proceedings - IEEE Symposium on Security and Privacy, 2006.

[9] N. Ben Amor, S. Benferhat, and Z. Elouedi, “Naive Bayes vs decision trees in intrusion detection systems,” in Proceedings of the 2004 ACM symposium on Applied computing - SAC ’04, 2004.

[10] S. Agrawal and J. Agrawal, “Survey on anomaly detection using data mining techniques,” in Procedia Computer Science, 2015.

[11] Y. Kou, C. T. Lu, S. Sirwongwattana, and Y. P. Huang, “Survey of fraud detection techniques,” in Proceedings of the IEEE International conference Networking, sensing and control, 2004, p. Vol. 2, 749-754.

[12] F. T. Liu, K. M. Ting, and Z. H. Zhou, “Isolation forest,” in Proceedings - IEEE International Conference on Data Mining, ICDM, 2008.

[13] J. Parmar, “Data security, intrusion detection, database access control, policy creation and anomaly response systems-A review,” in 2014 International Conference on Advances in Engineering and Technology Research, ICAETR 2014, 2014.

[14] D. H. Tang and Z. Cao, “Machine Learning-based Intrusion Detection Algorithm,” J. Comput. Inf. Syst., vol. 5, no. 6, pp. 1825–1831, 2009.

[15] S. Y. Wu and E. Yen, “Data mining-based intrusion detectors,” Expert Syst. Appl., 2009.

[16] C. Szegedy, A. Toshev, and D. Erhan, “Deep Neural Networks for Object Detection,” Nips 2013, 2013.

[17] G. P. Zhang, “Neural networks for classification: A survey,” IEEE Trans. Syst. Man Cybern. Part C Appl. Rev., 2000.

[18] A. Vasuki and S. Govindaraju, “Deep neural networks for image classification,” in Deep Learning for Image Processing Applications, 2017.

[19] S. Dreiseitl and L. Ohno-Machado, “Logistic regression and artificial neural network classification models: A methodology review,” Journal of Biomedical Informatics. 2002.

[20] A. J. Foxt, “Outliers in Time Series,” J. R. Stat. Soc. Ser. B J. R. Stat. Soc. Ser. B, 1972.

[21] M. Nakano, A. Takahashi, and S. Takahashi, “Fuzzy logic-based portfolio selection with particle filtering and anomaly detection,” Knowledge-Based Syst., 2017.

[22] F. T. Liu, K. M. Ting, and Z.-H. Zhou, “Isolation-Based Anomaly Detection,” ACM Trans. Knowl. Discov. Data, 2012.

[23] A. M. Vartouni, S. S. Kashi, and M. Teshnehlab, “An anomaly detection method to detect web attacks using Stacked Auto-Encoder,” in 2018 6th Iranian Joint Congress on Fuzzy and Intelligent Systems, CFIS 2018, 2018.

[24] S. L. Blyumin, G. S. Borovkova, K. V. Serova and A. S. Sysoev, “Analysis of finite fluctuations for solving big data management problems,” 9th International Conference on Application of Information and Communication Technologies (AICT), Rostov on Don, 2015, pp. 48-51, 2015.

Онтологический подход к обучению персонала сложных автоматизированных систем промышленного назначения

Черепашков А.А.
Самарский государственный технический университет
Самара, Россия
eg@samgtu.ru

Шараухова А.Г.
Самарский государственный технический университет
Самара, Россия
anshag13@yandex.ru

***Abstract* — The problem of increase in efficiency of the industrial automated systems by means of the directed development of skills of personnel is discussed. For example, in computer-aided engineering systems (CAD) the problem of rational division of functions between human mentality and machine intelligence is a current scientific problem. As means for development of skills of design activity of users of a CAD the educational virtual enterprise, representing a specialized PLM solution is created. New results of the ontological analysis of subject domain of the automated design of products of mechanical engineering are presented. As tools of a research the open Protégé software package is used.**

Keywords — Artificial Intelligence, CAx, CAD/CAM/CAE, skills set, staff competence, learning virtual enterprise, ontological approach, ontology of computer-aided design

I. Введение

Автоматизированные системы (АС) промышленного назначения (такие как АСУТП, АСТПП, САПР и пр.), по определению представляют собой человеко-машинный конгломерат (организационно-техническую систему) в котором человек, а точнее производственный коллектив играет ведущую роль. Несомненно, что функционал и параметры всего комплекса средств обеспечения АС определяют возможности реализации целей и задач конкретного проекта и даже производственной программы предприятия в целом, но эффективность и конечный результат проектной деятельности в существенной мере зависит от профессиональных качеств специалистов, составляющих коллектив. Так, несмотря на тенденцию к увеличению уровня автоматизации отдельных проектных процедур, в современных системах автоматизированного проектирования (САПР), именно человек является основным носителем интеллекта. При этом можно утверждать, что и в обозримом будущем задача выявления рационального разделения функций между человеком и компьютером (даже в АС, наделенных элементами искусственного интеллекта) продолжит оставаться актуальной научной проблемой. А наиболее полные и глубокие профессиональные компетенции, соответствующее целям и задачам предприятия, должны формироваться посредством целенаправленной подготовки и переподготовки персонала.

Тематика работы, связанная с учебно-исследовательскими виртуальными предприятиями, поддержана грантом 2019 г. фонда В. Потанина.

©2019 ИПУСС РАН, СамГТУ, IEEE

II. Проблематика обучения персонала автоматизированных систем

Подготовка кадров в области промышленной автоматизации в недалеком прошлом связывалась исключительно с плановым обучением программистов-разработчиков и операционного персонала автоматизированных систем. В настоящее время повсеместная цифровизация экономики меняет представление специалистов как об управлении производственными процессами, так и о содержательной составляющей деятельности персонала АС. В проектах внедрения АС на первый план вышли задачи подготовки и переподготовки пользователей. В полном объеме встала проблема развития профессиональных компетенций целевого персонала, как условия и средства повышения эффективности АС в целом.

Актуальность и важность проблематики обучения пользователей многократно возрастают одновременно с повышением сложности средств промышленной автоматизации. По мере осознания потребности в новых подходах и методах организации производственной деятельности передовые предприятия активно начали переходить от «лоскутной» автоматизации к комплексным решениям управления жизненным циклом изделий – PLM-решениям (Product Lifecycle Management solution). Напряду с развитием базовых технологий (CAD\CAM\CAE … CA”x” – технологии и подсистемы [1]) для обеспечения интеграции САПР в единое информационное пространство стали использовать еще и специализированные средства для автоматизации технического документооборота и управления коллективной работой над проектами – PDM-системы (Product Data Management system) [2].

Успешное внедрение PLM-решений в сфере реального производства оказалось возможным на основе стандартизации технологий и средств информационного обмена и управления потоками работ, предусмотренных методологией CALS (Continuous Acquisition and Life cycle Support – непрерывное развитие и поддержка жизненного цикла продукции на основе новых информационных технологий). В России она получила обозначение ИПИ (методология информационной поддержки производства изделий) [3].

При всем разнообразии автоматизированных систем большинство специалистов, как в РФ, так и за рубежом, сходятся во мнении, что одним из основных сдерживающих факторов успешной реализации проектов внедрения АС являются «кадровые проблемы»

[3]. Поэтому не случайно в регламентированных процессах разработки и внедрения АС стандартами всех уровней (от корпоративных до международных) предусмотрен обязательный этап обучения персонала.

Все ведущие компании разработчики и интеграторы автоматизированных систем имеют в своем арсенале богатый спектр методического обеспечения учебного назначения (МтО): практические руководства и учебники, демонстрационные материалы, сборники упражнений. Выпускаются учебные версии прикладного программного обеспечения, проводятся многочисленные учебные семинары и вебинары, организуются постоянно действующие On-Line курсы, вводятся программы сертификации специалистов и пр. [1-3].

III. Виртуальные учебно-исследовательские предприятия

Проблема автоматизации обучения знаниям, в том числе и в области промышленной автоматизации, достаточно успешно решается с использованием универсальных технологий электронного обучения (E-learning), распространение которых обусловлено развитием электронных коммуникаций и массовых онлайн курсов. Но расплатой за интероперабельность технологий e-Learning становится отчуждение теоретических знаний от прикладных программ и практических компетенций пользователей, неразрывно связанных с производственной средой и спецификой предметной области автоматизации [5].

Для формирования умений и навыков автоматизированного проектирования (АПР), требуется разработка тренирующих методик учебного АПР, особая комплектация программно-технических средств, сборников учебных проектных заданий и других компонент МтО. В качестве средства для развития навыков комплексной проектной деятельности персонала АС предлагается использование технологий виртуальных предприятий (ВП), входящих в прикладной инструментарий методологии CALS [6].

Основной целью создания учебного виртуального предприятия является ускоренная подготовка специалистов способных эффективно действовать в условиях цифрового производства. Если с помощью учебников (или электронных курсов) можно получить необходимые хорошему специалисту теоретические знания, то практические навыки сформировать гораздо сложнее. Далеко не все действующие предприятия могут служить академическим образцом. Их еще надо модернизировать и внедрить новые цифровые технологии. Поэтому подготовка кадров для цифровой экономики должна вестись с опережением.

В том числе, ВП, функционирующее на базе образовательного заведения или учебных центров, созданных в корпорациях и компаниях-интеграторах АС [6], может использоваться в исследовательских целях – как своеобразный макет (электронный двойник), предназначенный для освоения новых технологий, и разработки экспериментальных изделий в проектах внедрения комплексных САПР на модернизируемых промышленных предприятиях.

С точки зрения системотехники учебно-исследовательское виртуальное предприятие (УИВП) представляет собой специализированное PLM-решение, реализующее специальную (тренирующую) методику учебного автоматизированного проектирования в интегрированной проектно-производственной информационной среде.

IV. Онтология учебного автоматизированного проектирования в среде УИВП

В едином информационном пространстве современного предприятия циркулирует множество информационных потоков, охватывающих проектно-производственные этапы жизненного цикла изделий. Для изделий машиностроения именно эти этапы являются самыми сложными и трудоемкими. Причем автоматизация технической подготовки производства коренным образом изменила саму методологию инженерной деятельности. В интегрированной САПР сначала строится геометрическая 3D-модель изделия, затем расчетные модели и программы для оборудования с цифровым управлением, формируется конструкторская и технологическая документация. На основе электронной проектной документации, автоматизируются процессы планирования и диспетчеризация производства. Персонал АС должен уметь комплексно решать все эти задачи.

Онтологический подход позволяет формализовать определенную область знаний, накопленных в науке и практике в виде концептуальной схемы. Схематически представленная семантическая сеть связывает по неким правилам систему понятий, определённых в данной предметной области, в том числе исходя из принятой там терминологии. При этом человеко-понятная прикладная онтология формируется, как правило, экспертами, автоматизировано с помощью специальных программных средств (онтологических редакторов), основываясь на субъективном представлении специалистов о конкретной предметной области. Таким образом, разработанные экспертами прикладные онтологии по своей природе неполны и отражают частные, выбранные для анализа аспекты предметной области. Весьма существенными представляются целевые установки создания онтологий.

В данной статье рассматривается проблема проведения онтологического анализа предметной области автоматизированного проектирования объектов машиностроения, с целью повышения эффективности интегрированных САПР за счет целенаправленной подготовки переподготовки проектного персонала комплексных автоматизированных систем. Подробно описывается разработанная авторами методика проведения онтологического анализа с целью формирования согласованной спецификации содержания предметной области обучения и учебного автоматизированного проектирования в среде УИВП технического вуза (в дальнейшем изложении будем называть ее онтологией УАПР).

На предварительном этапе разработки онтологии УАПР требуется подобрать релевантную предметной области и задачам онто-анализа команду экспертов, и с их помощью сформировать необходимую и достаточно полную базу первичных (не формализованных) онтологий. К проведению исследования были

привлечены следующие группы экспертов и соответствующие информационные ресурсы.

- Сотрудники одного из самарских машиностроительных предприятий с полным проектно-производственным циклом. В качестве корпуса первичной онтологической базы использованы действующие регламенты и должностные инструкции. Дополнительно проводилось оперативное обследование с анкетированием и интервьюированием ведущих специалистов, в том числе и по вопросам перспектив развития средств автоматизации.
- Со стороны академического сообщества были привлечены эксперты из числе профессорско-преподавательского состава технического вуза, обладающие многолетним опытом подготовки и переподготовки инженерных кадров в области САПР, как в стенах учебного заведения, так и на предприятиях – в проектах внедрения АС. В качестве первичной онтологии при этом использовались авторские учебные пособия, а также программы учебных курсов, рекомендованные компаниями производителями и интеграторами САПР.
- С целью расширения и актуализации первичной онтологической базы были использованы методические материалы движения WorldSkills по компетенции «Инженерный дизайн» (Mechanical Engineering Design – CAD). Конкурсы профессионального мастерства по современным инженерным компетенциям проводятся на международном (WSI), национальном (WSR) уровнях и опираются на проверенные многолетней практикой формализованные критерии оценки профессиональных знаний и умений практикующих специалистов. Экспертами в данном случае выступали участники и руководители команд (эксперты компатриоты), имеющие опыт разработки успешных решений.

В качестве инструментария исследования использован один из самых популярных в мире, свободно распространяемый онтологический редактор «Protégé», разработанный в Стэндфордском университете. Программой пакет позволяет создавать настраиваемые формы ввода данных, определять иерархии классов, отношения между классами и свойства этих отношений. Выбор инструментария исследования обосновывался также следующими обстоятельствами. Protege достаточно удобен для разработки явных моделей предметной области. При этом интерактивный редактор онтологий позволяет оперативно формировать большие отнографы со сложными иерархическими связями, разворачивая иерархическую структуру абстрактных или конкретных классов и слотов. На основе сформированной онтологии, Protege может генерировать различные формы получения знаний для введения экземпляров классов и подклассов. Следует заметить, что в открытой версии Protege логические связи устанавливаются экспертом без использования машины вывода, что делает работу более трудоемкой, но при этом не накладывает ограничений на процесс и предмет метамоделирования в исследовательских проектах. В качестве инструментария анализа исследователю предоставлены возможности по классификации и селекции онтографа по заданным условиям.

На первом этапе исследования по результатам обследования предприятия был построена таксономия, названная графом профессиональных связей. На рис. 1, в качестве примера отображена структура семантических отношений специалистов конструкторско-технологического отдела.

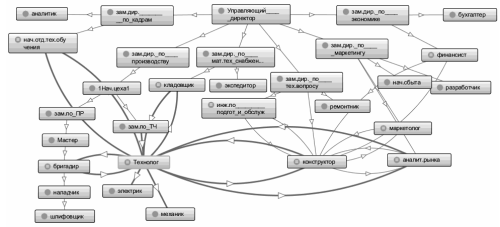


Рис. 1. Граф профессиональных связей

В качестве объектов (поименованных в вершинах графа) использованы названия должностей, но отношения между ними определялись в соответствии с профессиональным когнитивными связями, устанавливаемыми между пользователями в процессе решения производственных задач в составе автоматизированной системы. Обследование позволило констатировать существенные отличия формальной организационной структуры, указанной в регламентах, от реальных информационных потоков, циркулирующих в бизнес процессах предприятия.

Граф должностных обязанностей специалиста по технологическому обеспечению, приведённый на рис. 2, наглядно демонстрирует сложную структуру интегральных компетенций специалиста, включенного в деятельность комплексной АС.

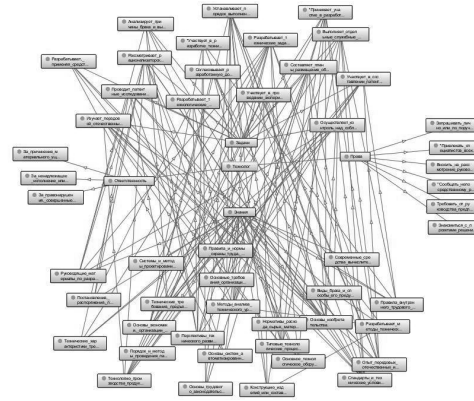


Рис. 2. Граф должностных компетенций инженера технолога

Селекция и сравнительный анализ онтографов, отражающих различные аспекты деятельности пользователей АС, экспертами позволяет выявить прямые и опосредованные профессиональные связи и с

учетом этого установить границы и содержательное наполнение областей компетенции отдельных профессиональных групп и их сочетаний. На рис 3 показан фрагмент онтографа компетенций, в котором установлены семантические отношения, возникающие на стыке конструкторской и технологической подготовки производства в процессе инженерной отработки конструкции на технологичность.

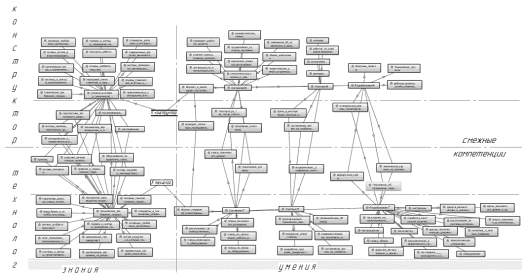


Рис. 3. Фрагмент онтографа кометенций взаимодейсвия констуктора и технолога в среде УИВП

Экспертами были выделены отдельно «знаниевые» и «навыковые» компоненты компетенций конструктора и технолога. К знаниевым относится формализуемая часть компетенций пользователя АС, представленных в виде текстов, таблиц, чертежей и иных технических документов. Навыковыми будем называть трудно формализуемые компоненты профессиональных компетенций (называемых иначе умениями – skills), определяемые как способность к решению практических задач. В экспертных опросных листах (по аналогии с регламентами WorldSkills) они формулируются соответственно как «пользователь должен знать …» и пользователь должен уметь …».

Введем еще один слот отношений, задающий уровень освоения компетенции. Для разных профессий могут требоваться различный уровень умений, как впрочем, и глубина знаний, который хорошо коррелируется с такими показателями онтологического анализа как иерархия профессиональных связей и смежность компетенций. На рис 4. Показаны графики смежности компетенций автоматизированного рабочего места конструктора и технолога.

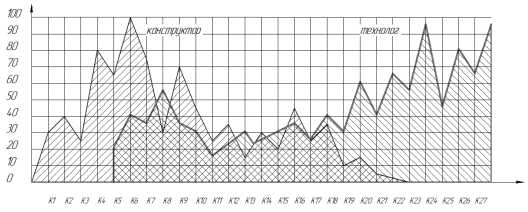


Рис. 4. График смежности компетенций

На графике выражены области персональной и коллективной ответственности. И соответственно разнятся уровни компетенций, необходимых различным группам пользователей при выполнении своих профессиональных обязанностей.

Умения персонала автоматизированной системы обладают особыми семантическими характеристиками, подразумевающими способности пользователя к выполнению неких целенаправленных действий в среде АС, которые должны быть сформированы заранее и доведены до заданного навыкового уровня. Именно от умений персонала в первую очередь зависит производительность труда и соответственно общая эффективность АС. При этом тот же пользователь должен владеть семантически связанной с умениями информацией (знаниями). Контекстно-зависимый доступ к формализованным знаниям может быть обеспечен при посредстве информационно-консультирующих подсистем, в том числе наделённых элементами искусственного интеллекта.

V. Заключение

В статье предложена новая целевая методика проведения онтологического анализа предметной области автоматизированного проектирования. Целевыми установками онтоанализа является выявление релевантного комплекса компетенций проектного персонала интегрированных САПР.

Использование в качестве организационно-методической основы онтологического анализа учебно-исследовательских виртуальных предприятий позволяет выделить и классифицировать когнитивные профессиональные связи персонала АС.

В процессе анализа производится селекция знаниевых и навыковых компонент профессиональных компетенций обладающих различными дидактическими свойствами и механизмами реализации обучения.

Формализованная методика целевого онтологического анализа и выявленные в процессе исследований закономерности позволят сформулировать правила и алгоритмы для настройки машин вывода в коммерческих версиях онтологических редакторов, с целью автоматизации формирования групповых и индивидуальных траекторий подготовки персонала АС в проектах их внедрения и модернизации.

Список литературы

[1] Engineers' CAx education – it's not only CAD / C.W. Dankwort, R. Weidlich, B. Guenther et al. / Computer-Aided Design, № 36 (2004), p. 1439 – 1450.

[2] Черепашков, А.А. Компьютерные технологии, моделирование и автоматизированные системы в машиностроении: учебник / А.А Черепашков, Н.В.Носов.— СПб: Проспект науки, 2018.— 650 с.

[3] Электронная энциклопедия PLM [Электронный ресурс].— URL: http://plmpedia.ru/ (03.04.19)

[4] CHAOS Report. The Standish Group International, Inc., 2011 -2015 [Electronic resource].— URL: https://www.standishgroup.com/

[5] Черепашков, А.А. САПР/ИПИ-технологии в сквозной инженерно-графической подготовке студентов технических вузов. Компьютерная интеграция производства и ИПИ-технологии: матер. Всерос. науч.-практ. конф. – Оренбург: ОГУ, 2017. – С. 125 – 129.

[6] Черепашков, А.А. Учебное виртуальное предприятие на платформе Комплекса решений АСКОН (разработка и внедрение) / А.А Черепашков, А.В.Букатин.—СПб.: АСКОН, – 144 с. – [Электронный ресурс] Режим доступа: https://edu.ascon.ru/main/download/software/?cat=43 (4.04.19).

Интеллектуальная система для ресурсосберегающего управления ремонтами огнеупорной футеровки кислородного конвертера

Чистякова Т.Б.
Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет)
Санкт-Петербург, Россия
chistb@mail.ru

Новожилова И.В.
Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет)
Санкт-Петербург, Россия
novozhilova@bk.ru

***Abstract* — The article presents the structure of the intellectual system, which allows to estimate the ratio of the thickness of the residual refractory layer and the repair layers, based on the information model of the steelmaking process, as a criterion for the safe operation of the converter lining. The intellectual system is based on information support, including a database of technological process parameters, a knowledge base of safe criteria for the converter process, a database of laser scanning results, a database of hot repair type selection rules, a database of rules for displaying information about scan analysis results. Information support is configured for various modes of operation of the control object by changing the ranges of the corresponding parameters. This ensures the adaptation of the system to various modifications of the control object. Testing of the intellectual system confirmed its operability and the possibility of using the operator as an adviser in metallurgical enterprises for making decisions on the operation of the refractory lining of steel-making converters.**

Ключевые слова — ресурсосберегающее управление, интеллектуальная система, конвертерное производство стали, огнеупорная футеровка, горячие ремонты

I. Введение

Для обеспечения длительной безаварийной эксплуатации сталеплавильных конвертеров необходим непрерывный мониторинг состояния огнеупорной футеровки с целью своевременного обслуживания агрегата и проведения ремонтных работ в случае необходимости. Рабочий слой футеровки конвертера выполняют из периклазоуглеродистых огнеупоров, состав и свойства которых подбирают с учетом интенсивности действующих на огнеупор факторов, экономических показателей и сбалансированности сроков эксплуатации по зонам футеровки (зоне шлакового пояса, зоне загрузки, зоне слива и зоне цапф). Во всех зонах огнеупоры подвержены термическим ударам различной интенсивности и воздействиям переменной по составу газовой среды. Срок эксплуатации рабочего слоя футеровки конвертера зависит не только от свойств периклазоуглеродистых огнеупоров, технологических параметров плавки, но и существенным образом зависит от организационно-технических мероприятий и методов ухода за футеровкой в течение кампании. Для повышения стойкости футеровки конвертеров и увеличении числа плавок в ходе одной кампании значимую роль имеют современные методы контроля ее состояния с составлением профиля футеровки и определении степени ее износа [1-4]. Оценка площади и объёма выявленных мест повышенного локального износа футеровки производится с помощью анализа сканограмм, представляющих собой развернутое изображение рабочего слоя футеровки, остаточная толщина которого кодируется в виде цветовой гаммы. Полученные результаты пиксельного интегрирования сканограмм с учетом реального масштаба к футеровке конвертера позволяют определить необходимый расход ремонтных материалов при проведении горячих ремонтов огнеупорной футеровки методами полусухого или факельного торкретирования, а также подварки [1].

Таким образом, разработка интеллектуальной системы, позволяющей на базе информационной модели сталеплавильного процесса оценивать соотношение толщин остаточного слоя огнеупора и ремонтных слоев, как критерия безопасной эксплуатации футеровки конвертера, является актуальной и экономически обоснованной задачей. Основу интеллектуальной системы составляет информационное обеспечение, включающее базу данных технологических параметров, базу знаний критериев безопасного ведения конвертерного процесса, базу данных результатов лазерного сканирования, базу правил выбора типа горячего ремонта, а также базу правил вывода информации о результатах анализа сканограмм. Информационное обеспечение настраивается на различные режимы функционирования объекта управления путем изменения диапазонов соответствующих параметров, что обеспечивает адаптацию системы на различные модификации объекта управления. Интеллектуальная система может быть использована на сталеплавильных производствах, имеющих как малые, так и сверхкрупные конвертеры емкостью 300 тонн и более (Череповецкий, Магнитогорский, Новолипецкий и Западносибирский металлургические комбинаты).

II. Описание объекта исследования

Методика определения общего износа огнеупорной футеровки кислородного конвертера основана на принципе попиксельного сканирования полученной лазерной сканограммы в соответствии с имеющейся градацией оттенков, принятых для обозначения

©2019 ИПУСС РАН, СамГТУ, IEEE

остаточной толщины огнеупорного рабочего слоя футеровки. Как правило, холодные оттенки, начиная от синего, означают неизменённую стартовую толщину огнеупора, тёплыми оттенками (до красного) обозначаются участки с предельным износом рабочего слоя футеровки до нулевой остаточной толщины рабочего периклазоуглеродистого слоя. Белые пятна означают не отсканированные участки футеровки. Расчет цветовых отклонений на изображении рабочего слоя футеровки осуществляется по модели цветового пространства CIELab, применяемой в программном обеспечении для обработки изображений в качестве промежуточного цветового пространства.

Локализация мест повышенного износа огнеупорной футеровки заключается в поиске участков рабочего слоя, остаточная толщина которых меньше полученного усредненного значения. Оценка площади и объёма выявленных мест повышенного локального износа рабочего слоя футеровки производится с помощью пиксельного интегрирования сканограммы с учетом её реального масштаба к футеровке конвертера. Полученные результаты позволяют определить расход ремонтных материалов при проведении горячих ремонтов огнеупорной футеровки конвертера методами полусухого или факельного торкретирования, а также подварки [5-7]. Таким образом, информационное описание процесса определения общего износа огнеупорной футеровки кислородного конвертера можно представить в виде совокупности векторов: $X = \{Sector, c, L_{i,j}\}$ – вектор входных параметров, где *Sector* – название сектора; c – цветовая характеристика; $L_{i,j}$ – толщина слоя футеровки в каждом пикселе, из которых состоит сканограмма футеровки кислородного конвертера, мм; $Y = \{n, L_{ср}, I, F, R, S, m\}$ – вектор выходных параметров объекта исследования, где n – процентное соотношение цветов, %; $L_{ср}$ – средневзвешенная остаточная толщина рабочего слоя, мм; I – степень износа огнеупорного слоя футеровки; F – состояние слоя футеровки; R – вид ремонта; S – площадь поврежденного участка футеровки, м^2; m – количество ремонтной массы, кг. Полученные оценки усреднённой остаточной толщины рабочего слоя футеровки конвертера, площади, объёма и дислокации мест повышенного локального износа футеровки в течение кампании (нескольких кампаний) позволяют определить закономерности разрушения и проанализировать качество огнеупорной футеровки конвертера.

С учетом представленного информационного описания задача ресурсосберегающего управления ремонтами огнеупорной футеровки кислородного конвертера сформулирована следующим образом: для заданных входных параметров $\{Sector, c, L_{i,j}\}$ необходимо определить процентное соотношение цветов на сканограмме футеровки кислородного конвертера, степень ее износа, состояние слоя футеровки, вид ремонтных работ (в случае необходимости) $\{n, L_{ср}, I, F, R\}$, а также рассчитать количественные характеристики поврежденных участков футеровки кислородного конвертера $\{S, m\}$.

III. Функциональная структура и алгоритм работы интеллектуальной системы

Для решения поставленной задачи ресурсосберегающего управления ремонтами огнеупорной футеровки кислородного конвертера предложена функциональная структура интеллектуальной системы, представленная на рис. 1. Ядром системы является нейро-нечеткая модель, позволяющая анализировать результаты лазерного сканирования за текущую кампанию футеровки конвертера с учетом выбора типа горячего ремонта. В качестве метода моделирования динамики износа футеровки конвертера использован метод искусственных нейронных сетей, обладающий более низкой трудоемкостью подготовки рекомендаций *RC* по эксплуатации футеровки конвертера и высокой точностью в соотношении с работой оператора по ручному анализу сканограмм.

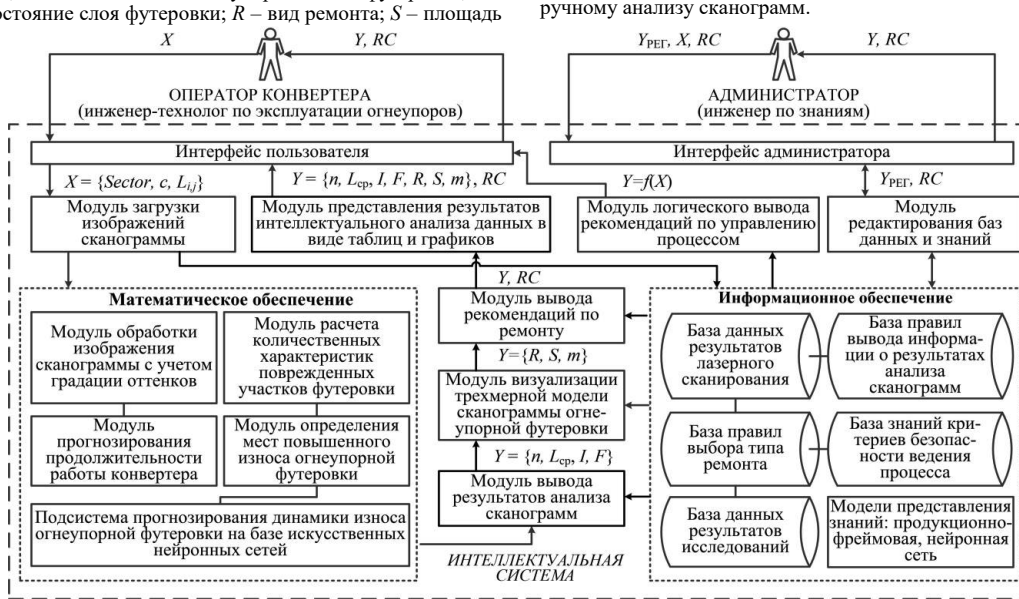


Рис. 1. Функциональная структура интеллектуальной системы

Процесс подготовки рекомендаций *RC* по управлению ремонтами огнеупорной футеровки кислородного конвертера состоит из двух этапов:

1. Генерация изображений с указанием даты, времени и номера плавки, а также степени износа рабочего слоя футеровки. На работу конвертера накладывается ограничение по эксплуатации при остаточном слое футеровки менее 40% от начального состояния. Дальнейшая эксплуатация агрегата опасна. Ключевой характеристикой процесса генерации изображений является учет момента произведения ремонтных работ и их качества, определяющего дальнейший этап жизненного цикла конвертера для каждой из зон повышенного износа. В качестве результата работы алгоритма представляется модель, описывающая наиболее продуктивный жизненный ресурс по количеству плавок металла, при проведении или отсрочке ремонтных работ с многообразием возможных вариантов.

2. Результатом обучения нейронной сети является получение модели синоптических нейронных связей, построенных на основании анализа жизненного цикла сталеплавильного конвертера. В качестве входных данных выступает вектор сигналов, полученных на первом этапе с применением нормирования. Алгоритм обучения преобразует изображения в числовой массив в диапазоне от 0 до 1 на основании данных трехмерного пространства: два измерения – это длина и высота участка изображения, а третье измерение – глубина, характеризующая остаточную толщину рабочего слоя огнеупорной футеровки, значения которой принадлежат к диапазону [100; 900] мм.

Характеристикой входных параметров при обучении нейронной сети выступает множество пар векторов: $\{x_n, d_n\}$, $n = 1...N$, где x_n – формализованное условие задачи; d_n – известное решение для этого условия. Совокупность пар $\{x_k, d_k\}$ составляет обучающее множество, где k – количество элементов множества, которое должно быть достаточным для формирования набора параметров сети, дающих нужное отображение $X \rightarrow Y$. В процессе обучения нейронная сеть меняет свои параметры и выдает нужное отображение $X \rightarrow Y$, где $X = \{Sector, c, L_{i,j}\}$ и $Y = \{n, L_{ср}, I, F, R, S, m\}$.

Таким образом, результатом работы нейронной сети является выявление закономерностей разрушения и определение износа футеровки сталеплавильного конвертера. На основании последующих получаемых данных об остаточных толщинах рабочего слоя футеровки конвертера результирующая модель перенастраивается [8].

С учетом использования продукционно-фреймовой модели представления знаний о горячих ремонтах интеллектуальная система выдает рекомендации о типе необходимого ремонта и расходе ремонтных материалов. На рис. 2 представлен алгоритм функционирования интеллектуальной системы.

Предложенный алгоритм позволяет определять среднюю остаточную толщину рабочего слоя футеровки конвертера, локализовать места повышенного износа, определять их площадь и объём, рекомендуемый расход ремонтных материалов, а также вести журнал общего и локального износа огнеупорной футеровки конвертера.

Рис. 2. Блок-схема алгоритма функционирования интеллектуальной системы для управления ремонтами футеровки конвертера

Полученные оценки могут быть использованы для получения статистических данных и выявления закономерностей разрушения футеровки конвертера, а также сравнительного анализа качества различных огнеупоров. Основные места повышенного локального износа огнеупорной футеровки конвертера – зоны загрузки шихты и слива металла вблизи лётки (сталевыпускного отверстия), а также цапфенные зоны.

Повышенный износ огнеупоров рабочего слоя в зоне загрузки развивается на первом этапе эксплуатации футеровки конвертера (в течение первых 1000 плавок), в результате интенсивного механического воздействия загружаемой шихты, особенно металлического лома. Динамика развития области локального износа в зоне загрузки имеет линейный характер, и в течение первой 1000 плавок максимальная глубина износа огнеупора рабочего слоя может достигнуть 75 %. Динамика развития области повышенного локального износа в зоне слива несколько ниже. В ходе кампании футеровки конвертера, зоны загрузки и слива подвергаются периодическим горячим ремонтам методом подварки. Износ огнеупора рабочего слоя и ремонтных слоёв в этих зонах не допускается ниже уровня средней остаточной толщины рабочего слоя огнеупорной футеровки конвертера.

Динамика развития повышенного локального износа цапфенных зон значительно ниже на начальном этапе кампании футеровки конвертера, но существенно ускоряется с середины кампании (1500 – 3000 плавка). С началом применения методов ухода за цапфенными зонами футеровки конвертера методом факельного торкретирования скорость их износа существенно замедляется. Стойкость огнеупорной футеровки конвертера напрямую зависит от интенсивности торкретирования за кампанию конвертера.

Результаты тестирования интеллектуальной системы представлены на примере анализа сканограммы после 2100 плавок, $L_{ср}$=524 мм. Полученные результаты обработки и интеллектуального анализа изображения сканограммы приведены в таблице 1. Обработка сканограммы показала, что зоне загрузки требуется подварка для площади повышенного локального износа 0,5 м^2, для чего необходимо 784,5 кг ремонтной массы. В этом случае в зоне загрузки повышенный локальный износ очень небольшой площади, поэтому рекомендуется проводить ремонт только зоны слива и зоны цапф. Зоне слива требуется подварка для площади повышенного локального износа 10 м^2, для чего необходимо 6930 кг ремонтной массы. Для зоны северной цапфы требуется факельное торкретирование для площади повышенного локального износа 7 м^2, для чего необходимо 1553 кг ремонтной массы. Для зоны южной цапфы требуется факельное торкретирование для площади повышенного локального износа 7 м^2, для этого необходимо 1570 кг ремонтной массы.

ТАБЛИЦА I. РЕЗУЛЬТАТЫ ТЕСТИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ

№ пятна	Зона ремонта	Метод ремонта	Количество ремонтной массы, кг
1	Загрузка	Подварка	374,2
2	Северная цапфа	Факельное торкретирование	1553
3	Слив	Подварка	6825,6
4	Слив	Подварка	103,3
5	Южная цапфа	Факельное торкретирование	1570,1
6	Загрузка	Подварка	410,3

На рис. 3 приведен пример интерфейса системы и рекомендациями по ремонту на примере сканограммы после 1000 плавок, $L_{ср}$=820 мм.

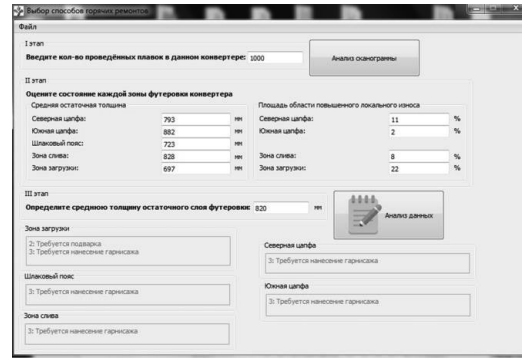


Рис. 3. Пример интерфейса системы

IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Интеллектуальная система для ресурсосберегающего управления ремонтами огнеупорной футеровки кислородного конвертера имеет адаптивную гибкую архитектуру, благодаря которой поддерживается расширение функциональности за счет разработки и подключения дополнительных программных модулей [9, 10]. Использование системы на сталеплавильных производствах позволяет повысить ресурс безаварийной работы тепловых агрегатов, снизить временные затраты на обработку результатов лазерного сканирования и исследований рабочего слоя огнеупорной футеровки, а также повысить профессиональный уровень управленческого и производственного персонала сталеплавильного производства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

[1] Суворов С.А., Козлов В.В. Эксплуатация футеровок и конструкций, выполненных из огнеупорных материалов. СПб. : СПбГТИ(ТУ), 2011. 147 с.

[2] Slovikovskii V.V., Gulyaeva A.V. Refract Ind Ceram (2018) 59: 10. https://doi.org/10.1007/s11148-018-0173-9

[3] Wędrychowicz M., Bydałek A.W., Basiura, B. (2018). Analysis of slag activity on corrosion of ceramic materials in a slurry furnace. Archives of Foundry Engineering. 18. 95-100. 10.24425/123609.

[4] Suvorov S.A., Kozlov V.V. Refract Ind Ceram (2014) 55: 114. https://doi.org/10.1007/s11148-014-9671-6

[5] Серова Л.В., Чудинова Е.В., Хороших М.А. Разработка критериев оценки качества периклазоуглеродистых огнеупоров и их влияние на повышение стойкости футеровок конвертеров // Черные металлы. 2015. № 5 (1001). С. 21-23.

[6] Kumar D.S., Prasad G., Vishwanath S.C., Ghorui P.K., Mazumdar D., Ranjan M., Lal P.N. (2013) Converter life enhancement through optimisation of operating practices, Ironmaking & Steelmaking, 34:6, 521-528, doi: 10.1179/174328107X203903

[7] Liu C., Tang L., Liu J., Tang Z. A Dynamic Analytics Method Based on Multistage Modeling for a BOF Steelmaking Process, in IEEE Transactions on Automation Science and Engineering. doi: 10.1109/TASE.2018.2865414

[8] Galkin A., Sysoev A., Saraev P. Variable structure objects remodelling based on neural networks, 2017 ICIEAM, St. Petersburg, 2017, pp. 1-4. doi: 10.1109/ICIEAM.2017.8076430

[9] Чистякова Т.Б., Кудлай В.А., Новожилова И.В., Суворов С.А., Козлов В.В. Система поддержки принятия решений по эксплуатации огнеупорной футеровки сталеплавильных конвертеров // Известия СПбГТИ(ТУ). 2016. № 37 (63). с. 60-66.

[10] Chistyakova T.B., Kudlay V.A., Novozhilova I.V. Intelligent system for modeling the wear-and-tear dynamics of steelmaking converter lining, 2017 XX IEEE International Conference on SCM, St. Petersburg, 2017, pp. 259-261. doi: 10.1109/SCM.2017.7970554

Обнаружение нечетких дубликатов текстов в больших массивах информации

Шарапова Е.В.
Муромский институт, Владимирский государственный университет
Муром, Россия
mivlgu@mail.ru

Шарапов Р.В.
Муромский институт, Владимирский государственный университет
Муром, Россия
info@vanta.ru

***Abstract* — Fuzzy duplicates are texts that have undergone some adjustments and modifications, but retain a semantic similarity with the originals. The problem arises of detecting texts that are significantly similar to each other (fuzzy duplicates) when building plagiarism search systems, news aggregators and other intelligent systems. Currently, a number of methods have been developed to detect such documents. However, these methods allow either to quickly detect similar documents with a decrease in accuracy, or to search with high accuracy, but for an unacceptably long time. The work is devoted to the development of methods for fuzzy duplicates detection that provide work with large amounts of information with minimal time and high search accuracy.**

Ключевые слова — дубликат, нечеткий дубликат, текст, сигнатура, документ, совпадение

I. Введение

Нечеткие дубликаты представляют собой тексты, подвергшиеся некоторой корректировке и видоизменению, но сохранившие смысловое сходство с оригиналами.

Существует большой круг задач, требующих обнаружения текстов с похожим содержанием. Системы поиска плагиата активно используются в издательствах и учебных учреждениях. Системы проверки уникальности текстов используются при заказе услуг копирайтеров. Новостные агрегаторы определяют похожие новости, группируют их в единые цепочки и удаляют дубли. Системы борьбы с почтовым спамом отслеживают появление большого количества электронных писем со схожим содержанием. По этой причине задача обнаружения текстов, значительно похожих друг на друга (нечетких дубликатов) является достаточно актуальной.

II. Методы обнаружения нечетких дубликатов

Обнаружению похожих текстов посвящено множество работ. Одним из самых популярных методов является метод шинглов, когда цепочки из нескольких слов (обычно 5) сцепляются в строку, для которой вычисляется хэш-код [1]. Полученный таким образом набор хэш-кодов представляет собой описание содержания документа. Сравнение наборов хэш-кодов для различных документов позволяет оценить меру их близости – чем большее количество хэш-кодов совпадает, тем больше документы похожи друг на друга. Основным недостатком метода является прямая зависимость числа сравнению групп хэш-кодов от их количества. Например, если первый документ представлен m хэш-кодами, а второй n, то число операций сравнения будет лежать в диапазоне от m до $m \times n$. Учитывая, что даже небольшие документы включают тысячи слов, то число операций сравнения для двух документов будет исчисляться миллионами [2].

Современные коллекции содержат в себе сотни тысяч, а иногда миллионы документов. Это означает, что число операций сравнения одного документа с текстовой коллекцией будет исчисляться триллионами операций! Это слишком много для того, чтобы обеспечить высокое быстродействие. Несмотря на то, что существуют подходы, позволяющие сократить число операций сравнения на несколько порядков (например, рассматривая только шинглы, делящиеся без остатка на некоторое число), время сравнения все равно остается слишком большим [3]. Похожая ситуация наблюдается при использовании поиска с помощью n-грамм [4]. В случае использования n-грамм размером в несколько символов, количество операций сравнения будет существенно больше, чем в методе шинглов.

Аналогичная проблема возникает при представлении документов с помощью векторов, содержащих значения TF*IDF каждого терма из словаря [5, 6]. Дело в том, что словарь, построенный по коллекции, может содержать более ста тысяч термов, и размер вектора будет достаточно большим. В отличие от метода шинглов, размеры TF*IDF вектора для каждого документа будет неизменным, а сам вектор будет сильно разреженным (содержать 0 для слов, не входящих в документ). Тогда число операций сравнения будет равно размеру словаря.

Интерес представляет использование подходов, позволяющих осуществлять поиск подобных документов с минимальным числом операций сравнения. Этого можно достичь путем использования различного рода сигнатур, описывающих содержание документа в виде одного или группы чисел [7].

III. Сигнатурные методы обнаружения дубликатов текстов

Суть сигнатурных методов сводится к представлению документа неким кодом (хэш-функцией, числом, контрольной суммой), позволяющим с высокой степенью вероятности выявить одинаковые (или практически одинаковые) документы [8, 9]. Фактически, сравнение документов сводится к сравнению нескольких чисел – сигнатур документов. Это существенно сокращает потребности памяти и вычислительные затраты. Отличительная особенность сигнатур – это возможность подсчета их в любое время, в том числе заранее, а не в момент проверки.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-07-00692.

©2019 ИПУСС РАН, СамГТУ, IEEE

A. SigHash

Наиболее простой способ сравнения двух документов – это подсчет контрольных сумм каждого документа. Для этого можно использовать алгоритм MD5 или CRC32 [10]. Очевидно, что документы с одинаковым содержанием будут иметь одинаковую контрольную сумму. Иногда документы содержат различные стили форматирования, знаки переносов, лишние пробелы и т.д. По этой причине лучшим вариантом будет исключение из текста документа всех элементов оформления, в том числе знаков пунктуации, спецсимволов и т.д., то есть подсчет контрольных сумм только по содержательной части. Указанный способ наиболее подходит для полностью идентичных документов (полных дубликатов).

B. SigTF

Еще один способ подсчета сигнатур [11] основан на подсчете частоты встречаемости слов в документе TF.

$$tf(t) = \frac{n_t}{\sum_k n_k} \tag{1}$$

где n_t – число вхождений слова t в документ,

$\sum_k n_k$ – общее количество слов в документе.

Сигнатура строится по нескольким (5 или 6 [11]) наиболее частотным словам. В качестве сигнатуры используется контрольная сумма CRC32 строки, состоящей из выбранных слов, упорядоченных по алфавиту.

C. SigTFIDF

Немного более сложная версия сигнатуры предполагает подсчет веса слов не по формуле TF, а по формуле TF*IDF [12]. В данном случае учитывается не только частота слов в документе (TF), но и общая встречаемость слов во всех документах коллекции (IDF).

$$idf(t) = \log \frac{|D|}{\left|\{d_i \in D | t \in d_i\}\right|} \tag{2}$$

где |D| – число документов в коллекции,

$\left|\{d_i \in D | t \in d_i\}\right|$ – число документов, в которых встречается слово t.

Для подсчета сигнатуры, подсчитывается вес каждого слова, путем вычисления $tf(d) \times idf(t)$ и выбираются несколько слов с наибольшим весом. Сигнатура вычисляется как контрольная сумма CRC32 строки, состоящей из выбранных слов, упорядоченных по алфавиту.

D. SigTFRIDF

Хорошо зарекомендовала себя сигнатура, построенная на основе комбинации частоты слов TF и остаточной обратной частоты документов RIDF [13].

$$ridf(t) = \log \frac{|D|}{\left|\{d_i \in D | t \in d_i\}\right|} + \log\left(1 - e^{-c_t/|D|}\right) \tag{3}$$

где c_t – суммарная частота слова в коллекции.

Для подсчета сигнатуры, аналогично предыдущему способу, подсчитывается вес каждого слова по формуле $tf(d) \times ridf(t)$, выбираются несколько слов с наибольшим весом, слова упорядочиваются по алфавиту и сцепляются в строку, для которой вычисляется контрольная сумма CRC32.

E. SigTFIDFOpt

Сигнатура является модифицированной версией сигнатуры SigTFIDF. Модификация заключается в изменении принципа подсчета значения IDF на основе так называемой «оптимальной частоты» [11]. Предполагается, что оптимальное вхождение слова составляет 10 документов из 1000000. Подставив эти значения в (2) при использовании натурального логарифма, получаем оптимальное значение IDF 11.5. При значениях IDF меньше оптимального, значение IDF увеличивается:

$$idf_{opt}(t) = \sqrt{\frac{idf(t)}{11.5}} \tag{4}$$

При значении IDF более оптимального, значение IDF уменьшается:

$$idf_{opt}(t) = \frac{11.5}{idf(t)} \tag{5}$$

Для подсчета сигнатуры, аналогично SigTFIDF, для каждого слова определяются значения $tf(d) \times idf_{opt}(t)$, несколько слов с наибольшим весом упорядочиваются по алфавиту, сцепляются в одну строку, по которой вычисляется контрольная сумма CRC32.

F. SigLongString

Сигнатура, построенная на основе двух самых длинных предложений, позволяет довольно хорошо находить похожие документы [11]. Для этого в тексте находятся два самых длинных предложения и сцепляются в одну строку в алфавитном порядке. Для строки подсчитывается контрольный код CRC32, который и является сигнатурой. Надо заметить, что при неправильном определении границ предложений (например, при переносах на другую страницу или для больших списков) сигнатура может не определить похожие документы.

G. SigHeavyString

Сигнатура двух самых «тяжелых» предложений строится по аналогичному принципу [11]. Из текста выбираются два предложения. Но предложения выбираются на основе суммы весов (рассчитываемых по формуле $tf(d) \times idf(t)$) входящих в нее слов. Два предложения с наибольшей суммой весов упорядочиваются по алфавиту, сцепляются в одну

строку, для которой подсчитывается контрольный код CRC32.

H. SigI-Match

Сигнатура строится на основе вычисления значения функции I-Match, предложенной в [14, 15]. Для всей коллекции документов составляется словарь (список) слов, имеющих среднее значение IDF (слова со слишком большими или маленькими значениями IDF в список не включаются). Для каждого документа формируется множество слов и определяется его пересечение со словарем. При превышении пересечением некоторого порога, для множества слов вычисляется хеш-функция SHA1 (I-Match сигнатура).

Рассмотренные сигнатуры позволяют представить документ одним числовым значением. Понятно, что чем меньше сигнатура, тем менее она подходит для определения нечетких дубликатов текстов. Причина проста – если изменения в тексте сказываются на результирующем значении сигнатуры, то оценить меру похожести текстов уже не удастся. Решением проблемы может являться расширение сигнатуры, то есть включение в нее ограниченного ряда значений неких показателей. В этом случае, похожесть документов может определяться как некая мера (функция) близости двух сигнатур. Чаще всего это совпадение части значений сигнатур похожих документов.

Надо заметить, что длина сигнатур должна быть, по возможности, фиксированной и не превышать нескольких килобайт. Дело в том, что при различной длине сигнатур усложняется функция вычисления их близости, а при большой длине – повышается трудоемкость вычислений.

I. SigMegaShingles

Для вычисления сигнатуры для всего множества шинглов документа [1] производится вычисление 84 различных хэш-функций. Далее по критерию максимума или минимума каждой функции выбираются 84 шингла, которые разбиваются на 6 групп, по каждой из которых строятся 6 супершинглов [16]. Сигнатура состоит из 15 чисел (мегашинглов), представляющих собой все возможные парные сочетания указанных 6 супершинглов.

J. SigMegaShinglesSmall

Сигнатура аналогична SigMegaShingles, но выбираются не 84, а 36 шинглов, по которым строятся 15 мегашинглов. По исследованиям [11] это позволяет повысить полноту нахождения нечетких дубликатов.

K. SigI-MatchBig

Сигнатура строится на основе сигнатуры I-Match, но с рядом модификаций. Суть из сводится к следующему: в дополнение к функции I-Match вычисляются 10 дополнительных функций I-Match, построенных для десяти модифицированных словарей. Модификации заключаются в том, что из основного словаря в произвольном порядке удаляется треть слов. В итоге сигнатура включает в себя значения 11 функций I-Match. Такая модификация позволяет достичь высокого значения полноты поиска дубликатов.

L. SigDescrWords

Неплохие результаты показала сигнатура, построенная на основе словаря опорных слов [17]. Суть ее сводится к следующему. Из всего словаря, построенного по коллекции, выбираются несколько тысяч слов, наиболее качественно описывающих документы. Для каждого документа высчитывается бинарный вектор, длина которого равна количеству опорных слов. Для каждого опорного слова подсчитывается значение TF. В случае, если значение превышает некоторый порог, в соответствующую позицию вектора записывается 1, в противном случае 0. Сигнатура документа представляет собой указанный бинарный вектор. В отличие от ранее описанных сигнатур, мера схожести документов вычисляется как мера совпадения бинарных векторов (при этом совпадение не обязательно должно быть полным). Сигнатура отличается большой длиной. Так, для 4000 опорных слов длина сигнатуры составляет 500 байт. Фактически сигнатура SigDescrWords является результатом фиксации векторной модели по длине словаря. Тем не менее, она сохраняет суть сигнатур – представление документа числовым значением фиксированной длины.

В ряде работ предлагается использовать наборы из нескольких значений сигнатур, подсчитанных описанными выше способами. Например, в [11] предлагается использовать сочетание сигнатур трех наиболее длинных предложений и пяти самых длинных слов. Возможно разбиение документа на несколько частей (например, 4, 8 или 10) и подсчета для каждой из частей любой из вышеприведенных сигнатур. Тогда итоговая сигнатура документа будет представлять собой набор значений сигнатур, подсчитанных для каждой части.

IV. Метод обнаружения нечетких дубликатов текстов в больших массивах информации

В связи с тем, что большинство сигнатур описывает содержание документов, то изменение текста может существенно снизить возможность их использования, так как вероятность того, что изменения повлияют на значение сигнатуры – достаточно велика. По этой причине, для обнаружения нечетких дубликатов, лучше всего подходят составные сигнатуры, позволяющие определить схожие документы по частичному совпадению значений сигнатур.

В ходе экспериментов был предложен следующий метод. По аналогии с SigDescrWords составляется словарь опорных слов фиксированной длины. Надо заметить, что для новостных сообщений словарь опорных слов требует расширения для учета наименований объектов, стран, фамилий политиков и т.д. Дело в том, что часто новостные сообщения имеют небольшую длину и состоят из общеупотребимых слов, которые как раз и исключаются из словаря опорных слов. Так как для учета наименований используются другие правила, чем для словаря опорных слов, наименования лучше вынести в отдельный словарь наименований. Таким образом, для коллекции документов строятся два словаря – опорных слов и наименований.

Для каждого документа строится бинарный вектор, учитывающий вхождение опорных слов в документ с учетом пороговых значений вхождения (аналогично SigDescrWords) и бинарный вектор наименований, содержащий для каждого наименования значение 1, если наименование содержится в документе, и 0 – если нет.

Надо заметить, что при расширении словаря сигнатуры просто перезаписываются с добавлением в конце нулевых значений. Другими словами, полный пересчет сигнатур для всей коллекции не требуется.

В качестве меры схожести может быть использовано количество совпадающих ненулевых значений в векторах документов, соотнесенное к общему количеству ненулевых элементов в этих векторах. Мера близости двух документов может быть представлена в следующем виде:

$$w(d_1,d_2) = 2\frac{\left|\{t_i^1 \in d_1, t_i^2 \in d_2 \,|\, t_i^1 = 1, t_i^2 = 1\}\right|}{\left|\{t_i^1 \in d_1 \,|\, t_i^1 = 1\}\right| + \left|\{t_i^2 \in d_2 \,|\, t_i^2 = 1\}\right|} \qquad (6)$$

где d_1, d_2 – бинарные векторы для документов 1 и 2,

t_i^1 , t_i^2 – значение i-го элемента бинарного вектора для документов 1 и 2 соответственно.

Чем ближе значение меры близости $w(d_1,d_2)$ к единице, тем больше документы похоже друг на друга.

V. Результаты исследования

Для проведения тестирования были собраны базы рефератов из нескольких источников:

1) Коллекция 15000 Рефератов - 18587 документов;
2) Сайт studentbank.ru - 71193 документов;
3) Сайт bestreferat.ru - 360534 документов.

Итого 450314 документов.

Отдельно использовалась коллекция новостей – 788351 документ.

Размер файла сигнатур для коллекции рефератов составил 225 Мбайт, для коллекции новостей 1,3 Гбайт.

Для оценки качества работы использовались следующие метрики:

1) полнота:

$$Recall = \frac{\text{Число найденных дубликатов}}{\text{Общее число дубликатов}}$$

2) точность:

$$Precision = \frac{\text{Число найденных дубликатов}}{\text{Число документов, отмеченных как дубликаты}}$$

3) F-мера:

$$F_1 = 2 \times \frac{Precision \times Recall}{Precision + Recall}$$

Для тестирования метода было выполнено два прогона с различными значениями порогового значения меры сходства. Для обнаружения полных дубликатов использовалось пороговое значение 0.95, для нечетких дубликатов со значительными изменениями 0.5. Прогоны осуществлялись как по векторам опорных слов и наименований (*), так и только по вектору опорных слов (**). Результаты использования метода для коллекций рефератов и новостей приведены в таблицах I и II.

ТАБЛИЦА I. Результаты тестирования для полных дубликатов

Коллекция	Метрики		
	Полнота	*Точность*	*F-мера*
Рефераты*	0,71	0,82	0,76
Рефераты**	0,71	0,86	0,77
Новости*	0,62	0,72	0,66
Новости**	0,56	0,68	0,62

ТАБЛИЦА II. Результаты тестирования для нечетких дубликатов

Коллекция	Метрики		
	Полнота	*Точность*	*F-мера*
Рефераты*	0,82	0,71	0,76
Рефераты**	0,81	0,79	0,80
Новости*	0,74	0,63	0,68
Новости**	0,66	0,59	0,62

Результаты показывают, что расширение вектора опорных слов вектором наименований не практически дает изменений полноты, снижая при этом точность. Это объясняется ошибочным признанием дубликатами документов, содержащих большое количество наименований при малом числе опорных слов.

Для новостных сообщений ситуация обстоит по-другому. В связи с небольшой длиной новостей, число ненулевых элементов в векторах опорных слов невелико. Изменчивость их содержания приводит к тому, что совпадения векторов получаются не полные, а часто вообще незначительные. Присутствие наименований позволяет конкретизировать новость и повышает не только полноту, но и точность нахождения дубликатов.

VI. Заключение

Изложенный метод обнаружения нечетких дубликатов с помощью «длинной» сигнатуры дает возможность, с одной стороны, производить обнаружение измененных (в том числе достаточно сильно) текстов, с другой стороны, позволяет делать это с достаточно небольшими затратами машинных ресурсов. Действительно, несмотря на то, что каждая сигнатура занимает более килобайта, операции сравнения фактически представляют собой

элементарные операции – побитное логическое умножение чисел и подсчет количества ненулевых бит.

Преимущество метода заключается в том, что сигнатуры просчитываются один раз, а дальнейший поиск осуществляется по файлу сигнатур. Соответственно, при проверке нового документа высчитывается его сигнатура и проводится сравнение с индексом сигнатур. Размеры файла индекса являются не столь большими и время работы с ним – достаточно небольшое. Кроме того, объемы индекса (в нашем случае, 1.3 Гбайт) позволяют полностью считывать его в оперативную память и дальше работать только с ней.

Список литературы

[1] Broder A., Glassman S., Manasse M., Zweig G. Syntactic clustering of the web // Computer Networks and ISDN Systems, 1997, vol. 29, n. 8, p. 1157–1166.

[2] Гастфилд Д. Строки, деревья и последовательности в алгоритмах. - СПб.: Невский диалект, 2003.

[3] Sharapov, R. The problem of fuzzy duplicate detection of large texts / R. Sharapov, E. Sharapova // CEUR Workshop Proceedings. – 2018. – Vol. 2212. – P. 270-277.

[4] Sidorov G., Velazquez F., Stamatatos E., Gelbukh A., Chanona-Hernández L. Syntactic Dependency-based n-grams as Classification Features // Lecture Notes in Artificial Intelligence, 2012, vol. 7630, p. 1–11.

[5] Salton G., McGill M. J. Introduction to modern information retrieval. -McGraw-Hill, 1983. 448 p.

[6] Salton G., Wong A., Yang C. S. A vector space model for automatic indexing // Communications of the ACM, 1975, vol.18, n.11, p.613-620.

[7] Manning C.D., Schütze H. Foundations of Statistical Natural Language Processing. - MIT Press, 1999.

[8] Heintze N. Scalable Document Fingerprinting // Proceedings of the Second USENIX Workshop on Electronic Commerce, 1996, p. 191-200.

[9] Manber U. Finding similar files in a large file system // Proceedings of the Winter 1994 USENIX Conference, 1994, p. 1-10.

[10] Berson T.A. Differential Cryptanalysis Mod with Applications to MD5, EUROCRYPT'92 // Lecture Notes in Computer Science, 1992, vol. 658, p. 71-80.

[11] Зеленков Ю. Г., Сегалович И.В. Сравнительный анализ методов определения нечетких дубликатов для Web–документов // Тр. 9-й Всеросс. научной конф. «Электронные библиотеки: перспективные методы и технологии, электронные коллекции». - Переславль-Залесский: Изд-во ИПС РАН, 2007. С. 166-174.

[12] Salton G., Buckley C. Term-weighting approaches in automatic text retrieval // Information Processing & Management, 1988, vol. 24, n. 5, p. 513–523.

[13] Church K., Gale W. Poisson mixtures // Natural Language Engineering, 1995, vol. 1, n.2, p. 163–190.

[14] Chowdhury A., Frieder O., Grossman D., McCabe M. Collection statistics for fast duplicate document detection // ACM Transactions on Information Systems (TOIS), 2002, vol. 20, issue 2, p. 171-191.

[15] Kolcz A., Chowdhury A., Alspector J. Improved Robustness of Signature-Based Near-Replica Detection via Lexicon Randomization // KDD '04 Proceedings of the tenth ACM SIGKDD international conference on Knowledge discovery and data mining, 2004, p. 605-610

[16] Fetterly D., Manasse M., Najor M. A Large-Scale Study of the Evolution of Web Pages // ACM, 2003, p. 669–678.

[17] Ilyinsky S., Kuzmin M., Melkov A., Segalovich I. An efficient method to detect duplicates of Web documents with the use of inverted index // Proc. of the 11th International World Wide Web Conference, WWW 2002, Honolulu, Hawaii, USA, ACM, New York..

Интеллектуальная информационная поддержка принятия решений при управлении техническим обслуживанием и ремонтами оборудования

Юсупова Н.И.
Уфимский государственный авиационный технический университет
Уфа, Россия
yussupova@ugatu.ac.ru

Сметанина О.Н.
Уфимский государственный авиационный технический университет
Уфа, Россия
smoljushka@mail.ru

Сазонова Е.Ю.
Уфимский государственный авиационный технический университет
Уфа, Россия
rassadnikova_ekaterina@mail.ru

Агадуллина А.И.
Уфимский государственный авиационный технический университет
Уфа, Россия
aygul.agadullina@gmail.com

***Abstract* — The concept of organization of intellectual information support for decision-making, including primary processing of data on failures and symptoms are discussed and determination of probabilities and verification of the most probable symptom with recalculation of values of all posterior probabilities are considered in this article. The formalization of knowledge and formation of production system rules in the form of recommendations are shown. Also authors discuss organizing decision-making information support using symptom-based failure detection technology, as well as the classification of equipment and components based on key factors in order to identify the most "in-demand" components / components with taking into account coefficient, which associated with class at planning purchases in order to ensure timely supply of components. The solution is given with using Bayes method, which based on statistical information on relationship of signs with states and on frequency of manifestation of these states. In the process of formalization knowledge authors proposed to use rules production system in procurement planning, classification of components/nodes using neuro-fuzzy systems, forecasting and optimization methods. New knowledge, which was obtained in the process of data analysis, allows expanding the information base. Practical realization is performed with using analytical MATLAB platform and EXSYSCorvid, which developed in USATU.**

Ключевые слова — поддержка принятия решений, управление техническим обслуживанием и ремонтами, нейро-нечеткая система, метод Байеса, продукционная модель представления знаний

I. Введение

В настоящее время для обеспечения информационной поддержки в области управления техническим обслуживанием и ремонтами (ТОиР) оборудования специалистам предприятия на рынке предоставлено множество ИТ-решений класса EAM (Парус ТОРО, 1С: ТОИР, Галактика ЕАМ, Система Global-EAM) и др. Анализ функциональных возможностей информационных систем (ИС) позволил выделить задачу, в частности, направленную на улучшение технологического процесса на основе анализа отказов оборудования и их причин (методология FMEA (Failure Modes and Effects Analysis)). Существующие ИС, в рамках перечисленных задач организуют информационную поддержку, фиксируя время, характеристику отказа и ее причину. Для обеспечения своевременной замены неисправного узла, необходимо его наличие на складе. Обычно эта задача сводится к получению ИТ-решения в области управления запасами. Такие ИС проводят анализ исторических данных и текущих запасов, учитывая факторы сезонности, специфики спроса, динамику использования, тренды и строят прогноз будущих потребностей. Несмотря на множественные исследования в этой области и готовые ИТ-решения, наличие собранной в функционирующих ИС информации может способствовать решению новых задач. Зачастую поддержка решений в различных предметных областях в этом случае строится на выявлении новых знаний и использовании их в дополнение к экспертным знаниям.

Вопросы организации интеллектуальной информационной поддержки с использованием технологий экспертных систем рассматривали в своих работах, как с точки зрения теоретических аспектов, так и с точки зрения практической реализации: Гаврилова Т.А., Елтышев Д.К., Ф.Х. Халиуллин, И.Р. Никушкин, Stefaniak P., Pichler M., Leber D., Хорошевский и др.

Авторами предложена концепция организации интеллектуальной информационной поддержки принятия решений, включающая первичную обработку данных об отказах, симптомах; определение вероятностей и проверку наиболее вероятного симптома с пересчетом значений всех апостериорных вероятностей; формализацию знаний с целью получения рекомендаций; а также классификацию оборудования и комплектующих на основе ключевых факторов с целью выявления наиболее «востребованных» из них для учета коэффициента, ассоциированного с классом при планировании закупки.

При достаточном объеме статистических данных о связях признаков с состояниями и о частоте проявления этих состояний эффективным методом распознавания является метод Байеса. Результатом формализации выявленных и экспертных знаний стали продукционные системы правил, в том числе и нечетких (для классификации). При планировании закупок также предложено использовать методы прогнозирования и оптимизации.

II. Современное состояние проблемы

Одной из задач цифрового производства является создание единого информационного пространства. Это обеспечивается посредством разработки ИС, позволяющих осуществлять сбор данных о

Результаты исследований, приведенные в статье, частично поддержаны грантами РФФИ 19-07-00709, 18-07-00193.

©2019 ИПУСС РАН, СамГТУ, IEEE

функционировании оборудования, персонала, сервисных служб и прочих с целью обмена информацией, управления производством. Следует учесть также наличие на предприятии ИТ-инфраструктуры, а также все многообразие оборудования. Взаимодействие этих систем будет обеспечивать организацию единого информационного пространства. Авторы в своих статьях уже обращались к вопросам интеграции [1].

С другой стороны, Скворцов Д. [2] отмечает, что в основу методологии «Prostoev.NET Элементы» заложена идея разделения целостной области управления ТОиР на отдельные процессы и элементы, каждый из которых влияет на снижение простоев оборудования. Такое разделение позволяет выделять отдельные задачи, и находить более эффективные решения. Обозначим место в указанной методологии решаемых авторами задач (таблица I).

Несмотря на наличие готовых ИТ-решений при управлении ТОиР в этой области ведется множество работ. Часто результаты реализуются в виде СППР. Если рассматривать только интеллектуальные решения, то можно отметить системы, основанные на знаниях (продукционные, онтологические модели, нейро-нечеткие системы), интеллектуальные агенты, Data Mining и др.

Анализируя готовые IT-решения в рассматриваемой области, следует отметить ряд ИС: «TOPS Consulting: ТОиР» на базе MS Dynamics AX, «Управление техническим обслуживанием и ремонтом оборудования» системы Галактика ER, 1С: ТОИР, Global-EAM для управления ТОиР [3-7] и многие другие, а также их функционал, близкий к задачам, решаемых авторами статьи (рис. 1).

ТАБЛИЦА I. МЕСТО ЗАДАЧ В РАМКАХ МЕТОДОЛОГИИ «PROSTOEV.NET ЭЛЕМЕНТЫ»

Процессы и элементы	**Объекты**	…	**Надежность**	**Диагностика**	**Планирование**	…	**Склады и закупки ТМЦ**	**Финансы, экономика**
Справочники	+		+	+	+		+	+
Данные	+		+	+	+		+	+
Оргструктуры	+			+	+			
Системы ИТ				+	+		+	+

Вопросами разработки моделей, методов и алгоритмов, а также их практической реализацией занимаются многие специалисты. Так, Елтышевым Д.К. [8] разработана «методика интеллектуальной поддержки принятия решений, позволяющая комплексно оценить фактическое техническое состояние оборудования и формировать заключения о вариантах его дальнейшей эксплуатации». Методика основана «на иерархическом принципе построения нечетких продукционных моделей, процедуры нечеткой кластеризации и обучения этих моделей, позволяющие адаптировать их к специфике обслуживаемого объекта». Сергушечива М.А. [9] предлагает «комплекс алгоритмов управления и интеллектуальной поддержки ТОиР, учитывающий нечеткий характер сроков ремонта и позволяющий получить формальное представление задачи многокритериальной оптимизации календарного планирования и построить с помощью эволюционных методов набор субоптимальных календарных графиков».

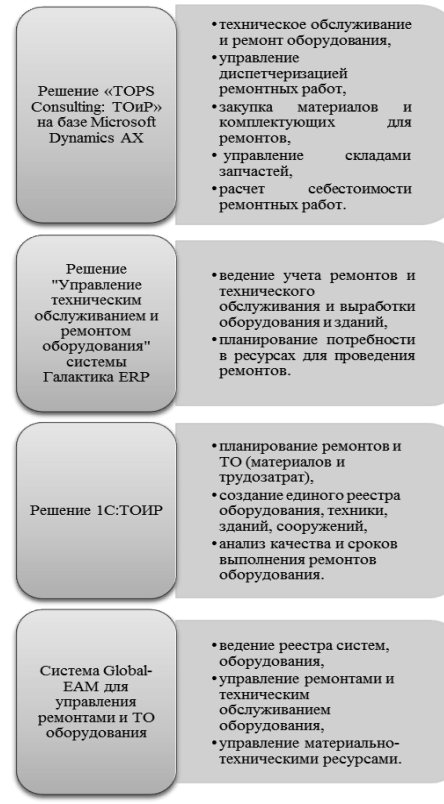


Рис. 1. Основные функции готовых программных решений в области управления техническим обслуживанием и ремонтами оборудования

Халиуллин Ф.Х., Никушкин И.Р [10] предлагают «алгоритм составления диагностической матрицы Байеса при безразборной диагностике двигателей внутреннего сгорания и недостаточной статистической информации о распределении отказов по наработке».

Авторы Растегари А., Мобин М. [11] обосновывают необходимость создания системы управления техническим обслуживанием (CMMS). Для обеспечения поддержки принятия решений на основе собранных данных использованы методы принятия многокритериальных решений (TOPSIS), кластеризации k-средних. На выходе формируется решение по обслуживанию каждой из машин в зависимости от частоты поломок, времени простоя и стоимости ремонта.

В работе [12] предполагается проведение интеллектуальной диагностики неисправностей на основе условий и возможность прогнозирования тенденции ухудшения качества оборудования. Предложена модель, основанная на подходе рекуррентной нейронной сети (RNN) для критического оборудования электростанции.

Авторы [13] рассматривают вопросы использования агентного подхода для повышения эффективности использования имеющихся средств на ТОиР. В публикациях [14-16] предлагается использовать онтологии и мультиагентные системы для мониторинга производительности, сбора данных и принятия решений. Также описываются задачи оптимизации в поддержке ТОиР, накоплении знаний, их применении и аргументации.

Авторы [17] в качестве цели исследования определяют использование технологии бизнес-аналитики (BI) для планирования ТОиР. «Модель многомерных данных разработана как схема star для многомерного анализа, специальной аналитики и онлайн-аналитической обработки». Data Mining используется для определения правил ассоциации причины и времени выхода из строя. P. Stefaniak [18] в своей работе обосновывает необходимость интеграции данных из различных источников, адаптации методов Data Mining.

В работе [19] особое место отводится сбору корректных данных для управления.

В публикации Diego Galar Pascua [20] обсуждаются подходы «белого» и «черного» ящиков к диагностике неисправностей в мониторинге состояния. Приведены методы и инструменты решаемых задач, в частности, метод ближайших соседей для задач кластеризации, нейронные сети, нечеткая логика в задачах, связанных с диагностикой, метод Байеса.

Каримова Н.О. в своей работе [21] описывает проблемы управления ТОиР, обосновывает необходимость разработки и внедрения автоматизированной системы управления в данной области.

Данная статья будет посвящена локальному приложению по обеспечению диагностики и своевременной поставки комплектующих. При решении поставленных авторами задач возникнет необходимость формализации знаний, построения нейро-нечетких систем.

Общими вопросами формализации знаний занимались Alfimtsev A., Sakulin S., Levanov A., Pichler M., Leber D., Ide T., Гаврилова Т. А., Червинская К.Р. [22-26]. Paolo Frasconi, Giovanna Castellano, Anna Maria Fanelli, Corrado Mencar [27] отмечают возможность применения нейро-нечетких систем для извлечения знаний из данных. Takagi T., Sugeno M. [28] описывают нечеткую идентификацию систем и ее приложения к моделированию и управлению.

III. Постановка задачи

Задача 1. Основной целью диагностики является предотвращение отказов и уменьшение времени простоев оборудования. Как правило, диагностирование станков с ЧПУ заключается в обработке некоторых данных, поступающих от работающего оборудования в определенный промежуток времени в виде внешних признаков или наблюдаемых экспертом, и характеризующих состояние оборудования. На основе накопленных за длительный период данных необходимо сформулировать рекомендации по устранению неисправности.

Задача 2. На основе статистических данных о неисправностях, и как следствие, потребности в замене тех или иных комплектующих, о фонде оборудования и его комплектующих необходимо выявить наиболее востребованные комплектующие для их своевременной замены. Особенность задачи заключается в том, что в процессе ее решения определяется класс востребованности комплектующих. Экспертами предполагается, что на «класс» оказывают влияние такие характеристики оборудования и комплектующих, как уникальность, комплектность, время работы оборудования (за определенный период, например, рабочую смену), выход из строя (период работы до выхода из строя), курс валюты. Нечеткость данных предусматривает применение аппарата нечеткой логики. С классом связан коэффициент, учитываемый при ограничениях в решении оптимизационной задачи.

Математическая постановка задачи 1. Дано: Данные наблюдений неисправностей станков с ЧПУ – тройка вида $<X_i, Y_j, Z_k>$, X_i - тип оборудования (наименование, номер), Y_j – возможная неисправность оборудования с указанием даты, Z_k – симптом неисправности; где $i = 1\text{-}n$, $j=1\text{-}m$, $k=1\text{-}l$. Данные о неисправностях станков с ЧПУ авторами были собраны за несколько лет.

Данные наблюдений позволили определить $P(Y_j)$ – значение априорной вероятности для оборудования X_i:($\sum_{1}^{m} P(Y_j) = 1$) и условные вероятности проявления симптомов при каждой неисправности $P(Z_k / Y_j)$.

Кроме того, есть знания экспертов об устранении неисправности – множество E.

Построить: систему на основе продукционных правил. Перед формированием правил необходимо отбросить незначащие неисправности, апостериорные вероятности которых стали очень малыми, для чего определяются значения условной вероятности

$$P(Y_j / Z_k) = \frac{P(Z_k / Y_j) * P(Y_j)}{P(Z_k)}.$$

Математическая постановка задачи 2. Данная задача включает решение таких подзадач как прогнозирование (1), классификация (2) и оптимизация (3). Поэтому сформулированы отдельные подзадачи.

(1) *Дано:* множество статистических (исторических) данных о неисправностях, и как следствие, потребности в замене тех или иных комплектующих в разные временные периоды: $k_i(t_1)$, $k_i(t_2)$,…, $k_i(t_n)$; *Найти:* Прогнозное значение объема закупок $k_i(t_{n+1})$ для всех позиций: $k_i(t_{n+1})=f((t_1), k_i(t_2),..., k_i(t_n))$, где $i=1,...,m$ – порядковый номер комплектующего; $j=1,...,n$ – количество временных интервалов (месяцев).

(2) *Дано: R* – множество значений характеристик комплектующих; *L* – конечное множество классов. *Найти:* алгоритм *A*: *R→L*, который способен классифицировать объекты.

(3) *Дано:* k_{mini}, k_{pri}- минимальное и прогнозное значения по каждому комплектующему *i*=1,…,*m*, их цены – c_j, l_i - коэффициент, ассоциированный с классом востребованности, допустимый бюджет – *B*. *Найти:* k_i-значение объема комплектующего *i, i=1,…,m.*

IV. Методика обработки данных и построение системы

Задача 1. Для организации поддержки принятия решений на основе технологии экспертных систем для решения задачи 1 авторами предложена методика сбора и обработки данных (рис. 2).

Этап 1 связан со сбором данных наблюдений отказов/неисправностей станков с ЧПУ – тройкой <*Xi, Yj, Zk*> (таблица II) за определенное время. На основе собранных данных построены дерево неисправностей с учетом их характера (отказ/сбой датчика, двигателя, привода, платы управления, ER-модуля; отказ жесткого диска, программные ошибки; ошибки СОЖ, механические ошибки, ошибки в работе измерительной системы) и дерево симптомов некорректной работы (не включается привод, на экран выводится ошибка, индикация ошибки на приводе, PLC не загружается, ошибки позиционирования, ошибки смазки). Неисправность проявляется через симптомы.

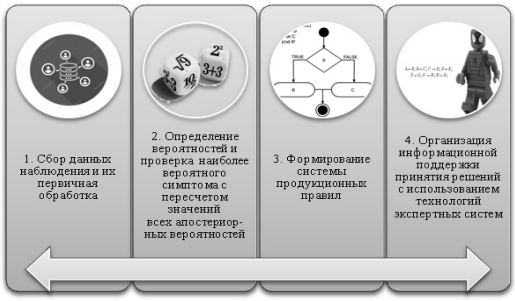


Рис. 2. Методика сбора и обработки данных для поддержки принятия решений (задача 1)

Первичная обработка позволяет принять решение о возможности дальнейшей обработки собранных данных.

Этап 2 характеризуется определением апостериорных вероятностей появления неисправности *P(Yj)*, условных вероятностей проявления симптомов при каждой неисправности $P(Z_k / Y_j)$, апостериорных вероятностей проявления неисправности при данном симптоме $P(Y_j / Z_k)$. Можно перечислить следующие симптомы неисправностей: не включается привод, на экран выводится ошибка, на приводе выводится индикация ошибки, смазка идет не нормально, «PLC не загружается», ошибки в позиционировании, произошло отключение электроэнергии.

ТАБЛИЦА II. Фрагмент данных наблюдений - ошибки станка 500 VB

Номер станка	**Симптом некоррек-тной работы (Z_k)**	**Неисправ-ность (Y_j)/ дата**	**Решение**
ФС-883	Возможен брак	Ошибка датчика оси X/ 5.06.2016	Замена датчика
ФС-893	Ошибка двигателя оси А	Неиспра-вен датчик оси А/ 8.06.2016	Замена датчика оси А
…	…	…	…
ФС-897	Брак	Контроль контура по оси Z/ 10.07.2018	Проверка приводов, датчиков, программы, корректоров, запуск программы заново

Считая, что *Z* – множество событий – проявление симптомов, *Y* – множество событий – неисправностей. Площадь каждого множества представляется через S_z и S_y. Вероятность одновременного произошедших событий *Z* и *Y* определяется как $P(Z^Y)=S_{Z^Y}/S$, где S_{Z^Y} - пересечение множеств *Z* и *Y*; *S* - объединение множеств *Z* и *Y*. Поделив правую и левую части на величину S_z, получим выражение $P(Z^Y)=(S_{Z^Y}/S_Z)*(S_Z/S)$. Обозначив $(S_Z/S)=P(Z)$ и $(S_{Z^Y}/S_Z)=P(Y/Z)$, определим вероятность наступления события *Y* при условии наступления события *Z* как $P(Y/Z)=S_{Z^Y}/S_Z$. Вероятность совместного проявления событий представлена как $P(ZY)=P(Z)P(Y/Z)$ или $P(ZY)=P(Y)P(Z/Y)$. Таким образом, можно представить $P(ZY)=P(Z)P(Y/Z)=P(Y)P(Z/Y)$. Тогда формула Байеса будет выглядеть следующим образом: $P(Y/Z)=[P(Y)P(Z/Y)]/P(Z)$. После определения вероятностей и задания граничного уровня $P_{гр}$, осуществляется проверка неисправностей Y_j с вероятностью $P(Y_j)>P_{гр}$. Проверяется наличие симптома с наибольшей вероятностью проявления для конкретной неисправности. После проверки пересчитываются все апостериорные вероятности и выявляются те из них, которые превышают заданный уровень. По ним определяется очередной проверяемый симптом Z_k и т.д. Через нескольких шагов алгоритм приводит к тому, что неисправности, апостериорные вероятности которых стали очень малыми, отбрасываются, а оставшиеся исправляются (таблица III) с учетом выполнения выражения $\sum_{i=1}^{m} P(Y_i) = 1$.

ТАБЛИЦА III. Апостериорные вероятности неисправностей

Y_j	Отказ	$P(Y_j)$
Y_1	Сбой датчика	0,19
Y_2	Сбой двигателя	0, 025
Y_3	Сбой привода	0,25
Y_4	Ошибки измерительной системы	0,18
Y_5	Отказ жесткого диска	0,035
…	…	…
Y_{11}	Скачок напряжения	0,045

Этап 3 характеризуется разработкой системы продукционных правил. Результатом реализации этапа 3, сведений собранных на этапе 1 и экспертных знаний стала система продукционных правил, фрагмент которой приведен ниже:

RULE 1: ЕСЛИ «привод включается» И «ошибка на экран не выводится» И «индикация ошибки на приводе не выводится» И «PLC загружается» И «смазка «идет» нормально» И «ошибки в позиционировании есть» И «отключения электроэнергии не было» ТО «настройте нулевые точки» И «почистите линейку» ИЛИ «замените линейку»;

RULE 2: ЕСЛИ «привод не включается» И «ошибка на экран выводится» И «индикация ошибки на приводе выводится» И «PLC загружается» И «смазка «идет» нормально» И «ошибок позиционирования нет» И «отключения электроэнергии не было» ТО «замените привод» ИЛИ «замените плату управления» ИЛИ «замените ER-модуль»;

RULE n: ЕСЛИ «привод включается» И «ошибка на экран не выводится» И «индикация ошибки на приводе не выводится» И «PLC загружается» И «смазка «идет» не нормально» И «ошибок позиционирования нет» И «отключения электроэнергии не было» ТО ««настройте» смазку».

Этап 4. Для реализации поддержки принятия решений предложено использовать EXSYS Corvid.

Задача 2. Для организации поддержки принятия решений, учитывая необходимость своевременной замены комплектующих, авторами предложена методика сбора и обработки данных (рис 3).

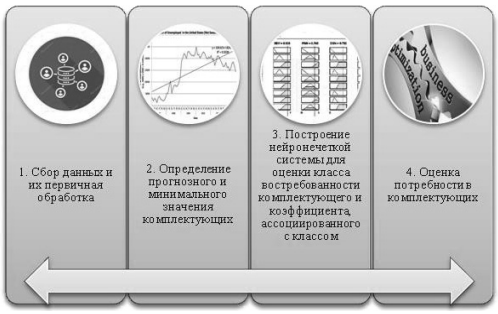


Рис. 3. Методика сбора и обработки данных для поддержки принятия решений (задача 2)

Этап 1. На первом этапе осуществляется сбор статистических данных о потребности каждого типа комплектующих (параллельно с выходом их из строя, задача 1) за предыдущие периоды. Кроме того, этот этап направлен на первичную обработку данных с использованием алгоритмов очистки данных (обнаружение аномалий, заполнение пропусков, выявление дублей и противоречий).

Этап 2. На данном этапе осуществляется прогнозирование количества комплектующих с учетом своевременного обеспечения служб ТОиР. Для этого требуются статистические данные за предыдущие периоды, прошедшие анализ на первом этапе. Выходом данного этапа будет прогнозное значение по каждому из типов комплектующих, кроме этого – минимальный объем потребности по виду комплектующего за исследуемый промежуток времени.

Этап 3. Определение класса комплектующих (выходная лингвистическая переменная: термы – малая востребованность (класс 1); средняя (класс 2); высокая (класс 3)) проводилось в среде Matlab. В качестве входных лингвистических переменных определены уникальность (использование одного комплектующего для n типов оборудования, $n \geq 1$); комплектность (использование n одинаковых комплектующих в одном типе оборудования, $n \geq 1$); время работы (n часов/смена); выход из строя (норма, выше нормы); курс валюты (руб./евро).

В системе нечеткого вывода использован алгоритм Сугено. Для классификации типа комплектующих была разработана нечеткая система продукций:

RULE1: ЕСЛИ <Уникальность=1> И <Комплектность=1> И <Время работы<4 > И <Выход из строя=норма> И <Курс валюты<40> ТО КЛАСС1;

RULE2: ЕСЛИ <Уникальность=1> И <Комплектность=1> И <Время работы>8> И <Выход из строя=выше нормы> И <Курс валюты>60> ТО КЛАСС3;

RULEn: ЕСЛИ <Уникальность=2> И <Комплектность=1> И <Время работы>8> И <Выход их строя=0> И <Курс валюты= 57> ТО КЛАСС2.

Фрагмент нечеткого логического вывода классификации в соответствии с входными логическими переменными представлен на рис. 4.

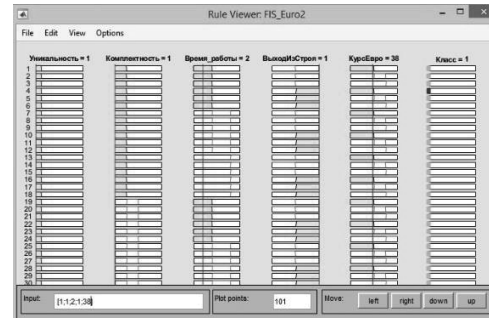


Рис. 4. Фрагмент нечеткого логического вывода классификации

Отношение к тому или иному классу востребованности комплектующего предполагается учитывать в виде коэффициента l_i, ассоциированного с классом, при оптимизации на этапе 4. Коэффициент определяется экспертами.

Этап 4. Целевая функция и ограничения представлены следующим образом: $\sum_i^n k_i c_i \leq B, \quad k_{\min i} \leq k_i \leq k_{pri} l_i$, где c_i - стоимость i-го комплектующего; k_i- значение его объема; B - бюджет; l_i - коэффициент, ассоциированный с классом востребованности; k_{mini}, k_{pri} - минимальное и прогнозное значения комплектующего i.

Заключительный этап реализован с использованием разработанного в УГАТУ программного решения. Учет коэффициентов, предложенных экспертами, позволил скорректировать закупки с учетом наиболее востребованных комплектующих.

V. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Несмотря на наличие готовых ИТ-решений в области управления ТОиР и множество проводимых исследований в данной области, остаются отдельные задачи, которые могут быть решены более эффективно. Авторы статьи объединили задачи, связанные с интеллектуальной поддержкой принятия решений по диагностике и своевременному обеспечению комплектующими службы ТОиР.

Концепция организации интеллектуальной информационной поддержки принятия решений включает первичную обработку данных; определение вероятностей и проверку наиболее вероятного симптома; формализацию знаний и формирование системы продукционных правил для получения рекомендаций; классификацию комплектующих на основе их характеристик с целью выявления наиболее «востребованных» комплектующих для учета коэффициента, ассоциированного с классом, при планировании закупки для своевременного обеспечения комплектующими службы ТОиР. В исследовании используются экспертные знания, которые заложены в систему продукционных правил в задаче диагностике; в оценке характеристик оборудования и комплектующих, и как следствие, в нечеткой продукционной системе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

[1] Yusupova N.I., Smetanina O.N., Agadullina A.I., Rassadnikova E.Yu., The development of ontologies to support the decisions in production systems management/ / Second Russia and Pacific Conference on Computer Technology and Applications (RPC), 2017. https://ieeexplore.ieee.org/document/8168096/authors#authors

[2] Скворцов Д. Управление техническим обслуживанием и ремонтами производственных фондов // Управление предприятием, 2014. №8, http://upr.ru/article/rossiyskie-praktiki-upravleniya/Upravlenie_tekhnicheskim_obsluzhivaniem_i_remontami_proizvodstvennykh_fondov_.html

[3] TOPS Consulting: ТОиР [Электронный ресурс]. URL: https://www.iemag.ru/upload/iblock/78b/tops.pdf (дата обращения 14.02.2019).

[4] Галактика ERP [Электронный ресурс]. URL: https://www.galaktika.ru/erp/specsolution/upravlenie-tehnicheskim-obsluzhivaniem-i-remontom-oborudovaniya (дата обращения 28.02.2019).

[5] 1С:ТОИР Управление обслуживанием и ремонтами оборудования [Электронный ресурс]. URL: https://1ctoir.ru/ (дата обращения 26.02.2019).

[6] Системы Global-EAM для управления ремонтами и ТО оборудования [Электронный ресурс]. URL: http://global-system.ru/index.php?id=59&idp=2 (дата обращения 26.02.2019).

[7] IIoT-система мониторинга промышленного оборудования «Диспетчер» [Электронный ресурс]. URL: https://www.intechnology.ru/iiot/ (дата обращения 26.02.2019).

[8] Елтышев Д. К. Интеллектуальная поддержка принятия решений при управлении процессом вывода в ремонт электротехнического оборудования: диссертация ... кандидата технических наук: 05.13.06 / Елтышев Денис Константинович; [Место защиты: Перм. нац. исслед. политехн. ун-т]. - Пермь, 2013. - 178 с.

[9] Сергушичева М.А. Модели и методы управления техническим обслуживанием и ремонтом оборудования промышленного предприятия: диссертация ... кандидата технических наук : 05.13.01 / Сергушичева Мария Александровна; [Место защиты: Владимир. гос. ун-т].- Вологда, 2010.- 184 с.

[10] Халиуллин Ф.Х., Никушкин И.Р. Особенности составления диагностической матрицы Байеса при безразборной диагностике двигателей внутреннего сгорания // Международный научно-исследовательский журнал, 2016. № 5(2). – С. 205–209.

[11] Rastegari A., Mobin M. Maintenance Decision Making, Supported By Computerized Maintenance Management System. 2016. 10.1109/RAMS.2016.7448086.

[12] Yam R. C. M., Tse P. W., Li1 L., Tu P. Intelligent Predictive Decision Support System for Condition-Based Maintenance // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2001. 17:383–391.

[13] Panteleev V.V., Kamaev, V.A., Kizim, A.V. Developing a Model of Equipment Maintenance and Repair Process at Service Repair Company Using Agent-based Approach // Procedia Technology 16, 2014. P. 1072 – 1079.

[14] Denisov M.V., Kamaev V.A., Kizim A.V. Organization of the repair and maintenance in road sector with ontologies and multi-agent systems // Procedia Technology 9, 2013. P. 819 – 825.

[15] Panteleev V.V., Kizim A.V., Matohina A.V., Kamaev V.A. Intellectual information support for operation of technical systems based on ontological engineering // Procedia Computer Science 64, 2015. P. 808 – 815.

[16] Kizim A.V. Establishing the Maintenance and Repair Body of Knowledge: Comprehensive Approach to Ensuring Equipment Maintenance and Repair Organization Efficiency // Procedia Technology Volume 9, 2013. P. 812-818.

[17] Tanphet S., Wanchai P. Applying business intelligence technology for equipment maintenance and repair plan of telecommunications services provider // 2018 20th International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT), Chuncheon-si Gangwon-do, Korea (South), 2018. P. 448-453.

[18] Stefaniak P., Zimroz R., Bartelmus W., Hardygóraet M. Computerised Decision-Making Support System Based on Data Fusion for Machinery System's Management and Maintenance // Applied Mechanics and Materials, 2014. Vol. 683, pp. 108-113.

[19] Gage M.W. Equipment Maintenance and Replacement Decision Making. 2013 [Электронный ресурс]. URL: https://digitalcommons.calpoly.edu/cgi/viewcontent.cgi?referer=https://www.google.com/&httpsredir=1&article=1124&context=imesp (дата обращения 14.02.2019).

[20] Artificial Intelligence Tools, Decision Support Systems in Condition Monitoring and DIagnosis – Diego Galar Pascua. CRC Press. 2015. 549 p.

[21] Каримова Н.О. Автоматизированные системы управления техническим обслуживанием и ремонтом оборудования // Молодой ученый, 2017. №13. - С. 49-51. URL: https://moluch.ru/archive/147/41164/ (дата обращения: 15.02.2019).

[22] Alfimtsev A., Sakulin S., Levanov A. Formalization of Expert Knowledge About the Usability of Web Pages Based on User Criteria Aggregation // International Journal of Software Innovation, 2016. №4. P. 38-50. 10.4018/IJSI.2016070103.

[23] Гаврилова Т.А., Хорошевский В.Ф. Базы знаний интеллектуальных систем – СПб.: Питер, 2000. – 384 с.

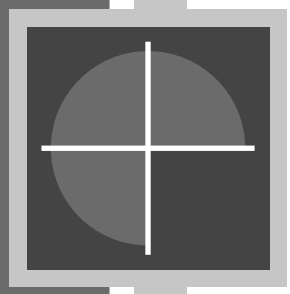
[24] Pichler M., Leber D. On the Formalization of Expert Knowledge: A Disaster Management Case Study // Proceedings - International Workshop on Database and Expert Systems Applications, DEXA, 2014. 10.1109/DEXA.2014.42.

[25] Ide T. Formalizing Expert Knowledge Through Machine Learning. 2016. 10.1007/978-1-4939-3594-9_11.

[26] Chervinskaya K.R., Wasserman E.L. Some methodological aspects of tacit knowledge elicitation // J. of Experimental & Theoretical Artificial Intelligence. 2000. V. 12, № 1. P. 43-55.

[27] Frasconi P., Castellano G., Fanelli A.M., Mencar C. A neuro-fuzzy network to generate human-understandable knowledge from data // Cognitive Systems Research, 2002. 3. P. 125–144.

[28] Takagi, T., Sugeno, M. Fuzzy identification of systems and its applications to modeling and control // IEEE Trans. On Systems, Man and Cybernetics, 1985. 15, 195–214.



Management in social and economic systems
Управление в социально-экономических системах

Эволюция экономической теории основы формирования секторов информационной экономики

Алиев А.Г.
Институт Информационных Технологий
НАН Азербайджана
Баку, Азербайджан
alovsat_qaraca@mail.ru

***Abstract* — The article discusses the issues of the category of formation and development of the sectors of the information economy. The scientific-theoretical and methodological approaches underlying the formation of the information economy are studied. The features of the information economy sectors in the system of global and national economic relations are studied. The economic categories of laws and theories that govern digital economic development are carefully analyzed. Specific mathematical, economic and econometric methods of research of information economy sectors are proposed. The trends of the development of concepts and modern economic theories, accelerating the development of the information economy, are revealed.**

Ключевые слова — информационная экономика, система экономических отношений, инновационное развитие, цифровая экономика, экономико-математические методы, теория информации, специфические экономические законы, эконометрические методы и оценки

I. Введение

Модель экономического развития большинства стран с развивающейся экономикой в современном мире является инновационной. Макроэкономическая стабильность, региональное развитие, государственная поддержка предпринимательства, благоприятная деловая и инвестиционная среда являются ключевыми характеристиками сбалансированной модели экономического развития [1, 2]. Как правило, новые стратегии экономического развития отдельных стран и регионов разрабатываются для обеспечения устойчивости экономической политики мира[3]. В этом аспекте планируется обеспечить макроэкономическую стабильность на основе эффективного управления, улучшить структуру экономики и обеспечить региональное развитие. Основной задачей является укрепление экономической стабильности и устойчивости в мире, обеспечение экономического динамизма за счет повышения эффективности предприятий, развития человеческого капитала и дальнейшего развития бизнес-среды. Кроме того, создание общества на основе информации и знаний, создание парков высоких технологий, развитие электронных информационных ресурсов, широкое использование электронных услуг в социально-экономических сферах, таких как банковское дело, финансы, торговля, образование, медицина и т. д. организация и развитие производства программного обеспечения и технологического оборудования в регионах являются основными направлениями развития информационной экономики. Анализ эволюции экономической теории, научно-теоретических основ и методологических принципов указанных проблем и разработка необходимых средств имеют первостепенное значение.

II. Основные задачи и этапы формирования экономики и экономической науки

В любом обществе, независимо от охвата и воздействия, экономика - это экономическая деятельность, которая обеспечивает людям совместную жизнь, сочетание производственных отношений. Его главная задача - создавать материальные и духовные блага для удовлетворения потребностей людей и предоставлять им различные услуги. Основная экономическая задача - обеспечить им более полную, справедливую и эффективную оплату на фоне постоянного роста материальных и духовных потребностей людей в условиях ограниченности природных ресурсов.

Экономическая наука - это наука о том, как люди используют ограниченные ресурсы для удовлетворения своих потребностей [3-4]. Его основная цель - представить обобщения, объясняющие причинно-следственную связь между экономическими событиями и процессами.

Законы и теории экономической науки объясняют экономические процессы и тенденции в определенной форме. Становление экономической науки и основные вопросы экономики связаны с появлением ее первых элементов в управлении домашним хозяйством. В современном понимании экономика - это анализ экономической активности людей в сфере производства, распределения, обмена товарами, услугами и материальными благами в контексте ограничений существующих ресурсов и бесконечных потребностей. Основные проблемы, стоящие перед экономикой и различными экономическими теориями: что и сколько мы должны производить? Как производить? Для кого производить? - работать над решением таких вопросов [5]. Становление экономической теории как науки начинается с XVI-XVII веков. С появлением капитализма экономика начинает формироваться как самостоятельная наука. Развитие экономики в девятнадцатом веке связано с марксизмом, маржинализмом, неоклассическими теориями, экономическими теориями двадцатого века, такими как неолиберализм, монетаризм, институционализм.

III. Информационная экономика - инновационная экономика основанная на ИКТ современной эпохи

Этапы экономического развития общества (таблица I) и их теории касаются теорий аграрной экономики, индустриальной экономики и постиндустриальной экономики и информационной экономики.

©2019 ИПУСС РАН, СамГТУ, IEEE

Основатель теории индустриального общества - американский экономист и социолог Питер Дракер (1909-2005) [8].

ТАБЛИЦА I. ЭТАПЫ РАЗВИТИЯ ЭКОНОМИКИ

№	*Экономическое событие*	*Экономическая теория*	*Руководитель школы*	*Период*
1.	Формирование рынков	Меркантилизм	А. Монкретьен	XVII век
2.	Преимущества сельскохозяйственного труда	Физиократия	Ф.Кене	Вторая половина восемнадцатого века
3.	Преимущество ремесленное труда	Классическая школа	А.Смит	XVIII век II - первая половина XIX века
4.	Кризис рыночной системы	Марксизм	К.Маркс	В середине XIX века
5.	Саморегулирование экономики	Неоклассическая школа	А.Маршалл	Вторая половина XIX века
6.	Влияние культуры на экономику	Институционализм	T.Veblen	Конец XIX века - начало двадцатого века
7.	Государственное вмешательство	Кейнсизм	Дж.Кейнс	Середина двадцатого века
8.	Экономическое влияние на культуру	Экономический империализм	Г.Беккер	Вторая половина двадцатого века
9.	Творческое трудовое преимущество	Информационная экономика	Я.Шумпетер	XXI век

В постиндустриальном обществе: информация и знания превращаются в ресурс. Научные разработки являются движущей силой экономики. Качество, профессионализм и креативность работников больше оцениваются.

Постиндустриальные страны, как правило, считаются те страны, которые более половины сектора услуг в ВВП (80% США, страны ЕС, Канада и Япония 70%).

Специфические методы исследования информационной экономики. Информационно-экономическая теория - это научный анализ человеческой производственной и информационной деятельности в контексте развития ИКТ, ограниченности экономических ресурсов и несопоставимых потребностей членов общества. Теория информационной экономики регулируют все аспекты экономической и информационной деятельности: 1)производственные процессы и отношения, 2)процессы распределения, 3)обменные процессы и отношения, 4)процессы потребления и отношений.

Информационная экономика - современный этап развития цивилизации. Этот этап характеризуется выдающейся ролью творческого труда и информации. Информационная экономика является теорией, и ее объектом исследования является прежде всего информационная экономика. Информационная экономика как отраслевая экономика изучают экономические проблемы сектора ИКТ. Информационная экономика является современной практической стадией как для научных теорий, так и для развития цивилизации. Этот этап характеризуется выдающейся ролью творческого труда, информации, знаний и технологических преимуществ. Различные категории информационной и индустриальной экономики [9-10] приведены в таблице II.

ТАБЛИЦА II. НЕКОТОРЫЕ РАЗЛИЧНЫЕ КАТЕГОРИИ ИНДУСТРИАЛЬНОЙ И ИНФОРМАЦИОННОЙ ЭКОНОМИКИ

№	*Категории*	*В индустриальной экономике*	*В информационная экономика*
1.	Продукт	Материал	Информация
2.	Труд	Простой	Творческий
3.	Капитал	Физический	Человеческий
4.	Деньги	Цель	Средство
5.	Стоимость	Затраты на оплату труда	Творческое время
6.	Человек	Экономической	Творческий

Экономика страны 21-го века - это экономика, основанная на знаниях. Информация и знания в информационном обществе превращаются в товар. Сетевая экономика, интернет-экономика, медиа-экономика, контент-экономика, экономика программного продукта, экономика электронных услуг, электронная коммерция и т. д. являются секторы информационной экономики. Ключом к отличию экономики информации от экономики знаний является сырьевая природа информации. Информация, знания, общение, умение, компетентность в информационном обществе высоко ценятся. Ключом к информационному обществу является человек и его интеллект. Способность людей создавать новые знания имеет особую ценность. Так что, по сути, основная траектория экономики, основанная на информации и знаниях, напрямую связана с техническими и технологическими особенностями развития этой отрасли. Теории информации, кодирование, обработка, хранение, передача, теория безопасности, современные технологии, такие как грид, облако, bigdata, нано, квантовая, космическая системы быстрого поиска интернет-ресурсов, искусственный интеллект, робототехника, интеллектуальные системы управления, приложения социальных сетей, современные направления научных исследований, перспективные теории и т.д. формируют технико-производственные, инфраструктурные научно-теоретические основы новой экономики и методологическую платформу её формирования. Существующая традиционная отраслевая экономика: сельское хозяйство, промышленность, металлургия, транспорт, строительство, нефть и газ, туризм, энергетика, природные ресурсы и т. д. всегда функционирует и будет продолжать расти за счет средств ИКТ.

Их подобласти применения, основанные на информации и технологии, инновации можно выразить следующим образом:

1) Информационно-коммуникационные технологии и системы в управлении;

2) Технологии и системы в производственных и сервисных процессах;

3) Ирригационные и селекционные технологии и системы;

4) Технологии и системы маркетинга и продаж ;

5) Ноу-хау технологии и системы;

6) Инновационные технологии и системы;

7) Интеллектуальные (смарт) технологии и системы.

Кроме того, формируются новые (информационные, наукоемкие и технологические) сектора экономики: экономика ИКТ, космическая экономика, биоэкономика, нанотехнологии, языковая экономика, экономика медицины, экономика образования, экономика науки, креативная экономика, экономика искусства, экономика культуры, экономика диаспоры, экологическая (зеленая) экономика, экономика альтернативной энергетики, патентная экономика, религиозная экономика и т. д. Напомним, что космическая экономика - это создание новой экономической модели с помощью космических ресурсов и средств. Экономика дронов - это создание нового сектора экономики в результате производства и применения дронов. Экономика больших данных - это создание нового сектора экономики за счет создания технологий больших данных, производства, внедрения и управления продуктами больших данных. Биоэкономика - это формирование нового сектора экономики посредством развития биотехнологий, производства, использования и управления биомассой.

Теория информационной экономики использует ряд методов для выяснения и объяснения процессов в экономических отношениях людей: метод научной абстракции, метод анализа и синтеза, метод исторического сравнения, метод логической последовательности, метод индукции и дедукции, метод графической иллюстрации, метод математического моделирования. Отметим, что в общей методологии экономической теории есть несколько основных подходов, включая субъективные (идеалистические), позитивные – эмпирические (неопозитивные эмпирические и скептические), рациональные, диалектические взгляды.

Экономическая теория делится на позитивные и нормативные разделы. Позитивная экономическая теория может привести к снижению производства, росту уровня безработицы, но не дает своих рекомендаций о способах преодоления этих негативных процессов. В отличие от позитивной теории, нормативная экономическая теория также иллюстрирует ситуацию и пути выхода из нее.

IV. Исследование некоторых методологических теорий информационной экономики

Новая экономика - это определенный этап развития постиндустриальной экономики. Д. Белл описал этот этап как «постиндустриальное общество», П. Кац, М. Порат, У. Масуда и др. как«Информационное общество», С. Бжезинский, «Технотронное общество», Л. Майер, Э. Гидденс, Л. Фидебер, С. Крук описал и исследовал «постмодернизм», «3-я волна цивилизации», О. Тоффлер, П. Дракер как «посткапиталистическое общество». Понятие «постиндустриальное общество» было введено в 1959 году профессором Д. Харроу из Гарвардского университета [11].

Центральное место в формировании постиндустриального общества занимают ИКТ. Основы теории информационной экономики заложены Ю. Шумпетером, Ф. Хайеком, Ф. Махлупом. В 1962 году Ф. Махлуп в книге «Сфера производство и распространения знаний» разделил индустрию знаний на пять групп, состоящих из научных исследований, образования, средств массовой информации, информационных технологий и информационных услуг, [12]. Термин «информационная экономика» был включен в широкомасштабный научный оборот в 1996–1998 годах после публикации двухтомной монографии под названием «Информационный цикл: экономика, общество и культура» испано-американского экономиста Мануэля Кастела. Эта теория полностью еще не создана, и нет широко распространенная теория, которую многие экономисты могут принять [13].

Некоторые теории и методологические подходы к информационной экономике заключаются в следующем:

Теория промышленных систем К. Хельбрейтин (Канадский), Теория нью-йоркского общества Д. Белла, Теория третьей волны Э. Тоффлера, Теория общества риска, Теория информационного общества М. Кастельса, Теория постэкономического общества В. Иноземцева, Теория индивидуального общества З. Баумана, Теория инновационного предпринимательства Дж. Шумпетера. Теория человеческого капитала Дж. Беккера, Теория информационного поиска К. Стиглера. Кроме того, многие лауреаты Нобелевской премии имеют соответствующие теории, концепции и исследования, которые можно отнести к определенной степени теории формирования информационной экономики. Именно в 1969 году первые нобелисты Ян Тинберген (Нидерланды) и Рагнар Фриш (Норвегия) использовали свои математические методы для анализа экономических процессов. В 1970-х годах Пол Самуэльсон (США) разработал свои методологии в области научного анализа экономики.

В 1973 году Василий Леонтьев (США) разработал метод «Межотраслевого баланса» и применил в анализе экономических проблем. В 1974 году Фридрих Фон Хайек (Австрия, США), Куннар Мюрдал (Швеция) проанализировали денежной теории, конъюнктуры и взаимозависимости экономических, социальных и структурных событий. В 1975 году Леонид Канторович (СССР), Т. Купманс (США) разработали теорию оптимального использования ресурсов. В 1987 году Роберт Солоу (США) провел фундаментальные исследования в области теории экономического роста. В 1994 году Джон Харсани (США), Джон Нэш (США), Рейнхард Зелтен (ГФR) успешно применили теорию игры к экономическим процессам. В 2001 году Джордж Акерлоф (США), Майкл Спенс (США), Джозеф Стиглиц (США) предложили теорию несимметричной информации о проблемах рынка. В 2007 году Леонид Кривиц (США), Эрик Мескин (США), Роджер Майерсон (США) заложили основы теории оптимальных механизмов. В 2012 году Элвин Рот (1952, США), Лёд Шапли (США) выступили с предложениями по стабильному распределению ресурсов. В 2014 году Жан Тироль (1953, Франция) представил теорию

доминирования на рынке и регулирования. В США в 2017 году Ричард Талер (Richard Teyler) прокомментировал свои научно-методологические принципы в области поведенческой экономики. Каждая из этих теорий и подходов имеет опеределённое значение в формировании и развитии информационной экономики.

V. Основные методологические принципы информационной экономики и анализ экономико-математических методов исследования

Основными методологическими принципами информационной экономики являются в следующие [19-22]: 1)Индивидуальный подход, 2)Групповой подход, 3)Эмпирический подход, 4)Социометрический подход, 5)Междисциплинарный подход.

Информационная экономика - это комплексная наука, основанная на экономике, ИКТ, математической статистике, моделировании, психологии и социологии. Эта наука является обобщающей социальной наукой, которая исследует все формы межличностных отношений. Благодаря достижения этих наук, они оказывают непосредственное влияние на развитие информационной экономики. Классификация экономико-математических моделей для агрегирования объектов информационной экономики может быть микроэкономической, многофункциональной (многопродуктивной), макроэкономической, глобальной. В зависимости от фактора времени: статистическая модель - отражает текущее состояние экономической системы, динамическая модель - изучает, развитие и движение системы и наблюдает, как она меняется со временем. По типу математических средств: линейное и нелинейное программирование, методы оптимизации, уравнения корреляции-регрессии, теория вероятностей, теория игр, теория графов, теория массового обслуживания и т. д .; В зависимости от характера математического аппарата: линейные модели, нелинейные модели, модели сетевого планирования и управления, модели массового обслуживания, модели управления ресурсами и т. д.

Эконометрика как научная область изучает количество и качество экономических событий и процессов с помощью математических, статистических методов и моделей. Она является одним из основных предметов современного экономического анализа и изучает эмпирические методы определения закономерности в экономических процессах. Слово «эконометрика» впервые было использовано в научной литературе в 1926 году. Р. Фриш основал журнал «Эконометрика» в 1933 году. Эконометрика - это наука в области экономики, математики и статистики [14-18].

В процессе эконометрического моделирования цель исследования состоит в определении характеристик экономических переменных, которые будут включены в модель. На начальной (априорной) стадии анализ изучаемого объекта известен в том, что касается моделирования. На этапе моделирования и параметризации выбирается общая форма модели, и связь между отдельными параметрами записывается в виде соответствующих зависимостей и уравнений. На информационном этапе собирается статистическая информация, отдельно фиксированные числа записываются в виде матрицы или вектора. На этапе идентификации модели проводится статистический анализ модели и оценка параметров. На этапе проверки модель проверяется на процесс или объект. Если ошибка слишком велика, вносятся соответствующие изменения модели.

VI. Заключение

Анализируемая теория и методологии являются инструментами регулирования развития информационной экономики и ее секторов. Однако его нельзя считать полностью сформированным теорией информационной экономики, ее научно-теоретическими основами и методологическими проблемами. В исследовании делается вывод о необходимости разработки теорий соответствующих концепций развития из технических, технологических, институциональных и гуманитарных аспектов формирования информационной экономики. Научно-технические аспекты формирования новой экономики на основе информации и знаний должны быть изучены. Отраслевые, функциональные, региональные особенности информационной экономики и тенденции развития должны быть определены с методологической точки зрения. Необходимо изучить вопросы развития конкретных видов экономической деятельности на базе ИКТ. Инновационные модели и механизмы платежных технологий должны разрабатываться в новых экономических условиях.

Вопросы и механизмы международного регулирования налоговой, таможенной, бюджетной, финансовой и т. д. должны разрабатываться на основе тенденций развития национальной инновационной системы. В условиях формирования информационной экономики возникает необходимость разработки интеллектуальных методологических механизмов, поддерживающих принятие макроэкономических решений, методологическую оценку взаимного влияния ИКТ и других секторов экономики. Исследования показывают, что теория современной экономики способна прояснить и оценить экономические процессы, происходящие в обществе и в отношениях между людьми.

В этом процессе используется ряд методов исследования, таких как научный метод абстракции, метод анализа и синтеза, метод исторического сравнения, метод логической последовательности, метод индукции и дедукции, метод графических рисунков, метод математического моделирования. Кроме того, существующие нормы, механизмы, законы, методы, концепции и стратегии, высокие технологии и научно-технический потенциал, которые стимулируют и регулируют развитие сектора ИКТ, могут считаться как институциональные, научно-теоретические, методологические основы современной информационной экономики и ее секторов.

Список литературы

[1] Национальная стратегия развития информационного общества в Азербайджанской Республике на 2014-2020 годы, Баку, 2 апреля 2014 г., http://www.president.az

[2] Качуровский Е.П. Современная мировая экономика. Минск, 2012, 582 с.

[3] Стратегические дорожные карты по основным секторам национальной экономики. Баку, 6 декабря 2016 г., http://www.president.az

[4] Юнусов Л.А. Глобализация мировой экономики: понятие и основные этапы // Проблемы современной экономики, 2008, №4(28), http://m-economy.ru/art.php?nArtId=2246

[5] Фролова Е.Д. Мировая экономика и международные экономические отношения: современное состояние, проблемы и основные тенденции развития //Учебное пособие, Екатеринбург, УрФУ, 2016, 184 с.

[6] Шумпетер Й.А. Теория экономического развития, 2008, 400 с.

[7] Гринберг Р.С. Экономика современной России: состояние, проблемы, перспективы // Вестник Института экономики РАН, 2015, №1, с.10-28.

[8] Сударкина Е.С. Анализ структуры российской экономики на современном этапе и перспективы развития // Экономика и управление, 2016, №1, с. 57-58.

[9] Кошкин Р.П. Цифровая экономика - новый этап развития информационного общества в России // Стратегические приоритеты, 2017, №3(15), с. 4-15.

[10] Alguliyev R.M., Aliyev A.G., Abbasova V.A. The study of formation characteristics and development tendencies of international information and knowledge economy //J. Review of knowledge economy, 2017, vol. 4, No.1, p. 7-14.

[11] Безруких Д.В. Информационная экономика как драйвер инновационного развития экономики РФ // Проблемы современной экономики, 2016, №35, с. 116-120.

[12] Farshad F.M., Nasser E. et al. Appropriate theoretical framework for understanding and analyzing economic issues in knowledge-based economy // Journal of the knowledge economy, 2017, vol. 8, issue 3, p.957-976.

[13] Попова Е.В. Переход от индустриального общества к обществу информационных услуг // В мире научных открытий, 2010, №4(10), с. 77-79.

[14] Макаров В.В., Блатова Т.А. Информационно-коммуникационные технологии как индикатор развития экономики знаний // Российский гуманитарный журнал, 2014, №4, том 3, с. 275- 281.

[15] Апатова Н.В., Акинина Л.Н., Бакуменко М.А., Бойченко О.В. и др. Информационная экономика: теория, практика, модели //Монография, М., 2016, 428 с.

[16] Клейнер Г.Б. Экономика. Моделирование. Математика // Избранные труды, М., ЦЭМИ РАН, 2016, 856 с.

[17] Dima I.C., Man M. Econometrics and scientific management // Modelling and simulation in management, 2015, p.69-96.

[18] Модели и методы инновационной экономики // Сборник научных трудов, 2015, выпуск 8, М.: ЦЭМИ РАН, МАОН, 197 с.

[19] Semenyuk E. P., Kotlyarevskyy Ya.V., Kniaziev S.I. et al. Information economy: the formation of special-purpose categorical framework // Science and innovation, 2017, vol. 13, issue 3, p.5-19.

[20] Roman K. Economical theory of history in a historical context // European journal of the history of economic thought, 2017, vol. 24, issue 2, p.402-403.

[21] Gurpınar E. Organizational forms in the knowledge economy: a comparative institutional analysis // J Evol Econ, 2016, vol. 26(3), p.501-518.

[22] Andrew W. Manuel Castells's trilogy the information age: economy, society, and culture // Information communication & society, 2016, vol. 19, issue 12, p. 1673-1678.

Процедура формирования команды исполнителей проекта на основе когнитивных карт и генетических алгоритмов

Асанов А.З.
МИРЭА - Российский технологический университет
Москва, Российская федерация
asanov@mirea.ru

Мышкина И.Ю.
Казанский (Приволжский) федеральный университет
Наабережные Челны, Российская федерация
mirinau@mail.ru

***Abstract* — The article under focus deals with the possible approaches toward modified assignment problem. The approach under discussion allows to take into account specific assignments of the project when casting the team of attendants. It also allows to calculate labour intensity and continuity of assignment. Cognitive maps are used to make a proper prognosis of the project fulfillment success. The meanings of the main concept map are used when working out an objective function, the search for extreme meaning of which is based on standard genetic algorithm.**

Ключевые слова — проект, задача о назначениях, когнитивная модель проекта, генетические алгоритмы, команда исполнителей проекта)

I. Введение

Задачи управления кадрами организации по степени важности стоят в одном ряду с задачами производства и сбыта продукции. Успешность нового проекта в любой сфере деятельности напрямую зависит от компетентности выбранных исполнителей, от того, правильно ли распределены между членами команды отдельные задачи проекта. Большинство работ, касающихся вопросов формирования команд исполнителей, нацелены, прежде всего, на получение интегральных оценок соответствия различных характеристик соискателей требованиям отдельных заданий на основе результатов тестирования, экспертных оценок и т.п. Далее на основе полученных данных о соискателях определяется такой состав команды, чья оценка соответствия требованиям к участию в проекте доставляет экстремальное значение некоторой целевой функции, учитывающей значения выбранных критериев оценки потенциальных соискателей. Подобные задачи в теории оптимизации относятся к комбинаторной оптимизации, рассматриваемая задача является модификацией так называемой задачи о назначениях – задачи распределения *n* работ между *n* исполнителями с целью минимизации общих затрат на выполнение всех работ. Для задачи о назначениях существуют точные методы решения. Однако при большой размерности задачи данные методы требуют значительных затрат времени. Известные методы часто становятся неприменимы и в случаях использования модифицированных моделей задачи о назначениях, в частности, при добавлении новых нестандартных ограничений, а также появлении многокритериальности [1-5].

Наибольшие сложности при решении задачи о назначениях возникают при выборе команды исполнителей для реализации проекта, включающего большое число частных заданий, выполняемых в некоторой последовательности (по этапам), при этом все задания тесно взаимосвязаны, существенна зависимость успешности выполнения задания от результатов, полученных на предыдущих этапах. Кроме того, частные задания проекта имеют разную трудоемкость и ценность для реализации проекта в целом, несмотря на то, что все они направлены на решение одной глобальной проблемы. Трудности при решении такой модифицированной задачи о назначениях возникают уже на этапе формализации.

В данной работе рассматривается возможный подход к решению модифицированной задачи о назначениях, в которой возникает необходимость учета специфики выполняемых частных заданий проекта. Для построения целевой функции, определенной на множестве всех возможных распределений заданий, используются значения целевых вершин когнитивной карты проекта, позволяющей формализовать некоторые требования к отдельным частным заданиям. Для поиска экстремального значения целевой функции предполагается использование стандартного генетического алгоритма, как хорошо зарекомендовавшего себя метода решения задач комбинаторной оптимизации. В работе рассматриваются два возможных варианта кодирования решений рассматриваемой задачи для генетического алгоритма, способ кодирования решения вносит изменения и в целевую функцию.

II. Постановка задачи

Составлен календарный план выполнения частных заданий проекта $\{T_i\}$ ($i=\overline{1,m}$, m – общее число заданий), каждый этап включает множество заданий $\{F(s)\}$ ($s=\overline{1,K}$, $\{F(s)\}\subset\{T_i\}$, K – общее число этапов). Успешное выполнение задания T_i требует от исполнителя обладания набором компетенций $\{C_j^i\}$ ($i=\overline{1,m}$, j – номер компетенции). Имеются оценки компетенций $\{q_i(C_j^g)\}$ ($i=\overline{1,n}$, $g=\overline{1,m}$, $q_i(C_j^g)\in[0,1]$) n потенциальных исполнителей проекта $\{P_t\}$ ($t=\overline{1,n}$, n – общее число потенциальных исполнителей), а также оценки степени занятости исполнителей в других проектах $\{r_i\}$ ($i=\overline{1,n}$, $r_i\in[0,1]$). Известна

©2019 ИПУСС РАН, СамГТУ, IEEE

последовательность выполнения заданий, сила связей между заданиями (данная оценка характеризует степень влияния результатов выполнения связанных заданий) и значимость каждого задания для проекта в целом. Необходимо сформировать команду исполнителей и распределить между ними m задач таким образом, чтобы прогнозируемая оценка успешности реализации проекта была максимальной при условии, что: (1) каждое задание выполняет один исполнитель (**задача 1**); (2) исполнитель может выполнять несколько заданий на разных этапах проекта, но на одном этапе он может выполнять только одно задание (**задача 2**).

В качестве ключевых особенностей рассматриваемой задачи, которые необходимо учитывать при выборе оптимального распределения заданий, следует отметить следующее: (1) чем больше значимость задания для проекта в целом, тем больше должна быть степень соответствия соответствующих компетенций исполнителя; (2) чем больше степень влияния результатов выполнения связанных заданий, тем более целесообразно поручить их одному исполнителю.

III. Описание процедуры решения модифицированной задачи о назначениях

A. Когнитивная модель проекта

Основным компонентом целевой функции, позволяющей оценить целесообразность выбранного распределения заданий, является оценка успешности реализации проекта, учитывающая указанные выше особенности рассматриваемой задачи. Для прогнозирования успешности реализации проекта в данной работе предлагается использовать когнитивные карты [5-8]. Данная модель позволяет оценить целесообразность любого возможного распределения заданий между потенциальными исполнителями.

Когнитивная модель проекта:

$$\Phi = < G, Y, W >$$

где $G = < V, E >$ – ориентированный граф (орграф),

V – множество вершин, причем $V = \{V_l\} = \{P_i\} \cup \{C_j^g\} \cup \{T_h\} \cup P$, т.е. вершинами данной карты являются потенциальные исполнители, частные задания проекта, компетенции, необходимые для выполнения заданий; целевая вершина P – успешность проекта.

$E = \{e_{ij}\}$, $i, j = \overline{1, M}$ – множество дуг, M – общее число вершин.

$Y = \{Y^{V_l}\}$, $l = \overline{1, M}$ – множество параметров вершин V (значение вершин T_h – оценка соответствия компетенций исполнителя заданию, P – оценка успешности проекта; $Y^{P_i} \in \{0;1\}$: 0 – если i-й исполнитель не участвует в проекте, 1 – если участвует).

Веса влияний $W = \{w_{ji}\}$ ($i = \overline{1, M}$, $j = \overline{1, M}$) между каждой парой вершин принимают значения из промежутка [0;1]. Веса связей между вершинами-исполнителями и компетенциями устанавливаются равными оценке их сформированности, если исполнитель выполняет соответствующее задание. Веса связей между вершинами-компетенциями и заданиями устанавливаются равными оценке значимости компетенций для успешного выполнения задания. Веса связей w_{ji} между заданиями соответствуют оценке силы влияния результатов выполнения j-го задания на успешность выполнения i-го задания. Веса связей между заданиями и целевой вершиной соответствуют значимости задания для проекта в целом. Если в оцениваемом распределении j-й исполнитель не получил некоторое задание, то веса связи w_{ji} между исполнителем и соответствующими компетенциями принимаются равными нулю.

Требуется для заданного распределения заданий оценить успешность реализации проекта. Решение данной задачи включает следующие этапы:

1 этап. Построение когнитивной модели проекта.

2 этап. Задание начальных значений вершин – исполнителей и весов связей между исполнителями и компетенциями.

4 этап. Пересчет значений всех вершин (кроме вершин, соответствующих исполнителям). Модель этапов вычислений когнитивной карты:

$$Y_i(t+1) = Y_i(t) + \sum_{j=1}^{M} \Delta Y_j(t) \cdot w_{ji},$$

где $\Delta Y_j(t)$ – приращение (изменение) значения j–й вершины на этапе вычисления t.

B. Построение целевой функции

Значение целевой вершины когнитивной карты проекта используется при построении целевой функции, определенной на множестве возможных распределений заданий. Для учета ограничений, налагаемых на возможные распределения, предполагается добавление в целевую функцию соответствующих слагаемых в виде функций штрафа, значительно снижающих оценку распределения в случае невыполнения для распределения имеющихся ограничений. Сведем задачу выбора оптимального распределения заданий к задаче поиска минимума целевой функции.

Соответствующая целевая функция для **задачи 1** (см. раздел II) может иметь вид:

$$E = \frac{K_1}{2} \sum_t \sum_i \sum_{i \neq j} x_{ti} x_{tj} + \frac{K_2}{2} \sum_i \sum_t \sum_{y \neq t} x_{ti} x_{yi} +$$
$$+ \frac{K_3}{2} \left(\left(\sum_t \sum_i x_{ti} \right) - m \right)^2 + \left(\frac{q(P)}{q_{max}(P)} - 1 \right)^2 + \frac{K_5}{2} \sum_t \sum_i x_{ti} r_i \quad (1)$$

Соответствующая целевая функция для **задачи 2** (см. раздел II) может иметь вид:

$$E = \frac{K_1}{2} \sum_t \sum_i \sum_{i \neq j} x_{ti} x_{tj} + \frac{K_2}{2} \sum_s \left(\sum_i \sum_{t \in F(s)} \sum_{\substack{y \in F(s) \\ y \neq t}} x_{ti} x_{yi} \right) +$$
$$+ \frac{K_3}{2} \left(\left(\sum_t \sum_i x_{ti} \right) - m \right)^2 + \left(\frac{q(P)}{q_{max}(P)} - 1 \right)^2 + \frac{K_5}{2} \sum_t \sum_i x_{ti} r_i \quad (2)$$

В выражениях (1)-(2) $x_{ij} \in \{0;1\}$, 1 – если *i*-е задание выполняет *j*-й исполнитель, 0 – если *i*-е задание не выполняет *j*-й исполнитель. $q(P)$ – значение целевой вершины когнитивной карты проекта для заданного распределения, $q_{max}(P)$ – максимально возможное значение целевой вершины когнитивной карты проекта (вычисляется при задании всем вершинам-компетенциям максимальных значений, равных единице).

В выражении (2):

1) Первое слагаемое равно нулю только в том случае, если каждая строка (задание) содержит не более одной единицы. (Каждое задание выполняет один исполнитель).
2) Второе слагаемое равно нулю только в том случае, если в строках, соответствующих одному этапу проекта, каждый столбец (возможный исполнитель) содержит не более одной единицы. (Каждый исполнитель выполняет только одно задание, выполняемое на одном этапе; или, другим словами, из выполняемых одновременно заданий каждый исполнитель может выполнить только одно).
3) Третье слагаемое равно нулю только в том случае, если матрица содержит ровно *m* единиц. (Число отобранных исполнителей равно числу заданий).
4) Четвертое слагаемое принимает минимальное значение, если отобранные исполнители в наибольшей степени соответствуют требованиям. При расчетах значений этого слагаемого используется когнитивная карта проекта, позволяющая спрогнозировать успешность проекта в зависимости от выбранного распределения заданий между потенциальными исполнителями.
5) Пятое слагаемое принимает минимальное значение, если отобранные исполнители в наименьшей степени заняты.

В выражении (1) второе слагаемое равно нулю только в том случае, если каждый столбец (возможный исполнитель) содержит не более одной единицы. (Каждый исполнитель выполняет только одно задание).

IV. Оптимизация с помощью генетических алгоритмов

Для решения задач комбинаторной оптимизации, к которым относится рассматриваемая задача, широко применяются генетические алгоритмы; целесообразность применения генетических алгоритмов в нашем случае связано, прежде всего, с особенностями построенной целевой функции, при вычислении значений которой используется когнитивная карта. Для решения сформулированной задачи оптимизации используется двоичное представление возможных решений (хромосом), что вполне естественно для комбинаторной оптимизации. Использование прямого кодирования возможных решений, соответствующего значениям искомых переменных x_{ij}, с длиной кода *m*n*, не лишено недостатков. Это связано с тем, что при использовании данного способа кодирования велика доля особей (хромосом), не являющихся допустимым решением задачи. Чтобы избежать данной проблемы можно использовать дополнительную промежуточную кодировку решений, предлагаемую в работе [9], в соответствии со следующей формулой:

$$A_1 \cdot \prod_{i=2}^{m} n + A_2 \cdot \prod_{i=3}^{m} n + \ldots + A_l \cdot \prod_{i=l+1}^{m} n + \ldots + A_{m-1} \cdot n + A_m$$

где A_l номер исполнителя, назначаемого для выполнения задания l; номер принимает значения от 0 до *n*-1. В результате получается число, принимающее значение от 0 до $n^m - 1$ [9], оно соответствует порядковому номеру N_R данного решения при полном переборе.

Обратный перевод заключается в итерационном процессе взятия целой части результата деления (операция div) и остатка от этого деления (операция mod) [9]:

$$N_1 = N_R \; div \; n; \; A_n = N_R \; mod \; n;$$

$$N_2 = N_1 \; div \; n; \; A_{n-1} = N_1 \; mod \; n;$$

$$\ldots$$

$$A_1 = N_{n-1} \; div \; n; \; A_2 = N_{n-1} \; mod \; n.$$

Выбор данного способа кодирования возможных решений позволяет сократить число слагаемых в выражениях (1)-(2). В частности, в формуле (2) становится необязательным присутствие первого слагаемого, что обусловлено тем, что выбранный способ кодирования возможных решений обеспечивает выполнение условия «одно задание – один исполнитель». Формула (2) в данном случае примет вид:

$$E = \frac{K_2}{2} \sum_s \left(\sum_i \sum_{t \in F(s)} \sum_{\substack{y \in F(s) \\ y \neq t}} x_{ti} x_{yi} \right) + \\ + \frac{K_3}{2} \left(\left(\sum_t \sum_i x_{ti} \right) - m \right)^2 + \left(\frac{q(P)}{q_{max}(P)} - 1 \right)^2 + \frac{K_5}{2} \sum_t \sum_i x_{ti} s_i \quad (3)$$

V. Методический пример

В качестве примера рассмотрим решение задачи распределения заданий проекта, когнитивная модель которого приведена на рисунке 1 (*m*=5, *n*=7). Номера вершин данной карты приведены в таблице I.

Оценки компетенций потенциальных исполнителей проекта приведены в таблице II. Оценки значимости заданий для проекта, компетенций для заданий и силы связей между заданиями приведены в таблице III.

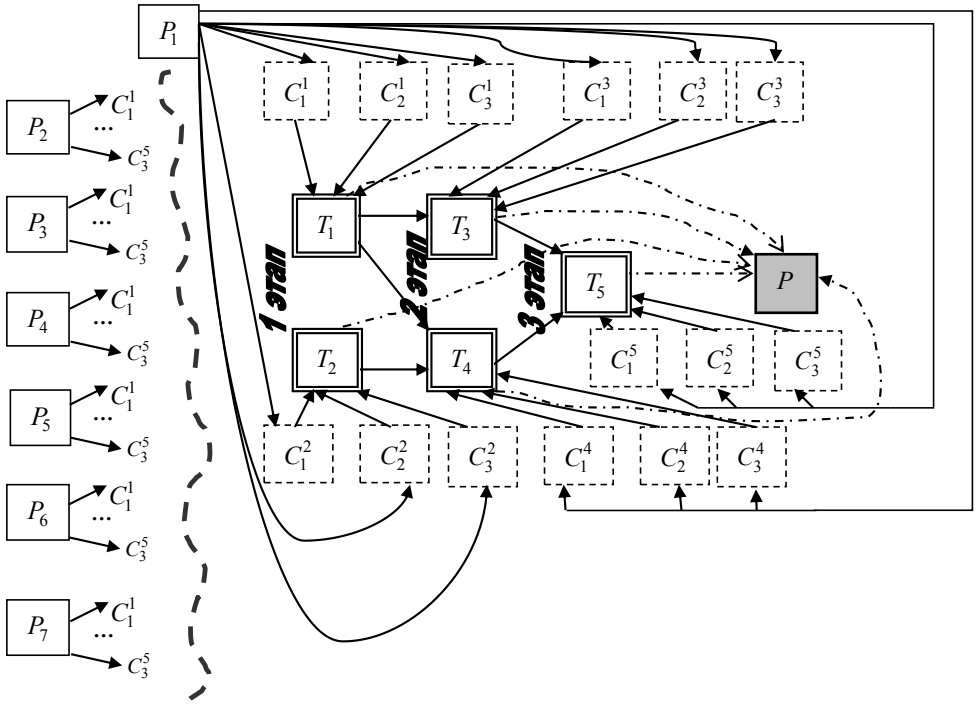


Рис. 1. Фрагмент когнитивной карты проекта

ТАБЛИЦА I. ВЕРШИНЫ КОГНИТИВНОЙ МОДЕЛИ ПРОЕКТА

Номер вершины	Вершина	Номер вершины	Вершина
1	P_1	16	C_3^3
…	…	17	C_1^4
7	P_7	18	C_2^4
8	C_1^1	19	C_3^4
9	C_2^1	20	C_1^5
10	C_3^1	21	C_2^5
11	C_1^2	22	C_3^5
12	C_2^2	23	T_1
13	C_3^2	…	…
14	C_1^3	27	T_5
15	C_2^3	28	P

a. Начальные значения вершин с номерами 1-7 равно 1, если в текущем распределении заданий исполнитель с номером 1-7 участвует в проекте.

b. Начальные значения вершин с номерами 8-28 равны 0.

ТАБЛИЦА II. ОЦЕНКИ КОМПЕТЕНЦИЙ ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Номер вершины	Вершина-компетенция	Потенциальные исполнители						
		1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*
8	C_1^1	1.0	0.8	0.9	0.9	0.4	0.7	0.6
9	C_2^1	1.0	0.8	0.2	0.4	0.7	0.6	0.4
10	C_3^1	1.0	1.0	0.8	0.4	0.3	0.0	0.9
11	C_1^2	1.0	1.0	0.0	0.5	0.3	0.6	0.7
12	C_2^2	1.0	1.0	0.6	0.0	0.8	0.9	0.7
13	C_3^2	1.0	1.0	1.0	0.2	1.0	0.5	0.0
14	C_1^3	0.8	1.0	0.7	0.7	0.5	0.7	0.8
15	C_2^3	0.9	1.0	0.9	0.9	0.5	0.0	0.4
16	C_3^3	0.5	1.0	0.2	0.7	0.4	0.7	0.2
17	C_1^4	1.0	0.5	0.5	0.3	0.2	0.1	0.0
18	C_2^4	1.0	0.6	1.0	1.0	0.2	0.8	0.8
19	C_3^4	1.0	0.5	0.8	0.9	0.3	0.1	0.9
20	C_1^5	0.6	0.7	0.5	0.4	0.8	0.5	0.3
21	C_2^5	0.6	0.7	0.7	0.1	0.3	0.9	0.6
22	C_3^5	0.6	0.5	0.9	0.5	0.3	0.1	1.0

Указанные оценки соответствую весам связей между вершинами-исполнителями и соответствующими вершинами компетенциями.

ТАБЛИЦА III. ВЕСА СВЯЗЕЙ МЕЖДУ НЕКОТОРЫМИ ВЕРШИНАМИ

Номер вершины-источника	Номер вершины-приемника	Сила связи
23	25	0.4
23	26	1
24	26	0.5
25	27	1
26	27	1
23	28	1
24	28	0.8
25	28	0.8
26	28	1
27	28	0.9

a. Описание вершин, номера которых приведены в данной таблице, содержится в столбцах 3 и 4 Таблицы I.

b. Веса связей между вершинами-компетенциями и вершинами-заданиями в рассматриваемом примере приняты равными 1.

Оценки степени занятости потенциальных исполнителей в других проектах ($\{r_i\}$) примем равными 0.

В рассматриваемом примере $q_{max}(P) = 58.98$ – максимально возможное значение целевой вершины когнитивной карты проекта – оценка успешности проекта (вычисляется при задании всем вершинам-компетенциям максимальных значений, равных единице). Одним из ограничений данной задачи является то, что одному исполнителю не могут быть одновременно поручены задания 1 и 2 (соответствуют этапу 1, см. рисунок 1) и задания 3 и 4 (соответствуют этапу 2, см. рисунок 1).

Программно разработанная процедура отбора команды исполнителей была реализована в среде Matlab. Оптимальное решение (в используемой двоичной кодировке) – {010100011000000}, значение целевой функции (3) при $K_2 = K_3 = 200$ равно 7.5443e-04. Полученное решение соответствует следующему распределению заданий между исполнителями – {1 2 2 1 3}.

Полученное распределение соответствует ожидаемому распределению заданий, в соответствии с которым были выбраны начальные данные в приведенном примере.

Дальнейшее изучение рассматриваемой задачи будет заключаться в исследовании возможности применения различных операторов генетического алгоритма с целью минимизации времени расчетов.

VI. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенная в статье процедура отбора исполнителей для реализации проекта позволяет учитывать при оценке успешности проекта достаточно сложные для формализации условия и ограничения, касающиеся специфики выполняемых в рамках проекта заданий. Дальнейшее развитие предложенного подхода видится в разработке новых моделей проекта с нечеткими параметрами, такими как оценки компетенций, оценки степени занятости исполнителей, длительность этапов проекта, трудоемкость частных заданий и т.д. Также вызывает интерес исследование возможности применения различных типов когнитивных карт (нечетких, нечетких продукционных и т.п.) для построения модели проекта и исследование возможности применения когнитивных моделей для более точной оценки компетенций потенциальных исполнителей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

[1] Захарова Е.М., Минашина И.К. Обзор методов многомерной оптимизации // Информационные процессы. – 2014. –Том 14., № 3. – С. 256–274.

[2] Грешилов А.А. Математические методы принятия решений. Учебное пособие для вузов. – М.: Изд-во МГТУ, 2006. – 584 с.

[3] Овчинников В. А. Систематизация точных методов дискретной оптимизации// Наука и Образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн.– 2015. – № 06. – С. 288–304.

[4] Медведева О.А. Модели и алгоритмы решения многокритериальных задач о назначениях с дополнительными ограничениями: автореф. дис... канд. физ.-мат. наук. – Воронеж: ЛГТУ, 2013. – 19 с.

[5] Асанов А.З., Мышкина И.Ю. Исследование возможности применения нейронных сетей при решении задачи отбора команды для реализации проекта // Проблемы управления. – 2017. – №1. – С. 31-39.

[6] Myshkina I. Yu., Asanov A.Z., Grudtsyna L.Yu. Evaluation and selection of personnel based on clear and fuzzy cognitive models // International Journal of Soft Computing. – 2015. – Vol. 10. – P. 448–453.

[7] Асанов А. З., Мышкина И.Ю. Когнитивное моделирование в задаче оценки соответствия соискателя вакансий квалификационным требованиям // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2012. –№12. – С. 29–34.

[8] Борисов В. В., Круглов В.В., Федулов А.С. Нечеткие модели и сети. – М. : Горячая линия –Телеком, 2007. – 284 с.

[9] Егорова И. Е. Интеллектуальная система на основе генетических алгоритмов для оптимизации состава организационных структур в области разработки и внедрения инноваций: автореф. дисс. ... канд. экон. наук: 08.00.13 / Егорова Ирина Евгеньевна. – Волгоград, 2006. – 26 с.

Модельный анализ влияния экспорта энергоносителей на взимание таможенных платежей в Российской Федерации

Атаманюк О.В.
Самарский государственный технический университет
Самара, Россия
atamaniuk.ov@gmail.com

***Abstract* – the author studies the possibility of a model analysis of the influence of various factors on the collection of export customs duties on energy exports across the customs border of the Eurasian Economic Union (hereinafter referred to as the EAEU) based on multiple regression. As a simulated indicator, export customs duties levied by customs authorities to the state budget due to the movement of energy resources across the customs border of the EAEU are considered. The factors included in the model were the value of the energy resources transferred across the customs border of the EAEU (commodity items 2709, 2710 and 2711 in the Common Commodity Nomenclature of the EAEU's foreign economic activity).**

The results of the model analysis showed that an increase in factor X_1 (value of energy resources) by 1% leads to an increase in Y (the amount of export customs duties) by an average of 0.93%, and an increase in X_2 (the volume of shale oil production in the USA) by 1% leads to a decrease in Y by an average of 0.66%.

As a result of three-dimensional modeling, it is shown that the maximum amount of export customs duties is achieved when the ratio of factors is approximately 80. Thus, the state, maintaining this ratio, can implement its customs policy in such a way as to receive the maximum possible export customs duties from the federal budget. sales of own energy abroad.

The study showed that the Russian Federation has only an indirect effect on the containment of shale oil production in the United States (for example, by building oil pipelines — new logistics corridors to third importing countries — for example, the European Union). Consequently, a significant impact can be exerted by a flexible policy regarding the value of energy resources (factor X_1). Such a policy can be applied by the state by imposing various quantitative restrictions (quotas) and cost norms on the export of energy resources for a certain period of time according to the required nomenclature in physical or value terms.

Ключевые слова – модельный анализ, множественная регрессия, экспорт, энергоносители, таможенные платежи.

I. Введение

В настоящее время трудно найти какую-либо область науки, где бы не использовалось моделирование как способ отражения реальности. В экономических исследованиях методы моделирования играют важнейшую роль.

Одно из определений понятия модели как инструмента получения знаний сформулировано А.Г. Гранбергом: “Модель – это такой материальный или мысленно представляемый объект, который в процессе исследования замещает объект-оригинал так, что его непосредственное изучение дает новые знания об объекте”.

Математическое моделирование – современный метод исследования экономических систем, основанный на аналогии процессов и явлений, различных по своей природе, но описываемых одинаковыми математическими зависимостями.

Соответственно моделирование – это процесс построения, изучения и применения моделей [10].

Математическая модель, рассматриваемая как математическая задача, характеризуется набором следующих элементов:

- выходными характеристиками;
- входными характеристиками, задающими изменение внешних условий;
- внутренними параметрам модели.

Исследование возможности модельного анализа влияния различных факторов на взимание таможенных пошлин при экспорте энергоносителей через таможенную границу Евразийского экономического союза (ЕАЭС) в статье производится на основе множественной регрессии, которая является одним из наиболее распространенных методов в эконометрике. Основная цель множественной регрессии заключается в построении модели с несколькими факторами, определив при этом влияние каждого из них в отдельности, а также совокупное их воздействие на моделируемый показатель.

II. Начальные данные для построения модели множественной регрессии

На первом этапе рассмотрим факторы, включаемые во множественную регрессию. Такие факторы должны отвечать требованиям:

- факторы должны быть количественно измеримы;
- факторы не должны быть интеркоррелированы и находиться в точной функциональной связи.

В данном случае факторами, которые могут быть включены во множественную регрессию, являются стоимостной объем энергетических ресурсов, перемещаемых через таможенную границу ЕАЭС (товарные позиции 2709, 2710 и 2711), и объемы добычи сланцевой нефти в США.

©2019 ИПУСС РАН, СамГТУ, IEEE

Структурно предлагаемая модель представлена на рисунке 1 [1].

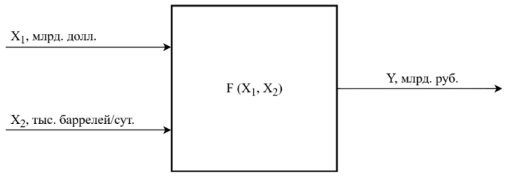


Рис. 1. Структурное представление модели

Значения моделируемого показателя (вывозных таможенных пошлин) и факторов, включаемых во множественную регрессию (стоимостной объем энергетических ресурсов, перемещаемых через таможенную границу ЕАЭС (товарные позиции 2709, 2710 и 2711), и объемы добычи сланцевой нефти в США), за период 2015 – 2017 гг. представлены в таблице 1. Число измерений n равно 12.

ТАБЛИЦА I. ДАННЫЕ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ МОДЕЛИ МНОЖЕСТВЕННОЙ РЕГРЕССИИ (ИСТОЧНИК: СОСТАВЛЕНО АВТОРОМ ПО [2, 3, 4, 5])

Квартал	Стоимостной объем x_1, млрд. долл.	Объем добычи сланцевой нефти в США x_2, тыс. баррелей/сут.	Вывозные таможенные пошлины y, млрд. руб.
1	56,06717	5965,04	749,1
2	56,11446	5484,29	749,73
3	47,05474	5440,42	628,69
4	45,25757	5784,19	604,68
5	33,5464	5229,14	435,45
6	37,82015	5717,44	490,92
7	38,87957	5723,83	504,67
8	44,91105	5278,52	582,96
9	50,21923	6036,5	502,17
10	47,09548	5726,05	470,94
11	45,45936	5237,14	454,58
12	52,26511	6519,91	522,63

Уравнение множественной регрессии применительно к данным, представленным в таблице 1, имеет вид [6, 9]:

$$y = a \cdot x_1^{\alpha_1} \cdot x_2^{\alpha_2} \cdot \varepsilon, \qquad (1)$$

где α_1 и α_2 – коэффициенты эластичности (чувствительность), соответственно, факторов x_1 и x_2;

a – масштабный коэффициент.

Для нахождения параметров регрессии необходимо провести ее линеаризацию. В этом случае уравнение (1) примет вид:

$$Y = A + \alpha_1 \cdot X_1 + \alpha_2 \cdot X_2 + E, \qquad (2)$$

где $Y = \ln y, A = \ln a, X_1 = \ln x_1, X_2 = \ln x_2, E = \ln \varepsilon$.

Составим вспомогательную таблицу для преобразованных данных (таблица 2).

ТАБЛИЦА II. ВСПОМОГАТЕЛЬНАЯ ТАБЛИЦА ДЛЯ ПРЕОБРАЗОВАННЫХ ДАННЫХ

Квартал	LnX_1	LnX_2	LnY
1	56,06717	5965,04	749,1
2	56,11446	5484,29	749,73
3	47,05474	5440,42	628,69
4	45,25757	5784,19	604,68
5	33,5464	5229,14	435,45
6	37,82015	5717,44	490,92
7	38,87957	5723,83	504,67
8	44,91105	5278,52	582,96
9	50,21923	6036,5	502,17
10	47,09548	5726,05	470,94
11	45,45936	5237,14	454,58
12	52,26511	6519,91	522,63

III. РАСЧЕТ КОЭФФИЦИЕНТОВ РЕГРЕССИИ

Для оценки параметров уравнения множественной регрессии применяют метод наименьших квадратов. Он дает наилучшие оценки параметров уравнения регрессии. В качестве критериев идентификации параметров модели применим, согласно методу наименьших квадратов, минимум квадратичного отклонения модельных значений $Y_m(t)$ от реальных данных Y(t):

$$\sum_{i=1}^{T} (Y_m(t_i) - Y(t_i))^2 \to \min, \qquad (3)$$

где t_i – временные интервалы исследуемого периода T (в работе t_i соответствуют кварталу) [7, 8].

В статье рассматриваются экономические явления, между которыми существуют нелинейные соотношения, следовательно, они могут быть выражены с помощью соответствующих нелинейных функций.

Широкое использование степенной функции связано с тем, что параметр α_1 и α_2 в ней имеет четкое экономическое истолкование – он является коэффициентом эластичности.

Коэффициент эластичности показывает, на сколько процентов изменится в среднем результат (в нашем случае, сумма вывозных таможенных пошлин), если фактор x_1 или x_2 изменится на 1%. Возможны случаи, когда расчет коэффициента эластичности не имеет смысла. Это происходит тогда, когда для рассматриваемых признаков определение изменения в процентах бессмысленно [6, 9].

В результате расчетов было получено уравнение множественной регрессии:

$$Y = 8.5058 + 0.93X_1 - 0.66X_2, \qquad (4)$$

Проведя обратную замену, получена искомая модель:

$$y = 4.9 \cdot 10^3 \cdot x_1^{0.93} \cdot x_2^{-0.66}, \qquad (5)$$

На рисунке 2 графически сопоставлены модельные расчеты и реальные данные.

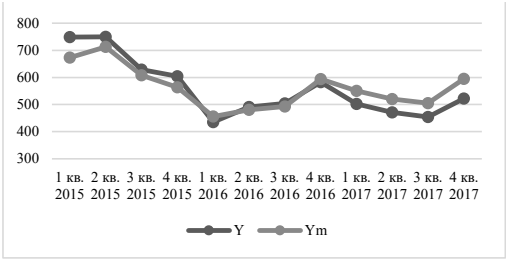


Рис. 2. Сопоставление модельных расчетов и реальных данных (источник: составлено автором)

Далее приведем экономическую интерпретацию параметров модели. Проведенный модельный анализ позволяет заключить следующее:

IV. Оценка экономической эффективности предложений по результатам модельного анализа

1) Увеличение X_1 (стоимостного объема энергоресурсов) на 1 % приводит к увеличению Y (сумма вывозных таможенных пошлин) в среднем на 0.93 %.
2) Увеличение X_2 (объема добычи сланцевой нефти в США) на 1 % приводит к уменьшению Y в среднем на 0,66 %.
3) Статистическая значимость уравнения проверена с помощью коэффициента детерминации (0,52) и критерия Фишера (4,87).

На рисунке 3 в трехмерном измерении графически представлено влияние стоимостного объема энергоресурсов, экспортируемых за рубеж, и объема добычи сланцевой нефти в США на сумму вывозных таможенных пошлин, уплачиваемых экспортерами за поставку энергоресурсов в третьи страны.

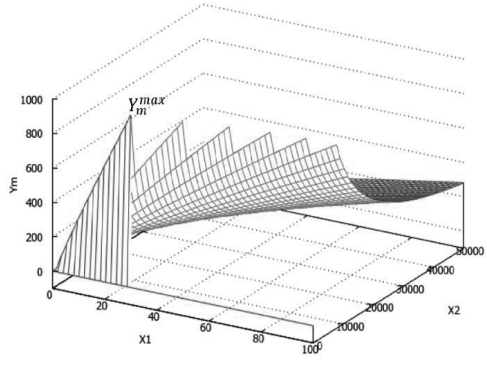


Рис. 3. Влияние заданных факторов X_1 и X_2 на сумму вывозных таможенных пошлин в трехмерном измерении

Графическое изображение дает понять, при каких значениях X_1 и X_2 достигается максимальная величина суммы вывозных таможенных пошлин ($Y_m^{\max}$). Графически определив $Y_m^{\max} = 600$, найдем значения X_1 и X_2. $X_1 = 20$, $X_2 = 1600$.

Следовательно, выдерживая соотношение факторов $\frac{x_2}{x_1} \approx 80$, государство может осуществлять свою таможенную политику таким образом, чтобы получать в федеральный бюджет максимально возможные вывозные таможенные пошлины от продажи собственных энергоресурсов за рубеж.

V. Заключение

Если влияние на сдерживание добычи сланцевой нефти в США (фактор X2) Российская Федерация имеет минимальное (например, путем строительства нефтепроводов – новых логистических коридоров в третьи страны-импортеры – например, ЕС), то существенное влияние может быть оказано за счет гибкой политики в отношении стоимостного объема энергетических ресурсов (фактор X_1).

Такая политика может быть применена государством путем установления различных количественных ограничений (квот) и стоимостных норм вывоза энергоресурсов на определенный период времени по необходимой номенклатуре (в данном случае 27 товарная группа) в натуральном или стоимостном выражении.

Список литературы

[1] Атаманюк О.В., Трубицын К.В. Роль таможенных органов в вопросе импортозамещения при обеспечении энергетической безопасности страны // Экономика, экология и общество России в 21-м столетии: сборник научных трудов 18-й Международной научно-практической конференции. 23-24 мая 2016 года. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2016. – С. 445-448.

[2] Таможенная служба Российской Федерации в 2015 году: справочные материалы к расширенному заседанию коллегии ФТС России [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.customs.ru/index.php?option=com_content&view=article&id=7995&Itemid=1845 (дата обращения: 18.03.2018).

[3] Таможенная служба Российской Федерации в 2016 году: справочные материалы к расширенному заседанию коллегии ФТС России [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.customs.ru/index.php?option=com_content&view=article&id=7995&Itemid=1845 (дата обращения: 18.03.2018).

[4] Таможенная служба Российской Федерации в 2017 году: справочные материалы к расширенному заседанию коллегии ФТС России [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.customs.ru/index.php?option=com_content&view=article&id=7995&Itemid=1845 (дата обращения: 18.03.2018).

[5] Обзор – Фьючерс на нефть Brent [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ru.investing.com/commodities/brent-oil (дата обращения: 15.03.2018).

[6] Замков О.О., Толстопятенко А.В., Черемных Ю.Н. Математические методы в экономике: Учебник. – М.: МГУ им. М.В. Ломоносова, Издательство «ДИС», 1997. – 368 с.

[7] Гаврилова А.А. Методы моделирования, управление и принятие решений в социально-экономических системах: учебное пособие / А.А. Гаврилова, А.Р. Диязитдинова, М.В. Цапенко. – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2015. – 248 с.

[8] Дилигенский Н.В. Построение и идентификация математических моделей производственных систем: учебное пособие / Н.В. Дилигенский, А.А. Гаврилова, М.В. Цапенко. – Самара: ООО «Оформ», 2005. – 126 с.

[9] Эконометрика: Учебник / под ред. И.И. Елисеевой. – М.: Финансы и статистика, 2002. – 344 с.

[10] Куимова Г.М. Цели экономико-математического моделирования и анализа экономических объектов // Экономика и экономические науки: сборник материалов научно-технической конференции. – г. Вологда.: Изд-во ФГАОУВО «Дальневосточный федеральный университет», 2012. – С. 7-9.

Методика системного анализа промышленного предприятия с целью управления его внешнеэкономической деятельностью

Батаев В.В.
Самарский государственный технический университет
Самара, Российская Федерация
bataev.63@mail.ru

***Abstract* — This article is devoted to the system analysis of industrial enterprise carrying out foreign economic activity. The rationale for choosing the object of analysis which has basic system properties is presented in paper. An algorithm for the system analysis of industrial enterprise to control foreign economic activity was developed. This algorithm makes possible to produce recommendations of the practical use of this analysis findings.**

Ключевые слова — системный анализ, промышленное предприятие, функции и взаимодействия элементов системы, методика и алгоритм системного анализа, внешнеэкономическая деятельность

I. Введение

Внешнеэкономическая деятельность (ВЭД) является совокупностью функций организаций, ориентированных на внешний рынок, с учетом выбранной внешнеэкономической стратегии, а также форм и методов работы на зарубежных рынках. Создание условий для развития и обеспечение соблюдения прав и законных интересов участников ВЭД в соответствии со вступившим в силу 04 сентября 2018 года Федеральным законом №289-ФЗ от 03 августа 2018 года «О таможенном регулировании в Российской Федерации и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» (далее – Федеральный закон) [13] являются одними из основных целей таможенного регулирования в Российской Федерации.

Осуществление внешнеэкономической деятельности (далее – ВЭД) промышленными предприятиями позволяет им добиваться целого ряда ощутимых преимуществ. Во-первых, реализация самостоятельной ВЭД предоставляет предприятиям уникальную возможность напрямую, без посредников выходить с продукцией собственного производства на зарубежные рынки, расширяя географию её (продукции) реализации. Во-вторых, появляются альтернативные варианты выбора поставщиков сырья, полуфабрикатов, агрегатов, запасных частей и комплектующих для производства готовой продукции. Наконец, поиск, выбор и последующая закупка высокотехнологичных образцов новейшего оборудования позволяет поддерживать на должном уровне, а в случае необходимости и модернизировать существующие собственные производственные мощности.

Обзор литературы [1 - 11] позволяет сделать вывод о том, что в настоящее время не существует методики системного анализа взаимодействия отечественных промышленных предприятий с таможенными органами с целью разработки предложений по повышению эффективности их внешнеэкономической деятельности (ВЭД).

Подавляющее большинство работ [1 - 11] посвящено системному анализу как всего таможенного дела в целом, так и деятельности таможенных органов, в частности. При этом системному анализу внешнеэкономической деятельности промышленных предприятий, являющихся крупнейшими участниками ВЭД, практически не уделено должного внимания. Кроме того, в существующих научных трудах недостаточно исследованы актуальные вопросы снижения временных и финансовых непроизводственных издержек участников ВЭД при осуществлении таможенного контроля в отношении перемещаемой ими продукции.

В то же время связанная с перемещением через таможенную границу Евразийского экономического союза товаров (оборудования, сырья, материалов, комплектующих, агрегатов, запасных частей, а также готовой продукции собственного производства) внешнеторговая деятельность крупнейших промышленных предприятий, являющихся участниками ВЭД, составляет значительную часть оборота этих предприятий. Соответственно, экономическая эффективность осуществляемой внешнеторговой деятельности существенно влияет на общую экономическую эффективность всего промышленного предприятия в целом.

Подтверждением актуальности исследований в данном направлении являются положения Федерального закона [13]. Так, в соответствии со статьей 266 Федерального закона [13] одним из основных критериев оценки деятельности таможенных органов, наряду со скоростью совершения таможенных операций, является сокращение непроизводственных издержек участников внешнеэкономической деятельности при совершении ими таможенных операций. Так как количество совершаемых таможенных операций, в зависимости от условий поставки, выбранной таможенной процедуры, наличия или отсутствия необходимых для таможенных целей документов (транспортных, коммерческих, товаросопроводительных, разрешительных и др.), может быть значительным, то и неоправданно увеличенные сроки их совершения способны оказать ощутимое

©2019 ИПУСС РАН, СамГТУ, IEEE

негативное воздействие на эффективность ВЭД предприятия.

В статье предлагаются методика и алгоритм системного анализа промышленного предприятия, являющегося крупным участником внешнеэкономической деятельности, которую оно (предприятие) осуществляет во взаимодействии с таможенными органами Российской Федерации. Данная методика позволяет, используя результаты системного анализа функций элементов системы при осуществлении внешнеэкономической деятельности, сравнить относительную эффективность различных вариантов осуществления ВЭД. По результатам проведенного сравнительного анализа подготавливается заключение об экономической эффективности ВЭД и разрабатываются предложения по её (внешнеэкономической деятельности) оптимизации.

В дальнейшем, после оценки экономической эффективности, полученной в результате внедрения предложений по оптимизации, и получения положительного заключения об экономической эффективности ВЭД, вырабатываются соответствующие рекомендации по практическому использованию результатов системного анализа.

II. Системный анализ промышленного предприятия в процессе осуществления ВЭД

Объектом системного анализа является крупное промышленное предприятие (в том числе, имеющее статус уполномоченного экономического оператора), осуществляющее внешнеэкономическую деятельность (ВЭД) во взаимодействии с таможенными органами Российской Федерации.

Объект анализа может быть рассмотрен как единая система, если этот объект обладает следующими нижеперечисленными основными системными свойствами:

- целостность и делимость;
- наличие существенных устойчивых связей между элементами системы;
- организация и иерархическая структура системы;
- интегративные качества.

A. Целостность и делимость

Промышленное предприятие, являющееся крупным участником ВЭД, и таможенные органы Российской Федерации в процессе их взаимодействия при реализации внешнеэкономической деятельности могут рассматриваться как целостная совокупность элементов, поскольку, с одной стороны, они представляют собой целостное образование, а, с другой стороны, в их составе можно выделить целостные объекты (элементы). Таким образом они обладают свойством делимости. При этом свойство целостности для системы является первичным, поскольку она рассматривается, как единое целое, состоящее из различных разнокачественных элементов, которые одновременно совместимыми.

Структура типового промышленного предприятия может быть представлена в виде элементов, расположенных на четырех иерархических уровнях (рис. 1):

1) Высшее руководство (генеральный директор).
2) Дирекции по направлениям деятельности.
3) Отделы, цеха и участки.
4) Группы, специалисты.

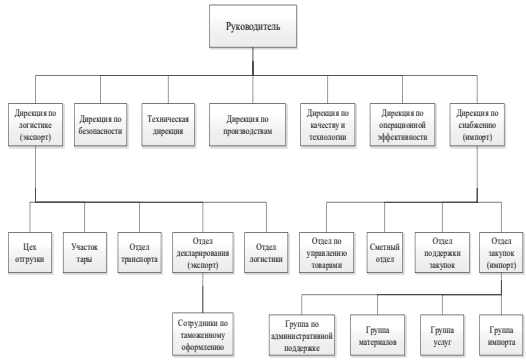


Рис. 1. Структура типового промышленного предприятия

Деятельность должностных лиц подразделений каждого уровня регламентируется должностными инструкциями. При этом наиболее существенные для анализа функции, связанные с осуществлением предприятием ВЭД, реализуются в основном должностными лицами группы импорта и специалистами по таможенному оформлению.

Иерархическая структура таможенных органов Российской Федерации в соответствии с законодательством о таможенном деле также состоит из четырех уровней (рис. 2):

1) Центральный аппарат Федеральной таможенной службы.
2) Соответствующие Федеральным округам региональные таможенные управления.
3) Таможни, в том числе таможни непосредственного подчинения центральному аппарату ФТС России.
4) Таможенные посты.

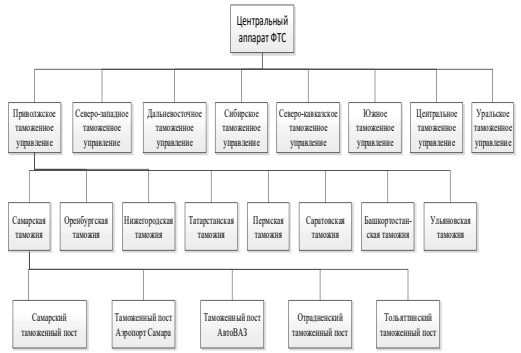


Рис. 2. Иерархическая структура таможенных органов Российской Федерации

Все без исключения элементы подсистемы таможенных органов являются целостными объектами со своими задачами и функциями, определёнными законодательством о таможенном регулировании и нормативными правовыми актами федеральных органов исполнительной власти.

Следует иметь в виду, что все перечисленные элементы осуществляют внешнеэкономическую деятельность лишь в рассматриваемой системе. Вне системы любой из перечисленных элементов может обладать лишь системозначимыми свойствами, приобретая системоопределенное свойство, лишь находясь в системе.

Таким образом, промышленные предприятия и таможенные органы, взаимодействующие между собой в процессе осуществления внешнеэкономической деятельности, могут быть рассмотрены как система, т.е. как единое целое, состоящее из разнокачественных, но при этом совместно взаимодействующих друг с другом элементов.

B. Наличие существенных устойчивых связей между элементами

Несмотря на преобладание индивидуальных свойств и функций отдельных элементов рассматриваемой системы, их взаимодействия между собой в процессе осуществления внешнеэкономической деятельности характеризуются значительным количеством разнообразных существенных устойчивых связей, превосходящих по мощности (силе) связи (отношения) этих элементов с элементами, не входящими в данную систему.

Наличие указанных существенных связей с закономерной необходимостью определяет интегративные свойства системы, отличает рассматриваемую систему от простого конгломерата и выделяет ее из окружающей среды в виде целостного образования.

Следует отметить, что при системном анализе рассматриваются не любые хаотичные связи, а существенные, строго регламентированные связи (отношения), которые определяют и подчеркивают интегративные свойства системы по реализации внешнеэкономической деятельности промышленным предприятием во взаимодействии с таможенными органами.

К числу основных характеристик таких связей относятся следующие:

- физическое наполнение;
- направление;
- мощность (сила);
- роль в системе.

По физическому наполнению связи подразделяются на вещественные (материальные), информационные и смешанные. Вещественные (материальные) связи подразумевают движение (обмен) товаров или транспортных средств, являющихся объектами совершения таможенных операций и осуществления таможенного контроля, а также денежных средств и иных финансовых инструментов, необходимых для осуществления внешнеэкономической деятельности.

По направлению в рассматриваемой системе различаются связи однонаправленные и двунаправленные связи (контрсвязи).

Под мощностью связи элементов в рассматриваемой системе понимается сила ее влияния на процесс ВЭД предприятия. Рассматриваемая система существует как целостное образование только тогда, когда мощность существующих связей между элементами рассматриваемой системы на интервале времени, равном времени осуществления предприятием процесса внешнеэкономической деятельности, больше, чем мощность связей этих же элементов с окружающей средой.

Роль связи в рассматриваемой системе определяется характером ее влияния на эффективность процесса осуществления внешнеэкономической деятельности предприятия. С этой точки зрения, в системе предлагается выделить следующие связи: соединительные (обязательные), необязательные, ограничивающие, усиливающие (ослабляющие), ускоряющие (тормозящие), селектирующие, преобразующие, согласующие, координирующие, разрешительные (запрещающие).

C. Организация и иерархическая структура системы

Система, представляющая собой промышленное предприятие, осуществляющее ВЭД во взаимодействии с таможенными органами, обладает определенной организацией. К системообразующим факторам организации системы относятся:

- число элементов системы N;
- число системозначимых свойств элемента;
- число существенных связей, в которых может находиться элемент.

Возникновение организации в системе – это, по существу, актуализация (формирование) существенных связей ее элементов.

Структура системы взаимодействий между таможенными органами и предприятиями металлургической и машиностроительной отраслей промышленности при осуществлении последними внешнеторговой деятельности и выстраивания таможенной политики - есть устойчивая упорядоченность во времени и пространстве ее элементов и связей между ними.

По временному признаку выделяются экстенсивные структуры, в которых с течением времени происходит рост числа элементов, и интенсивные структуры, в которых происходит рост числа связей и их мощностей при неизменном составе элементов. Рассматриваемую систему следует отнести к интенсивным с той оговоркой, что под этим будем понимать, возможность изменения числа связей и их мощности при неизменной в пределах длительности рассматриваемого процесса внешнеэкономической деятельности структуре рассматриваемой системы.

В рассматриваемой системе структура является наиболее консервативной характеристикой, поскольку даже при изменении состояния системы ее структура сохраняется неизменной на протяжении достаточно длительного времени.

D. Интегративные качества

Рассматриваемая система обладает интегративными качествами, т.е. качествами, которые присущи системе в целом, но не свойственны ни одному из ее элементов в отдельности.

К таким качествам относится, прежде всего, возможность осуществления внешнеэкономической деятельности. Ни один из элементов системы не в состоянии самостоятельно и независимо от других элементов осуществлять ВЭД.

Напротив, осуществляя свои функции и взаимодействуя друг с другом в рамках полномочий, каждый из элементов анализируемой системы вносит значительный вклад в осуществление ВЭД всего предприятия.

Набор функций системы в целом возникает как специфическое для рассматриваемой системы следствие реализации всей совокупности функций и дисфункций отдельных элементов. Любой элемент обладает большим количеством свойств. Одни из этих свойств при формировании связей в системе подавляются, другие, напротив, приобретают более отчетливое выражение. При этом обычно системозначимые свойства элементов полностью не подавляются.

В целом при формировании системы проявляются не только полезные функции элементов, обеспечивающие реализацию основных функций системы в целом и сохранение её основных свойств, но и так называемые дисфункции, т.е. функции, негативно влияющие на функционирование системы в целом.

Основными системными характеристиками функций являются:

- совместимость на элементном уровне;
- изменчивость во времени;
- интенсивность (выраженность);
- детерминированность (степень определенности).

III. Алгоритм системного анализа ВЭД промышленного предприятия

На рисунке 3 представлен алгоритм системного анализа внешнеэкономической деятельности промышленного предприятия, который заключается в реализации следующих этапов:

- анализ общесистемных свойств, включающий в себя анализ структур подсистем таможенных органов и промышленного предприятия;
- анализ функций, выполняемых элементами системы при осуществлении внешне-экономической деятельности;
- характеристика связей элементов анализируемой системы;
- построение математической модели;
- осуществление анализа эффективности внешнеэкономической деятельности;
- проведение сравнительного анализа относительной эффективности вариантов осуществления внешнеэкономической деятельности;
- разработка предложений по оптимизации внешнеэкономической деятельности промышленного предприятия с целью повышения ее эффективности;
- оценка экономической эффективности предложения по оптимизации внешнеэкономической деятельности промышленного предприятия;
- подготовка заключения об экономической эффективности внешнеэкономической деятельности промышленного предприятия;
- выработка рекомендаций по практическому использованию результатов проведенного системного анализа.

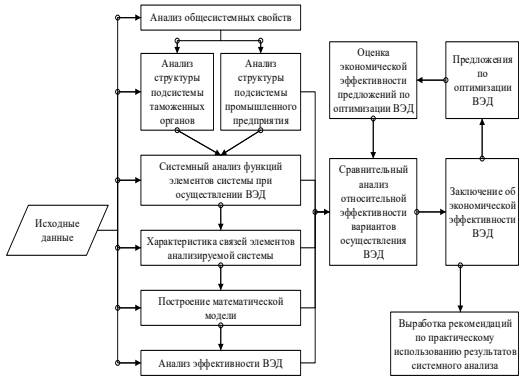


Рис. 3. Алгоритм системного анализа ВЭД промышленного предприятия

Исходными данными для системного анализа являются:

- структура промышленного предприятия, являющегося участником внешнеэкономической деятельности (в том числе, имеющего статус уполномоченного экономического оператора);
- должностные инструкции сотрудников и руководящего состава промышленного предприятия, должностные регламенты инспекторского состава таможенных органов, должностные инструкции руководящего состава таможенных органов;
- схема информационных потоков системы взаимодействия элементов промышленного предприятия и таможенных органов всех иерархических уровней;
- документы (внешнеторговый контракт (договор), коммерческие (финансовые),

товаротранспортные, товаросопроводительные, регистрационные, разрешительные и др.), необходимые для целей таможенного декларирования, таможенного контроля и совершения таможенных операций, связанных с помещением товаров и транспортных средств под выбранную таможенную процедуру;

- нормативно-правовые акты, составляющие право ЕАЭС и национальное законодательство о таможенном регулировании, регламентирующие порядок оформления документов, в том числе заполнения таможенной декларации (декларации на товары, транзитной декларации);
- нормативно-правовые акты, составляющие право ЕАЭС и национальное законодательство о таможенном регулировании, регламентирующие порядок соблюдения установленных запретов и ограничений внешней торговли;
- техническая документация промышленного предприятия на импортируемые оборудование, комплектующие, узлы и агрегаты, а также на экспортируемую продукцию собственного производства;
- иные нормативные документы промышленного предприятия, касающиеся осуществления внешнеэкономической деятельности.

IV. Заключение

Проведенное исследование показало, что объект системного анализа, представляющий собой промышленное предприятие, осуществляющее внешнеэкономическую деятельность во взаимодействии с таможенными органами Российской Федерации всех четырех иерархических уровней, может рассматриваться, как система, обладающая следующими общесистемными свойствами:

- целостность и делимость;
- наличие существенных устойчивых связей между элементами системы;
- наличие организованной и иерархической структуры системы;
- обладание интегративными качествами.

В процессе исследования разработан алгоритм системного анализа внешнеэкономической деятельности промышленного предприятия, позволяющий вырабатывать рекомендации по практическому использованию результатов такого анализа.

Так, по результатам заключения об экономической эффективности внешнеэкономической деятельности, полученного путем сравнительного анализа относительной эффективности различных вариантов осуществления внешнеэкономической деятельности, разрабатываются предложения по её (ВЭД) оптимизации. Оценка экономической эффективности разработанных предложений, поочерёдный сравнительный анализ различных вариантов и полученное в конечном итоге положительное заключение позволят выработать практические рекомендации по эффективному осуществлению промышленными предприятиями своей внешнеэкономической деятельности.

Список литературы

[1] Афонин П.Н. Таможенное дело // Системный анализ и управление в таможенном деле: Учебное пособие. ISBN 978-5-4383-0021-2 книга электронная pdf.

[2] Афонин П.Н, Афонин Д.Н., Мютте Г.Е., Кондрашова В.А. Системный анализ рисков в пунктах пропуска через государственную границу Российской Федерации при реализации таможенных услуг // Приоритеты России, №18(159) – 2012. УДК 339.543.

[3] Макрусев В.В. Системный анализ в таможенном деле: Учебник // Москва; Берлин: Издательство Директ-Медиа, 2015. ISBN 978-5-4475-5988-5.

[4] Киселев В.Г., Сухоедов Д.В. Основы системного анализа и управления в таможенном деле // Учебно-методическое пособие, Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2013. – 75 с. УДК 004.912(075), ББК 973.2я7

[5] Филимонцева Е.М. Системный подход, как основа управления деятельностью таможенных органов//Проблемы управления, Ростов-на-Дону, 2017. DOI:10.23394/2079-1690-2017-1-3-69-73; УДК 339.54.

[6] Макрусев В.В., Суглобов А.Е. Таможенный менеджмент. Учебник/Москва, 2019 (2-е изд.).

[7] Лосева Ю.Ю., Петрова А.В., Макрусев В.В. Управление таможенными услугами в международной цепи поставки товаров. Студенческий. 2019, №1-2 (45). С.15-20.

[8] Тульцева А.С., Макрусев В.В. Когнитивная модель управления системными рисками в таможенной сфере: идея, особенности реализации. Финансовая экономика. 2018, №6. С.517-521.

[9] Скударнова А.Д., Разживина Д.Д., Макрусев В.В. Показатели деятельности таможенных органов Российской Федерации в условиях реализации концепции «Десять шагов навстречу бизнесу». Стратегии бизнеса. 2018, №9. С.12-16.

[10] Стоялова А.А., Макрусев В.В. Современная форма взаимодействия таможенных органов с бизнес-сообществом. International Journal of Professional Science. 2018. № 4. С. 42-46.

[11] Калинина Н.М., Елкин С.Е., Хачатурян Т.Г., Кондрашова Л.В. Интегрированный контроллинг в промышленности: системность оценки деятельности хозяйствующего субъекта // Вестник Омского университета. Серия: Экономика. 2013, №1. С.121-127.

[12] Николаев В.И., Брук В.М. Системотехника: методы и приложения//Л.:Машиностроение, Ленинград.отд-ние, 1985.

[13] Федеральный закон от 03 августа 2018 года №289-ФЗ «О таможенном регулировании в Российской Федерации и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» (принят Государственной Думой 26 июля 2018 года, одобрен Советом Федерации 28 июля 2018 года)

Анализ конечных изменений как метод исследования иерархических организационных систем

Блюмин С.Л.
Липецкий государственный технический университет
Липецк, Россия
sabl@lipetsk.ru

Боровкова Г.С.
Липецкий государственный технический университет
Липецк, Россия
haligh@mail.ru

Сысоев А.С.
Липецкий государственный технический университет
Липецк, Россия
anton_syssoyev@mail.ru

***Abstract* — Analysis of finite fluctuations is a complex of methods, based on different variants of mean value theorem. In this paper we show practical features of applying some of these methods to studying hierarchical organizational systems. In the focus of the study is the chain analysis of finite fluctuations, which affords to split hierarchical organizational system on its simpler parts. Chain analysis of finite fluctuations based on Lagrange theorem and the same analysis based on the second mean value theorem and the Bonnet formulas are compared. The university rating system is studied as hierarchical organizational system (which is also a socio-economic system).**

Ключевые слова — математический анализ, формулы Бонне, вторая теорема о среднем.

I. Введение

Анализ конечных изменений (АКИ) представляет собой комплекс методов, основанных на различных вариантах теоремы о среднем и предназначенных для исследования зависимости изменения некоторой функции (показателя) от изменений ее аргументов (факторов).

Среди известных методов АКИ следует выделить цепной лагранжев анализ конечных изменений (ЦЛАКИ), позволяющий расщеплять сложную зависимость на более простые для облегчения процедуры анализа. Такое разбиение актуально при исследовании иерархических организационных систем, так как в них четко прослеживается зависимость верхних уровней от нижних, что и определяет сам процесс разбиения.

Помимо ЦЛАКИ, эффективным методом анализа является АКИ, основанный на теоремах Бонне и на второй теореме о среднем. Их отличие заключается в том, что параметр промежуточной точки, необходимый для вычисления факторных влияний, входит в эти формулы прямым образом и может быть выражен в отличие от теоремы Лагранжа.

Рассмотрим данные методы и особенности их применения на примере информационно-аналитической системы «Рейтинг университета», которая является организационной иерархической системой.

II. Лагранжев анализ конечных изменений

Лагранжев анализ конечных изменений (ЛАКИ) является самым первым методом, лежащим в основе идеи создания остальных методов АКИ. Он построен на теореме Лагранжа (теореме о среднем дифференциального исчисления, теореме о промежуточной точке). Для функции одной переменной ее можно записать следующим образом

$$\Delta y = f'(x^{(0)} + \alpha \cdot \Delta x) \cdot \Delta x = L \cdot \Delta x, \qquad (1)$$

где $\Delta y = y(x^{(1)}) - y(x^{(0)})$ – приращение функции, $x^{(0)}$ – начальное значение аргумента, $x^{(1)}$ – конечное, $\alpha \in [0;1]$ – параметр промежуточной точки, $\Delta x = x^{(1)} - x^{(0)}$ – приращение аргумента, $L = f'(x^{(0)} + \alpha \cdot \Delta x)$ – факторная нагрузка, $L \cdot \Delta x$ – факторное влияние (L – от *Lagrange*).

Таким образом, теорема Лагранжа позволяет находить факторное разложение приращения функции в приращения ее аргументов. Однако параметр промежуточной точки, необходимый для этого, находится под знаком производной, что значительно усложняет процедуру анализа, особенно при исследовании функций нескольких переменных, поскольку для них теорема Лагранжа выглядит следующим образом

$$\Delta y = \sum_{i=1}^{n} L_i \cdot \Delta x_i = \sum_{i=1}^{n} \frac{\partial f(a_1 + \alpha \cdot \Delta x_1, \ldots, a_n + \alpha \cdot \Delta x_n)}{\partial x_i} \cdot \Delta x_i .$$

Поэтому актуальной является задача поиска альтернативных способов нахождения параметра промежуточной точки.

Все методы, составляющие АКИ на данный момент представлены на рис. 1. Рассмотрим ЦЛАКИ и АКИ, основанный на формулах Бонне и второй теоремы о среднем.

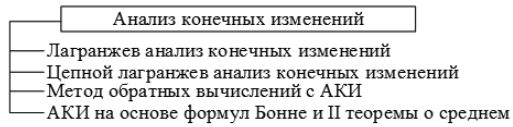


Рис. 1. Методы АКИ

III. Цепной лагранжев анализ конечных изменений

ЦЛАКИ позволяет находить разложение сложной функциональной зависимости в более простые и для них

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Липецкой области в рамках научного проекта 19-47-480003-р_а.

©2019 ИПУСС РАН, СамГТУ, IEEE

находить факторные влияния, показывающие, насколько изменится результирующий показатель при изменении данного фактора на условную единицу. Предпосылки к получению данного метода приведены в [1,2]. Алгоритм модифицированного метода ЦЛАКИ представлен далее:

Шаг 1. Установить, является ли сложной функция, описывающая функционирование данной системы. Для этого разложить по теореме Лагранжа приращение функции через приращение ее аргументов. В случае, если найти параметр средней точки не составляет труда, переходим к шагу 3. Если параметр средней точки найти сложно, то перейти к шагу 2.

Шаг 2. Использовать процедуру свертки исходной функции, как показано на рис. 2, то есть разбить ее на составляющие подфункции таким образом, чтобы каждая новая функция зависела от логически связанного набора факторов. Продолжать процедуру свертки до тех пор, пока нахождение параметра средней точки не становится возможным. Затем переходим к шагу 3.

Шаг 3. Провести анализ конечных изменений:

a) найти параметры промежуточных точек по теореме Лагранжа;

b) рассчитать факторные нагрузки и факторные влияния;

c) провести анализ полученных влияний – выявить наиболее и наименее значимые факторы.

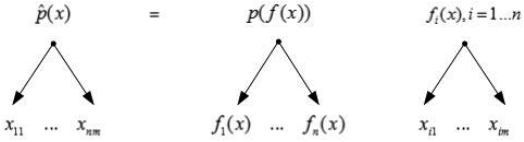


Рис. 2. Процедура свертки функции $\hat{p}(x)$

Таким образом, задача исследования сложной функции сводится к исследованию системы более простых функций, то есть вместо одного параметра промежуточной точки для сложной функции можно найти n параметров для системы более простых. Рассмотрим эту процедуру в п. 5 данной работы. В работах [3-5] представлено подробное описание метода с примерами применения.

IV. АКИ НА ОСНОВЕ ФОРМУЛ БОННЕ И ВТОРОЙ ТЕОРЕМЫ О СРЕДНЕМ

Среднее значение аргумента – это некоторое число, заключенное между его максимальным и минимальным значением. Существует несколько методов поиска среднего значения некоторой функции и оценки количественного влияния факторов на результирующий показатель. При этом существуют универсальные методы, позволяющие однозначно оценить величины факторного влияния. Среди них позицию приоритетного занимает метод интегрирования, вытекающий из метода дробления приращений факторов, развивающего метод дифференциального исчисления. Применение интегрирования даёт возможность получить общий подход к решению задач разного вида. Однако и этот метод имеет ряд недостатков, затрудняющих его широкое применение в практике работы с нестандартными факторными моделями.

В классических учебниках по математическому анализу [6, 7] приведены следующие варианты теоремы о среднем в дифференциальном и интегральном виде:

1) Первая теорема о среднем

Пусть функция $f(x)$ интегрируема на отрезке $[a,b]$, где a и b – есть не что иное, как плановое значение аргумента функции $x^{(0)}$ и фактическое значение $x^{(1)}$ соответственно, и ограничена на нем числами m и M так, что $m \le f(x) \le M$. Тогда существует такое число μ, $m \le \mu \le M$, что

$$\int_a^b f(x)dx = \mu \cdot (b-a)$$

Если при этом функция $f(x)$ непрерывна на отрезке $[a,b]$, то в качестве m и M можно взять ее наибольшее и наименьшее значение (которые, по теореме Вейерштрасса, достигаются), тогда по теореме Больцано-Коши (о промежуточном значении) существует такая точка $c \in [a;b]$, что $f(c) = \mu$, поэтому утверждение первой теоремы о среднем можно переписать в виде

$$\int_a^b f(x)dx = f(c) \cdot (b-a), \qquad (2)$$

Формулировка (2) приведена в [7], п. 304, 9° «Теорема о среднем значении», как теорема о среднем в интегральном исчислении. В [8, п. 2.2.1, с. 51] показано, как связаны теоремы о среднем в дифференциальном и интегральном исчислении.

2) Теорема Лагранжа

Если к теореме о среднем в интегральном исчислении применить формулу Ньютона-Лейбница, то это равенство запишется так

$$F(b) - F(a) = F'(c) \cdot (b-a), \qquad (3)$$

Переобозначив в (3) $F(x)$ как $f(x)$ получим не что иное, как теорему Лагранжа для функции $f(x)$, при этом положив $c = a + \alpha \cdot (b-a) = a + \alpha \cdot \Delta x$, получим и формулу для нахождения Лагранжева параметра α, необходимого для вычисления факторных нагрузок (1) [8].

3) Формулы Бонне и вторая теорема о среднем

Существует и вторая теорема о среднем. Она вызывает интерес, как возможная предпосылка к новому методу нахождения средней точки. Перед тем как привести ее, рассмотрим формулы Бонне, являющиеся логическим предшествием ко второй теореме о среднем и используемые в ее доказательстве.

Первая формула Бонне: если функция $f(x)$ в промежутке $[a,b]$ монотонно убывает (хотя бы в широком смысле) и неотрицательна, а $g(x)$ – интегрируема, то существует формула

$$\int_a^b f(x)g(x)dx = f(a)\cdot\int_a^\xi g(x)dx,\ a<\xi<b. \quad (4)$$

Вторая формула Бонне: если функция $f(x)$, оставаясь неотрицательной, в промежутке $[a,b]$ монотонно возрастает, а $g(x)$ – интегрируема, то существует формула

$$\int_a^b f(x)g(x)dx = f(b)\cdot\int_\xi^b g(x)dx,\ a<\xi<b. \quad (5)$$

Вторая теорема о среднем: положив, что $f(x)$ монотонна на $[a,b]$, а $g(x)$ – интегрируема, можно утверждать

$$\int_a^b f(x)g(x)dx = f(a)\cdot\int_a^\xi g(x)dx + f(b)\cdot\int_\xi^b g(x)dx,\ a<\xi<b. \quad (6)$$

Вторая теорема о среднем значении касается свойств интеграла от произведения двух функций и может быть сформулирована в разных формах.

В таком виде вторая теорема о среднем не позволяет найти саму среднюю точку, а только утверждает, что такая точка существует. Нахождение средней точки является действием, предшествующим нахождению факторных влияний, необходимых для дальнейшего проведения анализа исследуемых показателей и разработки управленческих воздействий, поэтому развитие этой теоремы является актуальной задачей.

Рассмотрим развитие формул Бонне и второй теоремы о среднем, позволяющие найти среднюю точку для дифференцируемой функции. Методы АКИ, основанные на этих теоремах, дают единственное решение и облегчают процедуру поиска, в отличие от ЛАКИ.

Эти три формулы относятся к интегралу от произведения двух функций $f(x)g(x)$; требования, предъявляемые к функции $g(x)$, позволяют положить $g(x)\equiv 1$. С учетом этого обобщения, с использованием формулы Ньютона-Лейбница и соответствующей подстановки можно получит новые формулы для нахождения параметра промежуточной точки, представленные в табл. I, при этом на f действуют те же ограничения, что и в исходных теоремах. Более подробно вывод представлен в [9].

Таким образом, мы получили три способа нахождения параметра средней точки ρ,σ,τ помимо теоремы Лагранжа, что предшествует нахождению факторных влияний, необходимых для анализа изменения функций и их параметров. Важно отметить, что факторные влияния, найденные по трем новым формулам, не отличаются от найденных по теореме Лагранжа.

ТАБЛИЦА I. ФОРМУЛЫ ПАРАМЕТРОВ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ ТОЧКИ

Подстановка ($a<\xi<b$)	Теорема в дифференциальном виде
$\xi = a+\rho\cdot\Delta x$	$\Delta y = f'(a)\cdot\rho\cdot\Delta x$ (7)
$\xi = a+\sigma\cdot\Delta x$	$\Delta y = f'(b)(1-\sigma)\Delta x$ (8)
$\xi = a+\tau\cdot\Delta x$	$\Delta y = f'(a)\cdot\tau\cdot\Delta x + f'(b)\cdot\Delta x(1-\tau)$ (9)
Пар-тр ср.т. для ф-ии одной переменной	Параметр средней точки для функции многих переменных
$\rho = \frac{\Delta y/\Delta x}{f'(a)}$	$\rho = \frac{\Delta y}{\sum_{i=1}^{n}\frac{\partial f(a_1,\ldots,a_n)}{\partial x_i}\cdot\Delta x_i}$ (10)
$\sigma = 1-\frac{\Delta y/\Delta x}{f'(b)}$	$\sigma = 1-\frac{\Delta y}{\sum_{i=1}^{n}\frac{\partial f(b_1,\ldots,b_n)}{\partial x_i}\cdot\Delta x_i}$ (11)
$\tau = \frac{\frac{\Delta y}{\Delta x}-f'(b)}{f'(a)-f'(b)}$	$\tau = \frac{\Delta y-\sum_{i=1}^{n}\frac{\partial f(b_1,\ldots,b_n)}{\partial x_i}\cdot\Delta x_i}{\sum_{i=1}^{n}\left(\frac{\partial f(a_1,\ldots,a_n)}{\partial x_i}-\frac{\partial f(b_1,\ldots,b_n)}{\partial x_i}\right)\Delta x_i}$ (12)

В отличие от α , параметры ρ,σ,τ входят в формулы (7) – (12) непосредственно, причем линейно, что значительно упрощает их нахождение и дальнейший анализ. Как видно из табл. I, полученные формулы применимы как для функций одной переменной, так и для функций нескольких переменных.

V. ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ АКИ К ИССЛЕДОВАНИЮ ИЕРАРХИЧЕСКОЙ ОРГАНИЗАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

В качестве иерархической организационной системы рассмотрим информационно-аналитическую систему (ИАС) «Рейтинг университета». Иерархичность ее объектов представлена на рис. 3. Как видно рейтинг факультетов составляется из рейтингов кафедр, каждый из которых зависит от результативности преподавателей, студентов и общей образовательной деятельности.

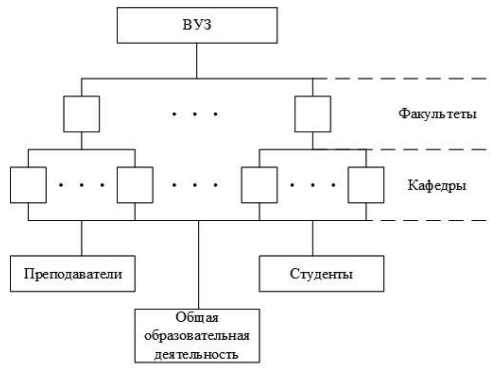


Рис. 3. Иерархичность объектов ИАС «Рейтинг университета»

Математическая модель, описывающая рейтинг кафедры, имеет вид

$$R_{Kj} = \sum_{m=1}^{M} \beta_m \left(\sum_{i=1}^{n_{1m}} \alpha_i \frac{x_{ij}}{x_{i\max}} + \sum_{i=n_{1m}+1}^{n_{1m}+n_{2m}} \alpha_i \frac{\frac{x_{ij}}{Ш_{ППСj}}}{\left[\frac{x_{ij}}{Ш_{ППСj}}\right]_{\max}} + \right.$$

$$\left. + \sum_{i=n_{1m}+n_{2m}+1}^{n_m} \alpha_i \frac{\frac{x_{ij}}{C_{ПРj}}}{\left[\frac{x_{ij}}{C_{ПРj}}\right]_{\max}} \right);$$

модель, описывающая рейтинг преподавателя ФГБОУ ВО «ЛГТУ»:

$$R_j = \sum_{i=1}^{n} \alpha_i \frac{x_{ij}}{x_{i\max}},$$

где R_{Kj} – рейтинг *j*-ой кафедры, в баллах;

R_j – рейтинг *j*-го преподавателя, в баллах;

α_i – весовой коэффициент для *i*-го показателя результативности;

x_{ij} – значение *i*-го показателя результативности *j*-ой кафедры, в единицах измерения;

$x_{i\max}$ – максимальное значение *i*-го показателя результативности для кафедр из данной группы;

$Ш_{ППСj}$, $C_{ПРj}$ – соответствующий нормирующий делитель *j*-ой кафедры;

$\left[\frac{x_{ij}}{Ш_{ППСj}}\right]_{\max}$, $\left[\frac{x_{ij}}{C_{ПРj}}\right]_{\max}$ – максимальное значение отношения *i*-го показателя к соответствующему нормирующему делителю кафедры в данной группе;

$n_m, n_{1m}, n_{2m}, n_{3m}$ – внутри каждой *m*-ой группы в зависимости от необходимости нормирования выделено три вида показателей: не требующих нормирования (их всего n_{1m}), требующих деления на количество ставок преподавателей кафедры по штатному расписанию $Ш_{ППСj}$ (их всего n_{2m}) и требующих деления на приведенный контингент студентов, обучающихся на образовательных программах кафедры $C_{ПРj}$ (их всего n_{3m}); общее количество показателей в *m*-ой группе $n_m = n_{1m} + n_{2m} + n_{3m}$;

M – количество учитываемых в рейтинге направлений работы кафедры (M=8);

β_m – коэффициент значимости для *m*-го направления работы кафедры. Устанавливается ежегодно приказом ректора.

Рейтинг факультета рассчитывается как аккумуляция рейтингов кафедр, входящих в его состав. Более подробное описание ИАС «Рейтинг университета» представлено в [10].

Рассмотрим процедуру применения ЦЛАКИ к модели рейтинга кафедры с целью анализа эффективности деятельности профессорско-преподавательского состава (ППС) за различные отчетные периоды.

На рис. 2 представлена процедура свертки функции $\hat{p}(x)$ (в случае анализа эффективности деятельности ППС она представляет собой функцию расчета рейтинга кафедры, модель (1)), которая в исходном виде зависела от $X_{n\times m} = \{...,x_{ij},...\}, i = 1,...,n,\ j = 1,...,m$ факторов (показателей результативности участников образовательного процесса; m – число показателей результативности, n – число участников образовательного процесса). Факторы были сгруппированы в подфункции $f_i(x_i.)$, смысл этих подфункций – рейтинг преподавателей, а функция $p = p(f) = p(...,f_i,..)$ выражает рейтинг кафедры через рейтинги преподавателей. Подобное разбиение справедливо и при анализе показателей эффективности на выявление слабых и сильных сторон деятельности структурного подразделения [11].

Исследуем изменение эффективности работы ППС некоторого подразделения, на котором задействованы преподаватели из четырех квалификационных категорий – ассистенты, старшие преподаватели, доценты и профессоры. Всего задействовано 9 преподавателей. Фрагмент исходных данных представлен в табл. II. Деятельность данной кафедры оценивается по 69 показателям, в табл. II приведены два для разных отчетных периодов.

ТАБЛИЦА II. ФРАГМЕНТ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ

ППС	2017		2018	
	4.4.3	4.4.4	4.4.3	4.4.4
Асс1	3	0	12	0,33
Асс2	3	0	26	0
Асс3	3	0	21	1,32
МаксАсс	38	0,5	43	1,32
СтПр1	0	0	0	0
МаксСтПреп	17	0	30	0
Доц1	26	0	49	0
Доц2	5	0	22	0
Доц3	27	0	31	0
Доц4	0	0	6	0
МаксДоц	185	2	214	3
Проф1	181	0	178	1,7
МаксПроф	181	2,1	178	3

Применим к этим данным ЦЛАКИ и вторую теорему о среднем (12) с целью исследования влияния изменения рейтингов ППС на изменение рейтинга структурного подразделения. Факторные влияния, найденные по этим двум методам, представлены в табл. III. Иерархичность данной системы здесь использовалась таким образом, что для нахождения параметров промежуточной точки решалось не одно уравнение относительно рейтинга

кафедры, а 9 уравнений относительно рейтингов преподавателей, входящих в состав данного структурного подразделения, то есть было найдено 9 параметров промежуточной точки вместо одного. Это существенно облегчило вычисления. Из этой таблицы видно, у кого из представителей этой кафедры в 2018 году эффективность повысилась по сравнению с 2017 г, и наоборот. Кроме того, факторные влияния, найденными разными методами, совпадают.

ТАБЛИЦА III. ФАКТОРНЫЕ ВЛИЯНИЯ ПО ППС

Ф.И.О.	По ЦЛАКИ	По Бонне	В % по категориям	В % в общем
Асс1	-0,91575	-0,91583	0	0
Асс2	2,405714	2,405707	46,04513	28,6649
Асс3	2,818973	2,818981	53,95487	33,5891
СтПр1	1,098045	1,098056	100	13,0836
Доц1	0,22492	0,22477	10,86675	2,68
Доц2	1,10239	1,10225	53,26062	13,1354
Доц3	0,742493	0,742478	35,87264	8,8471
Доц4	-0,0535	-0,05344	0	0
Проф1	-4,73622	-4,73619	0	0

Такой же анализ проведем и для исследования показателей результативности. Этот анализ покажет, по каким показателям результативности деятельность структурного подразделения повысилась за сравниваемые отчетные периоды, и наоборот.

ТАБЛИЦА IV. ФАКТОРНЫЕ ВЛИЯНИЯ ПО ПОКАЗАТЕЛЯМ РЕЗУЛЬТАТИВНОСТИ

Показатель	Влияние	Показатель	Влияние
4.4.4	2,708306	4.1.3	0,129091
4.4.3	1,471504	4.4.5	0,108287
4.4.7	1,089912	4.1.1	0,023925
4.6.3	1,006425	2.2.1	-0,08333
4.4.2	0,956372	1.5.8	-0,17678
4.5.4	0,94715	5.4.1	-0,25076
4.4.6	0,765674	5.6.4	-0,73499
2.2.2	0,707107	4.5.1	-1,03853
5.4.4	0,691191	1.5.6	-1,07885
5.4.3	0,566905	4.4.9	-1,25186
4.2.2	0,408248	4.1.2	-1,5
4.4.8	0,27982	4.5.3	-1,61721
5.6.2	0,237171	5.4.2	-1,67771

По данным табл. IV можно выделить следующие показатели, по которым эффективность структурного подразделения снизилась:

5.4.2 – Студенческие и аспирантские доклады на всероссийских научных конференциях и семинарах (в том числе студенческих) в отчетном году, кол.;

4.5.1 – Количество лицензий (лицензионных договоров) на право использования интеллектуальной собственности, реализованных за последние три года, (делится на всех соавторов-работников ЛГТУ), кол.;

1.5.6 – Методические указания и учебные пособия (без грифа УМО, НМС и УМС), изданные за отчетный год, (делится на всех соавторов-работников ЛГТУ), кол.;

4.4.9 – Статьи, тезисы и материалы докладов на других научных конференциях, симпозиумах, семинарах, опубликованные в сборниках научных трудов за отчетный год (делится на всех соавторов работников ЛГТУ), кол.;

4.1.2 – Число выигранных российских грантов за последние три года (делится на всех соавторов-работников ЛГТУ), кол.;

4.5.3 – Заявки на объекты промышленной собственности (изобретения, полезные модели, промышленные образцы), поданные за отчетный год (делится на всех соавторов-работников ЛГТУ), кол.

В качестве рекомендаций руководителям структурных подразделений предлагается на будущий отчетный период усилить работу по этим показателям.

В тоже время, работа кафедры усилилась по следующим показателям результативности:

4.4.4 – Количество статей, изданных в научной периодике, индексируемой в базе Web of Science за отчетный год;

4.4.3 – Количество цитирований в базе РИНЦ за отчетный год;

4.4.7 – Количество статей, изданных в научной периодике, включенной в базу РИНЦ за отчетный год;

4.6.3 – Премии, награды и дипломы, полученные кафедрой за научные исследования в отчетном году, кол.;

4.4.2 – Количество цитирований в базе Scopus за отчетный год.

VI. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье рассмотрены два метода АКИ, ЦЛАКИ и АКИ на основе формул Бонне и второй теоремы о среднем. Проанализированы результаты деятельности ППС с помощью ИАС «Рейтинг университета». Продемонстрирована возможность применения ЦЛАКИ исследования сложных функций к поставленной задаче. На основе полученных результатов может быть сформирована система рекомендаций по развитию деятельности исследуемого подразделения данной иерархической организационной системы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

[1] Блюмин С.Л. Цепной лагранжев анализ конечных изменений. Некоторые приложения // Вестник ЛГТУ. – 2015. – № 4(26). – С. 6-11.

[2] Блюмин С.Л. Цепной лагранжев анализ конечных изменений. Связи с интервальным анализом и экономическим факторным анализом // Вестник ЛГТУ. – 2015. - № 2(24). – С. 6-10.

[3] Блюмин С.Л., Боровкова Г.С. Лагранжев анализ конечных изменений сложных зависимостей // Вестник ЛГТУ. – 2016. – С. 6-13.

[4] Блюмин С.Л., Боровкова Г.С., Сысоев А.С. Применение анализа конечных изменений сложных зависимостей к оценке качества работы ППС // Управление большими системами: материалы XIII Всероссийской конференции молодых ученых, 5-9 сентября 2016 г., Самара. – М. : ИПУ РАН, 2016. – С. 271-285.

[5] Блюмин С.Л., Боровкова Г.С., Сысоев А.С. Цепной лагранжев анализ конечных изменений в системе менеджмента качества предприятия // Международная научная школа «Парадигма». Лето-2016: материалы Межд. научно-практ. конф., 22-26 августа

2016 г., республика Болгария. – Варна: Център за научни изследвания и информация "Парадигма", 2015. – С.24-33.

[6] Фихтенгольц Г.М. Курс дифференциального и интегрального исчисления. Том 1 / Г.М. Фихтенгольц. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2001. – 616 с.

[7] Фихтенгольц Г.М. Курс дифференциального и интегрального исчисления. Том 2 / Г.М. Фихтенгольц. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2001. – 810 с.

[8] Блюмин С.Л., Суханов В.Ф., Чеботарев С.В. Экономический факторный анализ: Монография / Липецк: ЛЭГИ, 2004.— 148 с.

[9] Блюмин С.Л., Боровкова Г.С.Некоторые варианты теоремы о среднем (педагогическая поддержка научно-исследовательской и творческой деятельности обучающихся и педагогов) // Интеграция методической (научно-метадической) работы системы повышения квалификации кадров: материалы XVIII Межд. научно-практ. конф. Ч. 1. – М.; Челябинск: ЧИППКРО, 2017. – С.167-170.

[10] Блюмин С.Л., Боровкова Г.С., Качановский Ю.П. Рейтинговая система Липецкого государственного технического университета // II Международный научно-технический форум «Современные технологии в науке и образовании» (СТНО-2019) (27 февраля – 1 марта 2019 г., Рязань, Россия). – Рязань: РГРТУ, 2019. *(в печати)*

[11] Блюмин С.Л., Боровкова Г.С. Управление образовательной организацией с помощью рейтинговой системы // Вестник РГРТУ, 2019. № 2(67). *(в печати)*

Декомпозиционное представление инновационной деятельности промышленного предприятия

Васяйчева В.А.
Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева
Самара, Российская Федерация
veraavasyaycheva@yandex.ru

Герасимов Б.Н.
Самарский университет государственного управления «Международный институт рынка»
Самара, Российская Федерация
boris0945@mail.ru

***Abstract* - Due to the digital transformation of the domestic economy, it becomes necessary to rethink the approaches to the management of the innovative activity of industrial enterprises. In this regard special attention should be paid to the construction of the structure and the content of elements of the new innovative subprocesses. As a result of the study there it is worked out a model of the development of innovative activity and the reserves for improving the efficiency quality of domestic industrial enterprises are determined.**

Ключевые слова — управление инновационной деятельностью, модель развития инновационной деятельности, эффективность управления инновационной деятельностью предприятия.

I. Введение

В рамках данного исследовании авторами обобщаются традиционные подходы к развитию инновационной деятельности промышленных предприятий, аргументируется практический интерес к осуществлению декомпозиции инновационного процесса и формируется модель управления инновационной деятельностью, учитывающая функции цикла управленческой деятельности и конкретизирующая взаимосвязи между ними. Инновационный процесс состоит из последовательно реализуемых подпроцессов, характер взаимодействия которых обуславливается спецификой деятельности промышленного предприятия и предметной областью, в рамках которой создается инновация.

Методологическую основу исследования инновационной деятельности промышленных предприятий составляют теории деятельности, системного, процессного и функционального подходов, концепции онтологического представления процессов и их атрибутов, декомпозиции системных атрибутов управленческой деятельности и управленческих циклов.

Эффективность реализации инновационных подпроцессов зависит от качества и востребованности входящей информации. Авторская модель управления инновационной деятельностью позволяет осуществлять постоянный информационный мониторинг управленческой деятельности, оперативно решать возникающие проблемы, а также ставить и решать инновационные задачи, обеспечивающие экономический рост промышленного предприятия за счет использования адекватных инструментов и компетенций работников. В условиях ограниченности ресурсов данная модель позволяет более точно и развернуто определить количество технических, трудовых и финансовых ресурсов для реализации программ инновационного проектирования.

Систематический анализ и оценка эффективности реализации инновационных подпроцессов позволит создать благоприятные условия для развития инновационной деятельности и роста конкурентоспособности конкретных промышленных предприятий.

Предложенная модель позволяет улучшать технологическую оснащенность отдельных задач управленческой деятельности, повышая стабильность и устойчивость всей архитектуры инновационной деятельности промышленного предприятия в обозримом будущем.

II. Основная часть

В условиях системного кризиса вопросы повышения эффективности управления инновационной деятельностью предприятий (ИДП) становятся все более актуальными. Необходимость оперативного реагирования на меняющиеся национальные и мировые потребности резко возрастает. В связи с этим требуется глубокое исследование процесса ИДП, охватывающего все составляющие элементы деятельности предприятия, связанные с инновационными циклами, структурой, инструментами и технологиями управления. При этом следует учитывать зарубежный опыт разработки и внедрения инноваций, открывающий отечественным производителям принципиально новые траектории перспективного развития на основе наукоёмкого производства.

Понимание и осмысление отечественного и зарубежного опыта исследования и внедрения инноваций являются платформой для роста конкурентоспособности и устойчивого развития отечественных промышленных предприятий [1, 16, 21]. Развитие ИДП неотъемлемо связано с использованием новых информационных технологий, позволяющих ускорить процесс передачи знаний и умений, обеспечивающих инновационную трансформацию предприятия и охватывающих все системные процессы, способствующие эффективному взаимодействию участников инновационной деятельности.

Основными этапами процесса инновационной трансформации отечественных промышленных предприятий являются следующие:

©2019 ИПУСС РАН, СамГТУ, IEEE

1) поиск новых подходов к ее организации с учетом влияния экзогенных и эндогенных факторов, текущей конъюнктуры рынка и стратегических задач развития отрасли;

2) определение наиболее эффективного инструментария управления ИДП, оценки инновационного потенциала и конкурентоспособности предприятия, позволяющего качественно идентифицировать потенциальные возможности и скрытые резервы инновационного роста;

3) разработка комплексного механизма развития ИДП, обеспечивающего минимизацию затрат и оптимизацию рисков и неопределенности в процессе разработки и внедрения инноваций, рационализацию распределения ресурсов предприятия, оперативность решения стратегических задач.

Процессы формирования и развития парадигмальных и концептуальных подходов к управлению инновационной деятельностью освещены в трудах известных зарубежных ученых таких, как П.Ф. Друкер, Дж. Кларк, Р. Солоу, К. Фримен, Ф. Хайек, Р. Харрод, Й. Шумпетер, а также в работах отечественных исследователей В.И. Винокурова, Б.Н. Герасимова, Г.Я. Гольдштейн, С.Ю. Глазьева, С.Л. Ильенкова, Н.Д. Кондратьева, В.Н. Лопатина Б.Е. Лужанского, А.В. Нестерова, А.В. Тычинского, Д.Ю. Хомутского и др.

Подбор и апробирование методологического инструментария в процессах управления инновационной деятельности рассмотрены в трудах О.М. Белоцерковского, М.А. Гершмана, Б.Л. Кузнецова, Ю.Г. Лавриковой, И.Н. Насырова, О.А. Романовой, О.С. Сухарева, А.И. Татаркина и др.

Оценке и обоснованию качества и эффективности инновационной трансформации промышленных предприятий посвящены работы К.В. Балдина, В.И. Воропаева, Г.И. Иванова, С.Д. Ильенковой, В.А. Колоколова, Б.Л. Кузнецова, В.Г. Медынского, М.Л. Разу, Б.А. Райзберга, Р.А. Фатхутдинова и др.

Вышеперечисленные ученые, безусловно, внесли большой вклад в исследование ИДП, однако, несмотря на широкий спектр работ, ориентированных на повышение эффективности управления инновациями, вопросам формирования инструментов развития ИДП, исследования его структурных элементов и атрибутов, а также характера взаимосвязи традиционных и инновационных объектов уделено недостаточно внимания.

Таким образом, цель настоящего исследования заключается в декомпозиции инновационной деятельности, изучении характера взаимодействия между инновационными подпроцессами и выявлении резервов для повышения эффективности реализации инновационных проектов.

Для эффективного проектирования и развития инновационной деятельности в рамках систем управления предприятиями (СУП) необходимо установить состав и структуру процессов, функционирующие в них, а также показать их место и роль в управленческой деятельности. Это определение весьма уместно, так как целью научного исследования являлось построение (или реформирование), а также целенаправленное применение инструментов методологии процессного управления в деятельности предприятий в соответствии с вызовами внешней среды.

Процесс – это непрерывная последовательная смена состояний каких-либо феноменов (объектов, событий, явлений) в природе и обществе [2]. Однако рассматривать и осуществлять целенаправленную трансформацию форм и содержания традиционных процессов предприятия возможно только в том случае, когда будет разработана шкала времени, к точкам которой будут привязаны те или иные состояния процессов или их частей и, благодаря которым станет возможно их различать, идентифицировать и, наконец, изменять [9].

В работах [10, 24] были представлены и описаны важнейшие процессы, протекающие в современных предприятиях: управление стратегией, управление маркетингом, управление персоналом, управление информацией, управление операциями, управление качеством, управление инновациями, управление финансами, управление безопасностью жизнедеятельности. В этих же работах представлено содержание процессов и их структура на уровне важнейших составных частей – подпроцессов.

Подпроцесс – это некоторая часть процесса, выделенная по определенным правилам и имеющая право на существование и обладающая системными свойствами [1].

По литературным источникам и исследованиям авторов, посвященным структурному содержанию СУП, были определены подпроцессы, составляющие структуру всех основных процессов организаций [2, 13]. Кроме того, авторами были определены подпроцессы инновационной деятельности, которые позволяют исследовать, формировать и развивать все остальные процессы деятельности предприятия.

Качество и эффективность ИДП, по мнению авторов работ [12, 20, 22], оценивается через способность предприятия создавать новые (ключевые) компетенции в соответствии с изменяющимися условиями внешней среды. В связи с этим инновационная трансформация промышленных предприятий должна быть реализована с учетом факторов и условий внешней среды, определяющих вектор инновационного развития экономики страны [15, 18].

В качестве инструмента развития ИДП следует использовать моделирование процессов построения новой структуры инновационной деятельности с заданными свойствами для достижения заявленных целей.

Таким образом, при в процессе построения модели развития ИДП необходимо учитывать основные принципы функционирования и ключевые компетенции инновационного предприятия, точки его инновационного роста, инструменты управления и инновационные мультипликаторы, а также передовые достижения теории инноватики и мировой практики [23, 25]. Определение сущностных характеристик ИДП позволит раскрыть особенности управления

инновационными процессами в условиях циклического развития экономики [17].

Авторская модель развития ИДП (рис.1) представляет собой совокупность взаимосвязанных элементов, реализуемых с целью совершенствования ИДП [3]: контроля осуществляемых подпроцессов, их своевременной корректировки и адаптации к внешним воздействиям, повышения инновационного потенциала.

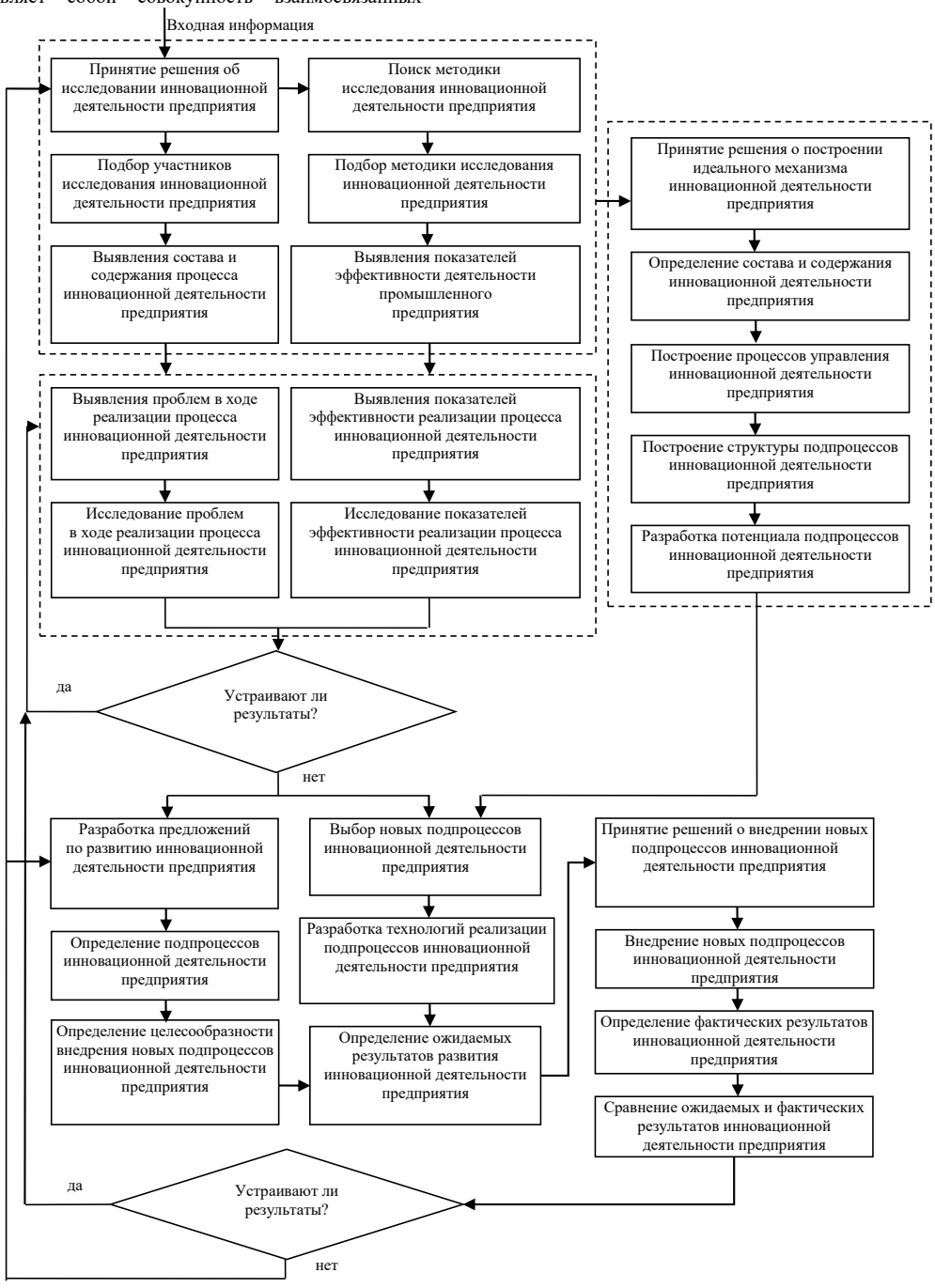


Рис. 1. Модель развития инновационной деятельности предприятия

Каждый из элементов отвечает за четко определенный перечень задач, поставленных в соответствие с инновационной политикой. Их состав и содержание обусловлены отраслевыми особенностями и стратегическими целями предприятия. Любое вмешательство в деятельность данного механизма может повлечь необратимые последствия вплоть до искажения выходной информации. В связи с этим принимаемые управленческие воздействия должны иметь четкое обоснование и объективные прогнозы итоговых показателей.

Рассмотрим подробнее характеристики структурных элементов модели развития ИДП.

Процесс моделирования начинается с принятия решения об исследовании ИДП, которое производится вследствие неудовлетворенности результатами сопоставления данных о текущей деятельности предприятия, его инновационном потенциале и конкурентоспособности и его целевых показателей развития. [4,7] Далее осуществляется подбор участников исследования ИДП, ответственных за качество и своевременность информации, обоснованность и актуальность выводов.

С целью повышения эффективности проводимого исследования необходимо, во-первых, иметь более четкое преставление о составе и содержании подпроцессов ИДП. Для этого конкретизируются задачи, последовательно решаемые в каждый конкретный момент времени, и определяются объекты управления ИДП. При этом необходимо использовать современные методы исследования, учитывающие особенности условий функционирования предприятия и их влияние на его систему управления. В связи с этим реализуются процессы поиска и подбора методики исследования ИДП и выявления наиболее значимых показателей эффективности деятельности предприятия [6].

Выявление проблем в ходе реализации подпроцессов ИДП осуществляется на основе согласованности между качеством управления ими и степенью взаимного влияния друг на друга. Исследование проблем в ходе реализации подпроцессов ИДП дает возможность определить «узкие места» в ИДП и потенциальные риски в деятельности предприятия. Выявление показателей эффективности реализации процесса ИДП и их исследование позволяет получить количественную оценку результативности инновационных процессов и выявить направления их оптимизации через идентификацию и сопоставление ключевых факторов, обеспечивающих инновационный рост предприятия.

Ключевым элементом представленного модели является укрупненный блок «Идеальная система управления инновационной деятельностью предприятия», представляющий целевую интегрированную систему управления ИДП. Перечисленные блоки составляют основу для осознания необходимости и принятия решения о построении идеального модели ИДП. После чего сведения о составе и содержании инновационных подпроцессов конкретизируются, и ложатся в основу их архитектуры с четкой визуализацией взаимосвязей между ними, определенными параметрами входящей и исходящей информации и идентификацией потенциальных направлений адаптации ИДП к внешним изменениям.

Построение процессов управления инновационной деятельности предприятия необходимо для контроля и мониторинга ИДП, четкости передачи информации от одного подпроцесса к другому, оптимизации путей их осуществления, достижения стратегических целей, повышения инновационного потенциала и конкурентоспособности предприятия [8].

Особое значение уделяется *построению структуры инновационной деятельности предприятия*. Здесь под воздействием экзогенных и эндогенных факторов раскрываются функциональные и системные взаимосвязи между инновационными подпроцессами, позволяющие своевременно осуществлять их корректировку на различных этапах жизненного цикла инновации.

Выходная информация этого блока является основой для блока *«Разработка потенциала подпроцессов ИДП»*, где производится оценка потенциала инновационных подпроцессов и обосновывается актуальность выбора управленческих решений, связанных с выбором новых подпроцессов ИДП с учетом приоритетов развития конкретного предприятия [11]. По результатам проведенного исследования делается вывод о необходимости разработки предложений по развитию ИДП либо принимается решение о продолжении исследований ввиду отсутствия объективных причин для корректировки инновационных программ.

Процесс разработки предложений по развитию ИДП является отправной точкой для инжиниринга новых инновационных процессов и повышения инновационного потенциала предприятия. От качества и рациональности инновационных идей зависит влияние ИДП на эффективность деятельность предприятия в целом [5]. При этом важную роль играют новые подпроцессы, возникающие в результате трансформации инновационных предложений в конкретные проекты. В связи с этим *определение и выбор новых подпроцессов ИДП* необходимо производить исходя из *целесообразности их внедрения*, в том числе сочетаемости с существующими подпроцессами и влияния на текущую инновационную стратегию.

Разработка технологий реализации подпроцессов производится согласно базовой концепции и стратегии развития предприятия. Формируемые технологии должны учитывать связи между существующими подпроцессами и особенности выполнения однотипных процедур, регламентировать закрепление участников ИДП, ответственных за реализацию подпроцесса и решение поставленных задач.

Определение ожидаемых результатов развития ИДП позволит прогнозировать изменение основных показателей функционирования предприятия и его конкурентоспособности [19]. Учитывая несколько вариантов развития ИДП, возможно более точно оценить последствия от реализации новых подпроцессов и *принять решение об их внедрении*.

Внедрение новых подпроцессов ИДП сопровождается подробным описанием плана мероприятий с указанием ответственных лиц и сроков его исполнения,

обязательным обучением и переобучением персонала, задействованного в решении поставленных задач. В зависимости от специфики и сложности последних могут быть приобретены и введены в эксплуатацию различные средства, обеспечивающие эффективность реализации новых подпроцессов.

Посредством расчета ключевых показателей ИДП *определяются фактические результаты*, отражающие качество реализованных управленческих воздействий, эффективность внедрения новых подпроцессов, их зависимость от действия экзогенных факторов и обоснование необходимости дальнейшего развития ИДП.

Сравнение ожидаемых и фактических результатов ИДП позволяет определить дальнейшие тенденции развития инновационной деятельности и принять соответствующие управленческие решения. При этом оценку текущих показателей необходимо производить с учетом их динамики в предыдущие периоды функционирования предприятия. Данная процедура базируется на основании утвержденной руководством предприятия методики.

III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Авторская модель развития ИДП представляет собой сложную композицию основных элементов и взаимодействия между ними. Наличие содержания и связей всех структурных элементов инновационной деятельности предприятия дает возможность построения технологий их реализации с использованием адекватных инструментов и учетом компетенций специалистов предприятия.

Моделирование инновационной деятельности предприятия позволяет не только повысить качество и результативность выполнения отдельных процедур, разработать типовые управленческие решения, но и сократить вероятность появления нестандартных ситуаций. Предложенная авторами модель развития ИДП является важнейшим фактором формирования новых возможностей в рамках системы управления предприятием, что позволит оперативно решать возникающие проблемы, а также ставить и решать инновационные задачи, обеспечивающие экономический рост предприятия [14].

В условиях ограниченности ресурсов данная модель позволяет более точно и развернуто определить количество технических, трудовых и финансовых ресурсов для реализации программ инновационного проектирования конкретных предприятий. Регулярность мониторинга протекающих инновационных процессов позволит создать благоприятные условия для роста эффективности проектов развития предприятия. Особо следует отметить, что предложенная модель позволяет улучшать технологическую оснащенность отдельных задач ИДП, повышая стабильность и устойчивость всей архитектуры инновационной деятельности промышленного предприятия в обозримом будущем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

[1] Адизес И.К. Управляя изменениями. Как эффективно управлять изменениями в обществе, бизнесе и личной жизни // пер. с англ. – М.: Манн, Иванов и Фербер, 2014. – 368 с.

[2] Большой экономический словарь // под ред. А.Н. Азрилияна. 7-е изд. доп. – М.: Институт новой экономики, 2008. – 1472 с.

[3] Васяйчева В.А. Повышение уровня конкурентоспособности предприятий транспортного машиностроения на основе управления инновационными проектами. – Самара: Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, 2017. – 177 с.

[4] Васяйчева В.А. Теоретико-методические вопросы управления конкурентоспособностью промышленных предприятий. – Самара: Изд-во «Самарский университет», 2016. – 160 с.

[5] Васяйчева В.А. Основополагающие факторы конкурентоспособности отечественной промышленности // Управленческий учет, 2016. № 6. – С. 10-17.

[6] Васяйчева В.А. Развитие организационно-экономического механизма управления промышленными предприятиями // Управленческий учет. – 2016. – №12. – С. 3-11.

[7] Сахабиев В.А., Сахабиева Г.А. К вопросу об устойчивом развитии бизнес-процессов // Управленческий учет, 2016. №7. – С. 46-51.

[8] Сахабиева Г.А., Сахабиев В.А., Коваленко Т.Д. О развитии профессиональных компетенций молодых предпринимателей Самарской области //Вестник Международного института рынка, 2018. №1. – С. 73-77.

[9] Герасимов Б.Н. Реинжиниринг процессов организации. – М.: ИНФРА-М, 2016. – 256 с.

[10] Герасимов Б.Н. Моделирование взаимодействия процессов организации // Менеджмент и бизнес-администрирование, 2016. №4. – С. 121-128.

[11] Герасимов Б.Н. Повышение эффективности управленческой деятельности на основе оптимизации взаимодействия её элементов // Russian Journal of Management, 2015. Т.3. №3. – С. 240-247.

[12] Герасимов К.Б., Просвиркин Н.Ю. Управление взаимодействием предприятий в промышленном кластере // Russian Journal of Management, 2016. – Т.4. – №2. – С. 218-223.

[13] Каблашова И.В. Инновационное развитие организации производства и управления качеством на основе процессного подхода // Организатор производства, 2015. №4(67). – С. 12-18.

[14] Маякова А.В. Эмпирические подходы к изучению, оценке и управлению качеством // Гуманитарные научные исследования, 2015. №6-2(46). – С. 87-90.

[15] Глазьев С.Ю. Проблемы развития новых технологий в России. – Режим доступа: http://bourabai.kz/articles/glazev0.htm (Дата обращения: 11.06.2018г.).

[16] Гуияр Ф.Ж., Келли Д.Н. Преобразование организации // пер. с англ. – М.: Дело, 2000. – 376 с.

[17] Кондратьев Н.Д. Большие циклы конъюнктуры и теория предвидения.– М.: Экономика, 2002. – 768 с.

[18] Кузык Б.Н., Кушлин В.И., Яковец Ю.В. Прогнозирование, стратегическое планирование и национальное программирование. – М.: Экономика, 2011. – 604 с.

[19] Мищенко Л.Я., Арутюнов Э.Ю. Формирование механизма управления развитием промышленной корпорации. – Краснодар, 2002. – 128 с.

[20] Питерс Т., Уотермен Р. В поисках эффективного управления // пер. с англ. – М.: Прогресс, 1985. – 357 с.

[21] Резник Г.А. Формирование инновационного мышления студентов –необходимое условие модернизации российской экономики // Друкеровский вестник, 2016. № 4. – С. 41–54.

[22] Сазыкина О.А. Внутривузовская система формирования и развития управленческого потенциала //дис. … канд. экон. – Пенза, 2004.

[23] Шеко П. Инновационный хозяйственный механизм // Проблемы теории и практики управления, 1999. №2. – С.71-78.

[24] Gerasimov K, Gerasimov B. Formation of professionalism of executives // International Journal of Educational Management, 2017. Т.31. №:1. – С.45-55.

[25] Zhu L., Cheung S.O. Harvesting Competitiveness through Building Organizational Innovation Capacity // Journal of Management in Engineering. 2017. Vol.33. №5. 04017020.

Архитектура интеллектуальной системы мониторинга и поддержки принятия решений на предприятиях пищевой промышленности

Вешнева И.В.
Саратовский национальный исследовательский университет имени Н.Г.Чернышевского
Саратов, Россия
veshnevaiv@mail.ru

Большаков А.А.
Санкт-Петербургский политехнический университете Петра Великого
Санкт-Петербург, Россия
aabolshakov57@gmail.com

Федорова А.
Ca' Foscari University of Venice
Венеция, Италия
anna.fedorova@unive.it

***Abstract*— The groups of industrial production processes are described on the basis of the Balanced Score Card structure. Key problems of violation of processes and their interrelations are revealed. A causal graph of adverse events is proposed. The minimum sections of the event graph are calculated. For a set of causes and consequences of the minimum cross section, a system of integro-differential equations is proposed. This system is a modification of the Kolmogorov-Chapman equations. However, it allows to include in the mathematical model the intersection of the considered processes. State assessments at event graph nodes use complex-valued status functions.**

Ключевые слова — сбалансированная система показателей, причинно-следственный граф событий, социальная сеть, математическое моделирование, статусные функции, интеллектуальные системы, поддержка принятия управленческих решений

I. Введение

Для исследования свойств сложных социально-экономических сетей активно используются математически модели и методы анализа технических систем [1]. Социально-экономическая сеть – это социальная структура, которая состоит из узлов (отдельные люди, группы людей или сообщества), соединенных между собой одним или несколькими вариантами с помощью социальных связей [2].

Взаимодействие отдельных людей или социальных структур и их функциональные связи часто представляют методами теории графов [3, 4]. Элементы системы при этом представляются вершинами графа [5]. Взаимосвязи и процессы отражаются ребрами графа. Описание надежности функционирования социальной системы является сложным понятием и включает несколько взаимосвязанных свойств, таких как исправность и другие.

Если использовать представление социальной сети, например, промышленного предприятия на основе теории графов, то возможно применять модели и методы теории надежности для разработки моделей социальной сети и их анализа [6]. Одним из известных и часто используемых является метод определения минимальных сечений, основанный на создании математической модели в виде уравнений Колмогорова-Чепмена. Однако, в технической системе узлы и блоки взаимодействуют друг с другом по реальным физическим каналам. Эти каналы четко локализованы в структуре. В социальной сети взаимодействия не всегда происходят по выделенным каналам. Каналы взаимодействия порой не очевидны и локализованы. Кроме этого, происходящие процессы перекрестны.

Учесть возникновение взаимодействия не по выделенному каналу и возможность изменения направленности взаимодействия можно методами нелинейной динамики [7].

Полученные модели должны быть ориентированы на массовость применения. Соответствующие моделями алгоритмы могут быть использованы в интеллектуальной системе.

Представим разработку причинно-следственного графа событий на примере предприятия пищевой промышленности. Выберем одно из его минимальных сечений. Покажем применимость математической модели модифицированных уравнений Колмогорова-Чепмена для его анализа. Предложим архитектуру интеллектуальной системы мониторинга и поддержки принятия решений.

II. Структура причинно следственного графа событий на основе сбалансированной системы показателей

Представим систему контроля показателей функционирования предприятия пищевой промышленности на основе структуры сбалансированной системы показателей [8, 9]. Выделим следующие основные группы показателей, которые образуют ветви причинно-следственного графа D: внешняя среда (клиенты, конкуренты, внешний форс-мажор); финансы; внутренние бизнес-процессы; интеллектуальный потенциал организации (обучение, рост компетентности, креативности персонала). Дуги дерева D представляют причинно-следственные связи между этими событиями. Каждому событию e_i дерева D, кроме концевых событий, соответствует логический оператор «ИЛИ» или «И», выражающий условие возникновения данного события как следствия из событий нижнего уровня. Будем учитывать только неблагоприятные события, которые назовём рисками. В работе считаем, что риск – это событие, заключающееся в нарушении работоспособности узла. В результате структура причинно-следственного графа представляет дерево рисков. Корневая вершина графа является угрозой существования промышленного предприятия «под давлением» неблагоприятного стечения событий. Предполагается, что реализация в соответствии с заданными логическими операторами хотя бы одной из комбинаций концевых событий, которая приводит к корневой вершине и возникает угроза дальнейшего стабильного функционирования предприятия пищевой

©2019 ИПУСС РАН, СамГТУ, IEEE

промышленности. Каждый из наборов вершин причинно-следственного графа, приводящих к реализации события корневой вершины образует одно из минимальных сечений.

Разобьем риски на группы. Для группы рисков внешней среды, будем основываться на традиционной структуре PEST анализа и выделим следующие группы показателей: экономические, социальные, технологические, политические. Расшифровка рисков для соответствующих показателей BalancedScoreCard представлена в табл. 1. Соответствующая структура причинно-следственного графа представлена на рис. 1.

ТАБЛИЦА I. ФРАГМЕНТ ТАБЛИЦЫ ИНДИКАТОРОВ, РАСШИФРОВКИ И ЛОГИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ УЗЛОВ ДЕРЕВА РИСКОВ

№	Обозначение	Расшифровка	Логическая операция
0	0 $\Leftrightarrow e_0$	нарушение возможности функционирования	OR
1	1 $\Leftrightarrow e_1$	внешние риски	OR
2	11 $\Leftrightarrow e_2$	экономические риски	OR
3	111 $\Leftrightarrow e_3$	экономический кризис	
4	112 $\Leftrightarrow e_4$	рост конкуренции	OR
5	1121 $\Leftrightarrow e_5$	конкурент с преимуществом	
6	1122 $\Leftrightarrow e_6$	группа мелких конкурентов	
7	113 $\Leftrightarrow e_7$	изменения в законодательстве	
8	12 $\Leftrightarrow e_8$	риски социальных сетей	OR
9	121 $\Leftrightarrow e_9$	риски в рыночной сети	OR
10	1211 $\Leftrightarrow e_{10}$	нарушение логистики	
11	1212 $\Leftrightarrow e_{11}$	нарушение отношений с долгосрочными поставщиками	
12	1213 $\Leftrightarrow e_{12}$	качество сырья	
13	122 $\Leftrightarrow e_{13}$	риски в сети покупателей	OR
14	1221 $\Leftrightarrow e_{14}$	снижение лояльности клиентов	
15	1222 $\Leftrightarrow e_{15}$	отказ клиентов от выпечки	
16	13 $\Leftrightarrow e_{16}$	технологические	AND
17	131 $\Leftrightarrow e_{17}$	технологические изменения	OR
18	1311 $\Leftrightarrow e_{18}$	изобретение нового оборудования	OR
19	13111 $\Leftrightarrow e_{19}$	использование новых материалов	
20	13112 $\Leftrightarrow e_{20}$	импорт инновационного оборудования	
21	13113 $\Leftrightarrow e_{21}$	интенсификация научных исследований	
22	1312 $\Leftrightarrow e_{22}$	изобретение нового сырья	
23	132 $\Leftrightarrow e_{23}$	использование конкурентами новых технологий	
24	2 $\Leftrightarrow e_{24}$	финансовые	AND
25	21 $\Leftrightarrow e_{25}$	значительные финансовые потери	OR
26	211 $\Leftrightarrow e_{26}$	кредит риск// банкротство должников	
27	212 $\Leftrightarrow e_{27}$	операционный риск// мошенничество, судебные процессы	
…			

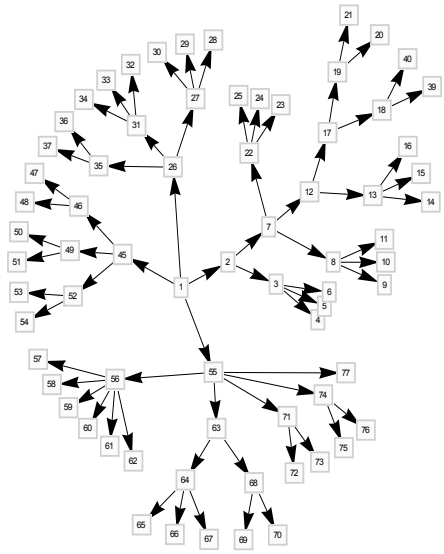


Рис. 1. Дерево D, образованное как причинно-следственный граф анализа деятельности предприятия пищевой промышленности на основе сбалансированной системы показателей

В вершине графа находится событие, которое может быть реализовано в результате возникновения комбинации событий. Представим взаимосвязи между вершинами событий как причину и следствие. Таким образом, вершина графа является следствием некоторой комбинации причин. Эти причины являются вершинами графа 1 уровня. Причины 1 уровня могут быть следствием причин 2 уровня. Если причина является следствием предыдущего уровня, она также реализуется как логическая комбинация этих причин (And или Or).Реализация следствия происходит в результате некоторой логической комбинации причин. Каждой вершине-следствию соответствует логическая мин-максная операция. В рассматриваемой модели это может быть операция либо И (And), либо ИЛИ (Or). Каждое из событий причин происходит с некоторой вероятностью. Операндами операции являются значения в вершинах-причинах для соответствующего следствия. Для представления причинно-следственного графа используется матрица смежности. Логические операции также представляются как матрица. От вершины графа проводится обход графа в глубину и вычисляются наборы вершин-событий, которые приводят к реализации события корневой вершины. Они представляют наборы минимальных сечений.

Оценки событий представляются статусными функциями [10]. Статусная функция является комплексно-значной. Действительная часть является непосредственно оценкой. Возможны 3 значения оценки: низкая, средняя, высокая. Для каждой из возможных оценок вводится знакопеременная функция. Функции являются ортонормированными и образуют полный

базис описываемой системы. Технология приписывания функции оценке состояния вершины аналогична процедуре фаззификации в теории нечетких множеств. Мнимая часть статусных функций строится на основе соответствия полученной оценки целевому показателю и имеет 3 возможных значения -1, 0, +1. Это соответствует: Ниже целевого значения, совпадает с целевым значением, выше целевого значения. Эти оценки являются параметром, преобразующим действительную часть в вектор.

Для полученных значений минимальных сечений вычисляются интегральные моменты оценок событий из соответствующих вершин. Набор вершин минимального сечения, имеющего наибольшее среднеквадратическое отклонение от математического ожидания дерева должен контролироваться, в первую очередь.

Сложность математических моделей, большие объемы контролируемых характеристик, трудоемкие вычисления и алгоритмы требуют использования интеллектуальных информационных систем. В основе анализа и интерпретации данных в этом случае находится экспертный блок интеллектуальной информационной системы.

III. УКРУПНЕННАЯ АРХИТЕКТУРА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА И ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ НА ПРОМЫШЛЕННЫХПРЕДПРИЯТИЯХ

Разработка интеллектуальной системы осуществляется в двух взаимосвязанных блоках. Первый блок является работой менеджера, специалиста по социальным сетям. Вторая часть является непосредственно разработкой математических моделей и архитектуры информационной технологии. Основную часть представляет экспертный блок, который состоит из следующих модулей рис. 2:

1. Информационная технология сбора данных использует «дружелюбный» интерфейс пользователя. Применяется система диалоговых окон. Вводятся списки причин и объединяющая их логика. Каждый список имеет структуру {Следствие, операция связи: причина_1, причина_2, … , причина_n}. В этом случае формируется структура причинно-следственного графа. В другом случае выбирается структура ранее сформированного дерева.

Для показателей вершин вводятся оценки и их параметр ожидаемого целевого значения. Эта система сбора данных является предкоординируемой. Полученные данные передаются в базу знаний [11, 12].

2. База знаний содержит структуру причинно-следственного графа показателей. Используются оценки отдельных показателей на основе статусных функций. Статусная функция содержит как оценку в виде знакопеременной функции, так и ее комплексную часть. Комплексная часть формирует ожидаемый тренд соответствующего показателя.

3. База моделей содержит модели вычисления весовых коэффициентов ребер дерева D. Модели основаны на методах корреляционного анализа.

Вторая группа моделей предназначена для вычисления минимальных сечений дерева D. Используется алгоритм Джонсона, который позволяет найти кратчайшие пути между всеми парами вершин взвешенного ориентированного графа. Этот алгоритм работает, если в графе содержатся рёбра с положительным или отрицательным весами, причем отсутствуют циклы с отрицательным весом. В результате формируются списки минимальных сечений, например $\{e_5\}$, $\{e_6\}$, $\{e_{10}\}$, …, $\{e_{26}, e_{29}\}$, … .

Рис. 2. Укрупненная схема архитектуры интеллектуальной системы мониторинга и поддержки принятия решений на предприятиях пищевой промышленности

Третья группа моделей представляет возможность выбрать их полученных списков нескольких десятков возможных минимальных сечений, которые вносят наиболее значимый вклад в реализацию события корневой вершины дерева D. Это решение основано на вычислении интегральных моментов. Первым выбирается набор вершин дерева D обеспечивающий максимальное отклонение от математического ожидания оценок всех вершин причинно-следственного графа. Модели основаны на вычислении интегральных моментов оценок состояния вершин графа.

На следующем этапе проводится анализ состояний на основе нелинейных интегро-дифференциальных уравнений. Математическая модель основана на уравнениях Колмогорова-Чепмена, решается аналогично работе [5]:

$$\frac{dP_0(t)}{dt} = -P_0(t)\sum_{j=1}^{k}\lambda_j + \sum_{j=1}^{k}\mu_j P_j(t) \qquad (1)$$

$$\frac{dP_i(t)}{dt} = -P_i(t)\pi_i^- + \sum_{j=0}^{2^k-1} \pi_{ij}^+ P_j(t)$$

…

$$\frac{dP_{2^k-1}(t)}{dt} = \sum_{j=1}^{k} \lambda_j P_{2^k-k+j-2}(t)$$

где функции $P_0(t)$, … ,$P_{2^k-1}(t)$ – вероятностей событий, соответствующих вершинам графа G_k, λ_j– значения интенсивностей возникновения события e_j и μ_j– интенсивности противодействия этому событию, π_i – сумма пометок всех дуг, выходящих из i в другие вершины графа, i, $j \in \{0, ..., 2^k\text{-}1\}$, π_{ij} принимает значения либо λ_l если соответствующая дуга графа состояний, входит из состояния j в i, *либо* μ_l, *либо 0* если дуги из состояния i в j графе нет.

Оценки являются комплексно-значными статусными функциями. Следовательно, математические модели базы моделей являются оригинальными.

Введем нелинейность в уравнения Колмогорова-Чепмена. При этом введение статусных функций изменяет интерпретацию результатов вычисления. Вероятность не будет ограничена 1, как в классической интерпретации. Нормировка проводится в смысле интегрирования. При этом потребуется ввести ограничения в уравнения. Введем их по аналогии ограничений в моделях диффузии инноваций [13]. Далее введем учет перекрестности исследуемых рисков в виде члена, пропорционального произведению статусных функций взаимодействующих процессов, описывающих риски в вершинах графа.

Рассмотрим уравнения Чепмена-Колмогорова с нелинейными членами, задающими ограничения роста и перемешиванием вероятностей реализации событий, представленных в вершинах графа. Получим следующие уравнения:

$$\begin{aligned}
&\frac{dP_0(t)}{dt} = \int_{-1}^{1} \left(\sum_{j=1}^{k} P_0(t)(\psi_j(r) - P_0(t) - \psi_j^*(r) P_j(t)) \right) dr, \\
&\qquad \cdots \\
&\frac{dP_i(t)}{dt} = \int_{-1}^{1} \left(\sum_{j=0}^{2^k-1} P_i(t)(\psi_i^* - \psi_j P_j(t) - \psi_j P_i(t)) \right) dr \\
&\qquad \cdots \\
&\frac{dP_{2^k-1}(t)}{dt} = \int_{-1}^{1} \left(\sum_{j=1}^{k} P_{2^k-k+j-2}(t)(\psi_j \right. \\
&\qquad \left. - \psi_{2^k-k+j-2} P_{2^k-k+j-2}(t)) \right) dr
\end{aligned} \tag{2}$$

где функции $P_0(t)$, … ,$P_{2k-1}(t)$ вероятности событий, связанных с вершинами графа D, ψ_j значения вероятностей события e_j представленные статусными функциями.

Решим полученную систему интегро-дифференциальных уравнений и проведем анализ решений.

Например, при возникновении нарушения санитарно-гигиенических норм e_{45}, отсутствие исследовательской деятельности e_{42} и сбой внутренней логистики e_{37} дерева *D* приводит к реализации событий сбоям в производственном процессе e_{35}, реализации предотвратимых неблагоприятных событий e_{32} при этом реализуются опасность неверного управления e_{39} и опасность нарушения правил организации e_{49}. В процессах функционирования организации возникает риски невозможности реализации основных производственных бизнес-процессов e_{31} и приводит к корневой вершине дерева событий D при этом увеличивается риск системного нарушения деятельности предприятия e_0.

Для примера минимального сечения, представленного выше, соответствует система 2^3-1=8-и уравнений. Решения уравнений Колмогорова-Чепмена (1) и их модификации (2) на коротком промежутке времени аналогичны.

График реализации корневого события e_0 на основе решения уравнений (2) представлен на рис.3. для двух различных начальных условий: 1 – P(0)=0.5, P(1)=0.5, P(2)=0.5, P(3)=0.5, P(4)=0.5, P(5)=0.5, P(6)=0.5, P(7)=0.5, 2 – P(0)=1, P(2)=0.5, P(3)=0.5, P(4)=0.5, P(5)=0.5, P(6)=0.5, P(7)=0.5.

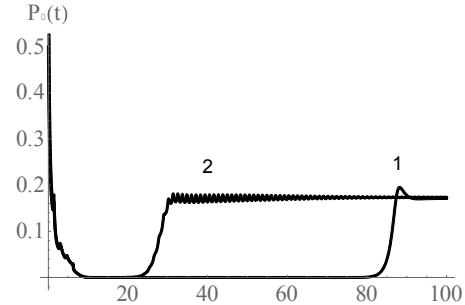


Рис. 3. Результаты численного моделирования модификации уравнений Колмогорова – Чепмена с введенной нелинейностью для разных начальных условий 1 – P(0)=0.5, 2 – P(0)=1. Вероятности остальных событий приняты равными 0.5

На коротком промежутке времени графики почти идентичны. В среднесрочной перспективе для предприятия начинающего бизнес в условиях более низкой вероятности неблагоприятного события динамика событий и устойчивости предприятия более благоприятная. В долгосрочной перспективе решение устанавливается на одинаковом значении устойчивого равновесия. Целесообразно полагать, что в долгосрочной перспективе может не работать сама инфологичиская модель дерева событий. Трудность заключается в том, что результаты математического моделирования и численных расчетов достаточно сложно интерпретировать в социальных приложениях. Для этого модели необходимо сравнивать для одинакового введения системы описания опасного стечения событий.

5. На выходе системы формируются продукционные правила поддержки принятия решений. Первая часть правил достаточно проста. Это ранжированный список минимальных сечений. Ранжирование проводится по среднеквадратическому отклонению от математического ожидания по всем вершинам дерева D.

Среднеквадратическое отклонение для комплексно-значных статусных функций ψ_j вычисляется по формуле:

$$\sigma^2 = \frac{\int_{-\infty}^{+\infty}(r - m_r)^2 \Psi(r)\Psi^*(r)dr}{\int_{-\infty}^{+\infty}\Psi(r)\Psi^*(r)dr} \quad (3)$$

При этом выявляются группы наиболее опасных причин и рекомендации целенаправленного анализа для устранения.

По результатам вычисления формируются достаточно простые продукционные правила типа

ЕСЛИ $\sigma^2 \geq 0$ & $\sigma^2 < 0{,}8$ ТО «требуется контроль в штатном режиме»

или

ЕСЛИ $\sigma^2 \geq 0{,}8$ & $\sigma^2 \leq 1$ ТО «Срочно требуется вмешательство высшего руководства для принятия мер по ситуации»

Вторая часть правил не так очевидна. Математическое моделирование позволяет построить прогноз на будущее и осуществить анализ значимости причин в ограниченном промежутке времени, а также получить прогноз. Тогда ранжированный список может оказаться сильно измененным. Причины, которые представляются наиболее существенными при текущем мониторинге, могут оказаться «шумом» в общей системе. Тогда на основе математического моделирования необходимо провести корректировку рангов исследуемых проблем.

IV. Заключение

Предложена укрупненная схема архитектуры интеллектуальной системы мониторинга и поддержки принятия решений на предприятиях пищевой промышленности. Для анализа системы используется два взаимосвязанных блока работ.

Первая часть анализа является работой менеджера, специалиста по социальным сетям. Анализ выполнен на основе BalancedScoreCard. Показатели представлены как риски и связаны в причинно-следственный граф событий. Связи основаны на минимаксных операциях (AND, OR).

Вторая часть является непосредственно разработкой математических моделей и архитектуры информационной технологии. Модели экспертного блока являются оригинальными и основаны на методе статусных функций. Поддержка принятия решений осуществляется на основе поиска и ранжирования наиболее опасных рисков [14, 15]. Первый этап ранжирования основан на вычислении наборов рисков, обеспечивающих максимальное статистическое отклонение. Второй этап ранжирования и рекомендаций использует прогнозирование на основе математического моделирования интегро-дифференциальных уравнений. Этот этап является настройкой интеллектуальныхправил поддержки принятия решений.

Список литературы

[1] Вентцель А. Д., Курс теории случайных процессов. М.: Наука, 1996. 400 с.

[2] Патюков С. В., Коврига Е. В. Социальная сеть: понятие, история возникновения, современное положение дел // Юный ученый. 2017. №2. С. 75-77.

[3] Barabasi A.L., Liu Y.Y., 2016,Control Principles of Complex Networks,Reviews of Modern Physics, 88, 1-61.

[4] Uzzi B., 1997, Social Structure and Competition in Interfirm Networks: The Paradox of Embeddedness, Administrative Science Quarterly, 42 (1), 35-67.

[5] Rezchikov A.F., Kushnikov V.A., Ivaschenko V.A., Fominykh D.S., Bogomolov A.S., Filimonyuk L.Yu.Controling the welding process in robotic technological complex by the criterion of product quality // Мехатроника, автоматизация, управление. 2019. Т. 20. № 1. С. 29-33.

[6] Резчиков А.Ф., Твердохлебов В.А. Причинно-следственные комплексы взаимодействий в производственных процессах // Проблемы управления. 2010. № 3. С.51-60.

[7] Зенюк Д.А., Малинецкий Г.Г., Фаллер Д.С. Модель эволюции поведенческих стратегий в сетевых структурах //Математическое моделирование. 2018. Т. 30. № 6. С. 117-133

[8] Olve N.G., Roy J., Wetter M., 1999, Performance Drivers: A Practical Guide to Using the Balanced Scorecard, Wiley&Sons, LTD.

[9] Kaplan R.S., Mikes A., 2012, Managing Risks: A New Framework, Harvard Business Review, June.

[10] Вешнева, И. В. Метод обработки и интерпретации данных измерения взаимодействий в образовательной среде на основе статусных функций / И. В. Вешнева, Т. Б. Чистякова, А. А. Большаков // Труды СПИИРАН. 2016. Вып. 6 (49). С. 144-166.

[11] Trienekens J., Zuurbier P., 2008, Quality and safety standards in the food industry, developments and challenges, International Journal of Production Economics, 113, 107–122.

[12] Вешнева И.В. Оценка качества социального объекта, основанная на построении многомерного «поля качества» сбалансированной системы показателей с использованием теории нечетких множеств // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2011. Т. 3. № 1 (57). С. 227-234.

[13] Rogers E.M,1995, Diffusion of Innovations, 4 ed., The Free Press, New York.

[14] Bolshakov, A.A., Veshneva, I.V., Chistyakova, T.B. The architecture of intellectual system for monitoring of university students competences formation process // 2016 International Conference on Actual Problems of Electron Devices Engineering (APEDE` 2016): Conference. 2016. vol.2. pp. 30-37. DOI: 10.1109/APEDE.2016.7878971. ISBN: 978-150901712-6.

[15] Bolshakov A.A., Veshneva I.V. Assessment of the effectiveness of decision support in the application of the information system for monitoring the process of forming competences based on status functions // International Conference on Actual Problems of Electron Devices Engineering, APEDE. 2018, art. no. 8542462, pp. 75-82. ISBN: 978-153864332-7. DOI: 10.1109/APEDE.2018.8542462

Разработка системы освоения инноваций в агропромышленном комплексе Псковской области

Войку И.П.
ФГБОУ ВО «Псковский государственный университет»
Псков, Россия
voiku-ivan@yandex.ru

Санду И.С.
ФГБНУ ФНЦ аграрной экономики и социального развития сельских территорий – Всероссийский научно-исследовательский институт экономики сельского хозяйства
Москва, Россия
anna_gu@mail.ru

***Abstract* — The problem of transition to a qualitatively new level of functioning is fundamental, requires not only the State approach, but also the development of new and improvement of traditional models and systems of management [1].**

The solution of the problem of low applicability of innovative developments in the field of agro-industrial production requires new approaches to the organization of innovation process management [2]. The study presents a model of the system that allows to ensure the large-scale implementation of scientific and technical developments in the regional agro-industrial complex through the creation of an information base of innovations and ensuring high interest of participants of the sectoral innovation process.

The purpose of innovation implementation in any field of activity is an increase in volume and level of the applied knowledge, in agriculture – an increase of quantity and quality of the new equipment and technologies, new materials, new varieties, new breeds of animals, used in the agrarian production. To the present day, this purpose remains unattainable [3].

The innovation implementation as a stage of the innovation process is a "weak link" not only in the field of agro-industrial production. However, blocking of the large-scale implementation of completed and tested scientific and technical developments cause the most significant damage in this sector of economy especially.

The developed system of innovation implementation in the agro-industrial complex will cover all stages of the process – from an identification of needs for research to a large-scale implementation of developments. In addition, this system will allow to unite the efforts of all participants of the innovation process (management bodies of the agro-industrial complex, scientific and educational institutions, implementational formations, financial and credit organizations, agricultural enterprises and processors of agricultural products).

Ключевые слова — анкетирование, инновационное развитие, сельское хозяйство, модель, система, освоение

I. Введение

В соответствии со Стратегией «Инновационная Россия – 2020», а также Стратегией инновационного развития Псковской области до 2020 г. развитие агропромышленного комплекса предполагает интенсификацию производства продукции на инновационной основе [4].

Система освоения инноваций в агропромышленном комплексе должна объединить усилия всех участников инновационного процесса – органы регионального управления, научные, образовательные и финансовые учреждения, сельскохозяйственные предприятия и переработчиков сельскохозяйственной продукции. Формирование подобной системы требует реорганизации существующего порядка взаимодействия управляющей и управляемой подсистемы инновационного развития. Существующие структуры должны быть дополнены недостающими звеньями и коммуникациями [5].

II. Методы исследования

Авторами статьи проведен анкетный опрос управляющей и управляемой подсистемы инновационного развития агропромышленного комплекса Псковской области. Полученные данные свидетельствуют как о наличии не только общего в точках зрения участников опроса, так и о глубоких противоречиях в концептуальных представлениях о состоянии, приоритетных направлениях и инструментах инновационного развития агропромышленного комплекса Псковской области. Так, например, при определении препятствий инновационного развития агропромышленного комплекса в регионе, все опрашиваемые по основным причинам были практически едины во мнении (рис. 1).

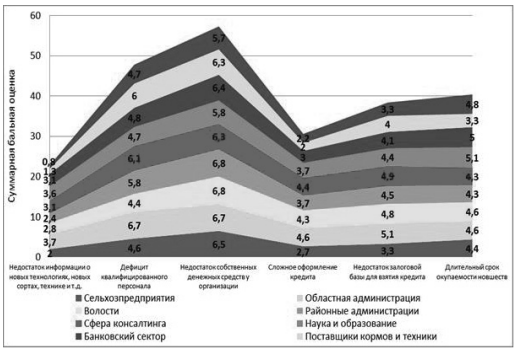


Рис. 1. Точка зрения представителей блоков управляющей и управляемой подсистем о препятствиях инновационного развития отрасли (по результатам опроса)

При ответе на вопрос о том, какая из структур (организаций) должна играть решающую роль в ускорении инновационных процессов в сельском

©2019 ИПУСС РАН, СамГТУ, IEEE

хозяйстве региона, мнение представителей блоков управляющей и управляемой подсистем оказалось общим (рис. 2). По мнению большинства респондентов ведущую роль должна исполнять региональная власть.

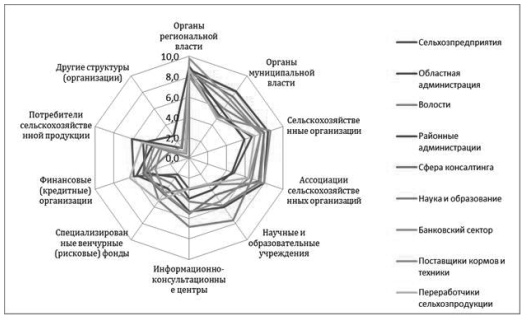


Рис. 2. Точка зрения представителей блоков управляющей и управляемой подсистем о роли структур (организаций) в ускорении инновационного развития (по результатам опроса)

Аналогичная ситуация и с определением факторов, обусловивших кризисное состояние отрасли (рис. 3).

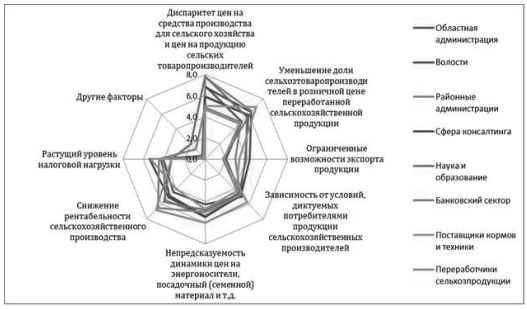


Рис. 3. Точка зрения представителей блоков управляющей и управляемой подсистем о факторах, обуславливающих кризисное состояние отрасли (по результатам опроса)

Приоритетность и доступность источников финансирования инновационной деятельности респондентами часто определялась в принципиально противоположном ключе. Представители Областной администрации в качестве наиболее эффективных способов финансирования инновационной деятельности определяют долгосрочное и краткосрочное кредитование. Эти же способы считают наиболее доступными и на псковском рынке. Оценки эффективности и доступности финансового и операционного лизинга несколько ниже.

С точки зрения сельхозпроизводителей наиболее эффективным способом финансирования инновационной деятельности является долгосрочный кредит, затем краткосрочный кредит [6]. Оценки лизинга значительно ниже. Аналогичные оценки сельхозпроизводителей доступности способов финансирования.

Третья группа респондентов по данному вопросу – кредитные организации – дает принципиально иные ответы. Так, по мнению специалистов кредитных учреждений самым эффективным способом финансирования инновационного развития является финансовый лизинг, на втором месте долгосрочный кредит, на третьем – операционный лизинг. Самыми доступными инструментами, по мнению респондентов данной группы, являются краткосрочные кредиты и финансовый лизинг.

В опросе по данному вопросу участвовали также представители сферы науки и образования, имеющие степени кандидатов экономических наук, специализирующиеся на инвестиционных и финансовых направлениях, а также руководители и ведущие специалисты информационно-консультационных центров Псковской области. Все они являются носителями и трансферами наиболее актуальных знаний.

В качестве наиболее эффективных способов финансирования инновационного развития данная группа респондентов выделила долгосрочный кредит и финансовый лизинг.

Важно отметить, что всеми респондентами – представителями администрации, руководителями сельхозпредприятий, ведущими специалистами кредитных учреждений, учеными и преподавателями экономических направлений – отмечалось, что финансовое обеспечение является главным в ускорении развития инновационных процессов.

III. Выводы

Совокупность противоречий, с одной стороны, является существенным препятствием на пути интенсивного развития инновационных процессов. С другой стороны, позволяет определить форму и строение системы освоения этих процессов (рис. 4).

Рис. 4. Модель системы освоения инноваций в агропромышленном комплексе Псковской области

Организационный и экономический блоки представляют собой систему взаимосвязанных элементов, каждый из которых – отдельная подсистема развития и освоения инноваций в растениеводстве. Организационный блок предназначен для организации процесса внедрения инноваций в растениеводство региона, экономический – для финансового обеспечения [7].

Научная подсистема представлена научными учреждениями сельскохозяйственного профиля. В

Псковской области к этой подсистеме относится Псковский ИСХ – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур» и ряд лабораторий ФГБОУ ВО «Великолукская государственная сельскохозяйственная академия».

Кадровая подсистема представлена крупными образовательными учреждениями региона – ФГБОУ ВО «Псковский государственный университет» и ФГБОУ ВО «Великолукская государственная сельскохозяйственная академия» [8].

Информационная подсистема включает сеть информационно-консультационных центров в муниципальных образованиях, АНО «Фонд гарантий и развития предпринимательства Псковской области».

Научный, образовательный и информационный блоки призваны устранить частичный информационный вакуум, складывающийся в отрасли в отношении наиболее перспективных технологий. Кроме того, эти блоки, взаимодействуя друг с другом в рамках системы освоения инноваций, смогут не только устранить кадровый дефицит в специалистах – проводниках инновационного развития, но и ликвидировать противоречия в оценках состояния и значимости его ключевых параметров [9].

Финансовая подсистема условно разделена на две части [10]:

- коммерческую, в составе коммерческих банков и частных инвесторов;
- бюджетную, представленную конкретными целевыми программами.

Выявленные в ходе анализа проблемы финансирования инновационных процессов могут быть решены активным взаимовыгодным сотрудничеством представителей экономического блока (органов региональной власти и сектора финансово-кредитных услуг), например, в рамках реализации проектов инновационного развития отрасли.

В рамках предлагаемой модели авторами разработаны принципиально новые для региона блоки [11]:

- координационный совет по вопросам инновационного развития агропромышленного комплекса при губернаторе Псковской области, занимающийся концептуальными вопросами;
- ассоциация сельхозпроизводителей, участвующих в процессах развития инновационной деятельности, лоббирующая интересы реального отраслевого сектора экономики;
- центры коллективного пользования инновационных технологий, выполняющие функцию трансферта.

Координационный совет по вопросам инновационного развития. Этот блок призван обеспечить эффективное взаимодействие и координацию деятельности органов исполнительной власти Псковской области, органов местного самоуправления, а также научных и других субъектов инновационной деятельности в агропромышленном комплексе, действующих на территории региона, по вопросам формирования и реализации инновационной политики. Состав Координационного совета должен утверждаться из числа руководителей органов государственной власти, организаций агропромышленного комплекса, научных и образовательных учреждений.

Основными функциями такого совета должны стать:

- определение приоритетных направлений в научно-технической и инновационной сферах агропромышленного комплекса Псковской области, концентрация на этих направлениях имеющихся ресурсов;
- разработка предложений по стимулированию инновационной деятельности в агропромышленном комплексе и привлечение внебюджетных средств для реализации приоритетных инновационных проектов;
- подготовка предложений о взаимодействии научных учреждений и агропромышленных предприятий с зарубежными и международными организациями в целях координации деятельности по реализации совместных проектов в области внедрения современных технологий;
- организация экспертизы законопроектов, управленческих решений по вопросам развития сельского хозяйства;
- участие в разработке проектов областных программ в аграрной сфере;
- выступление с инициативами по развитию различных направлений сельскохозяйственной науки;
- сотрудничество в пределах своей компетенции с органами государственной власти, предприятиями, научными и общественными, зарубежными и международными организациями.

Диалог сельхозпроизводителей, объединенных в кластеры – крупные ассоциации по специализации производства, позволит определить слабые места и перспективные направления инновационного развития каждого кластера.

На заседаниях сельхозпроизводители совместно с представителями администрации и общественных организаций смогут обсуждать наиболее важные вопросы, в том числе проблемы инновационного развития.

В настоящее время подавляющее большинство малых и большая часть средних сельскохозяйственных предприятий вынуждены отказываться от использования новых технологий в сельхозпроизводстве. Выход из этой ситуации возможен за счет организации коллективного использования оборудования в соответствующих центрах, создаваемых на базе высших учебных и (или)

научно-исследовательских организаций. Организация центров коллективного пользования может помочь практически всем заинтересованным сельхозпроизводителям независимо от их величины и объемов производства решить эту проблему при сравнительно небольших затратах.

Услуги центров по своему характеру востребованы именно в инновационной деятельности, это, по сути, производственные услуги высокого технологического уровня.

Основной задачей создаваемых новых блоков является получение дополнительного синергетического эффекта от освоения инноваций в отрасли. Предлагаемые блоки станут не только связующими звеньями в общей системе, но и своеобразной профессиональной «управляющей» надстройкой.

Новые блоки, в частности, Координационный совет при губернаторе, будут призваны синхронизировать работу предлагаемой системы освоения инноваций, выполнять функцию ее (системы) «мозгового» центра.

Отлаженное взаимодействие всех подсистем и блоков позволит снизить до минимума уровень противоречий и несогласованности, обеспечить общее понимание проблем инновационного развития отрасли и путей их решения.

Итак, формируя информационные и денежные потоки на основе выбора перспективных направлений инновационного развития, разработанная система освоения инноваций позволит:

- свести к минимуму уровень концептуальной разобщенности между участниками инновационного развития отрасли;
- снизить объемы неэффективных бюджетных субсидий, обеспечивающих только простое, а не расширенное воспроизводство инновационного потенциала;
- обеспечить высокую скорость освоения различных типов инноваций сельхозпроизводителями.

IV. Заключение

Полученные в результате исследования данные свидетельствуют как о наличии глубоких противоречий в концептуальных представлениях о состоянии, приоритетных направлениях и инструментах инновационного развития растениеводства Псковской области.

Результаты встречного опроса представителей управляющей и управляемой подсистем свидетельствую о полном отсутствии системности и высокой степени дезорганизации становления инновационных процессов.

Разнонаправленность мнений респондентов по ключевым вопросам инновационных процессов в агропромышленном комплексе свидетельствуют о том, что любой импульс этого процесса обречен к мгновенному затуханию.

Система освоения инноваций в агропромышленном комплексе должна объединить усилия всех участников инновационного процесса. Организационный и экономический блоки разработанной модели представляют собой совокупность взаимосвязанных элементов, каждый из которых – отдельная подсистема развития инновационной деятельности в агропромышленном комплексе.

В предлагаемой модели разработаны принципиально новые для региона блоки:

- координационный совет по вопросам инновационного развития сельского хозяйства при губернаторе Псковской области, который должен заниматься концептуальными вопросами;
- ассоциация сельхозпроизводителей, участвующих в процессах развития инновационной деятельности, лоббирующая интересы реального отраслевого сектора экономики;
- центры коллективного пользования инновационными технологиями, выполняющие функцию трансферта.

Отлаженное взаимодействие всех подсистем и блоков позволит снизить до минимума уровень противоречий и несогласованности, обеспечить общее понимание проблем инновационного развития отрасли и путей их решения.

Список литературы

[1] Распоряжение Правительства Российской Федерации от 17 ноября 2008 года N 1662-р «Об утверждении Концепции долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2020 года (с изменениями на 8 августа 2009 года)» http://docs.cntd.ru/document/902130343

[2] Инновационная деятельность в агропромышленном комплексе России. Коллективная монография/Под ред. И. Г. Ушачева, Е. С. Оглоблина, И. С. Санду, А. И. Трубилина. М.: «Экономика и информатика», 2006. – 374 с.

[3] В. Г. Савенко. Формирование системы освоения инноваций в сельском хозяйстве: Автореф. … дис. д-ра экон. наук. М., 2005. – 52 с.

[4] Стратегия инновационного развития агропромышленного комплекса России на период до 2020 г. М., 2011. http://www.vniiesh.ru.

[5] Войку И.П., Ефимова А.А., Степанова Е.В. Формирование модели системы освоения инноваций в региональном агропромышленном комплексе // Инновации. 2016. №9 (215). С/ 102-105.

[6] Санду И.С., Рыженкова Н.Е. / Инновационное развитие сельскохозяйственно-го производства: анализ и приоритеты / Научное обозрение: теория и практи-ка. 2017. № 4. С. 6-16.

[7] Организационно-экономический механизм развития инновационных процессов в АПК (методические рекомендации). М.: ГНУ ВНИИЭСХ, 2005. – 102 с.

[8] А. А. Ефимова, И. П. Войку, Е. В. Степанова. Разработка системы освоения инноваций в растениеводстве Псковской области//Известия международной академии аграрного образования, № 21, 2015. С. 5-9.

[9] В. И. Нечаев, В. Ф. Бирман, И. С. Санду, Ю. И. Бершицкий, А. В. Боговиз. Организация инновационной деятельности в АПК/ Под ред. В.И. Нечаева. М.: КолосС, 2012. – 296 с.

[10] Развитие инновационной деятельности в растениеводстве / В.И. Нечаев, А.И. Алтухов, А.М. Медведев и др.; Под ред. В.И, Нечаева. – М.: КолосС, 2010. – 271 с.: ил. – (Учебники и учебные пособия для студентов высш. учеб. заведений).

[11] И.С. Санду, В.И. Нечаев, В.Ф. Федоренко, Г.М. Лемишкевич, Н.Е. Рыженкова. Формирование инновационной системы АПК: организационно-экономические аспекты: науч. изд. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2013. – 216 с.

Системный анализ и моделирование инфраструктуры производственной деятельности генерирующих компаний

Гаврилова А.А.
ФБГОУ ВО СамГТУ
г. Самара, Россия
a.a.gavrilova@mail.ru

Салов А.Г.
ФБГОУ ВО СамГТУ
г. Самара, Россия
aleksey-salov@rambler.ru

***Abstract* — Currently, in the existing paradigm of energy management, the integrity and hierarchy of the management system of the unified fuel and energy complex is violated. System management is divided into economic, organizational and technological management, not united by common goals. At the same time, there is a process of co-evolution - the interpenetration of energy and the economy.**

To determine the areas of industrial development of the region, system analysis of regional energy systems, development of management methods of energy facilities, improvement of management structures in relation to the existing internal and external interconnections are needed, it would improve technical and economic performance, increase energy efficiency of production and provide the basis for economic growth in the region.

The concept of system analysis allows to research and identify the infrastructure links between the regional economy, the regional energy system, the regularity of functioning of generating companies, as well as area energy systems, the efficiency of the equipment of energy companies and the integrated use of the core basic resources.

There are formulated the fundamental provisions of the composition formation of the disaggregated indicators of quality criteria, that in total provide holistic, balanced, reliable information about system energy efficiency. On the basis of the formulated fundamental provisions there are formed groups of indicators of energy management, including organizational management, technological management and economic management, their effectiveness was evaluated by macro-energy, macroeconomic and technological indicators.

Based on the core methodology there is constructed the complex of mathematical models that adequately describe various aspects of activity of a territorial generating company, including the variety of managerial, energy, technological, economic and infrastructural factors.

Ключевые слова — системный анализ, моделирование, генерирующие предприятия, инфраструктурная модель, концептуальная модель.

I. Введение

Системное реформирование экономики, начавшееся в нашей стране после 1991 года, затронуло не только социальную и производственную сферы, но и одну из базовых отраслей экономики – энергетику [1,2].

Переход нашей страны к рыночным отношениям оказался сложным и весьма негативно сказался на деятельности региональных энергетических систем [3,4].

В настоящее время в существующей парадигме управления энергетикой нарушена целостность и иерархичность системы управления единым топливно-энергетическим комплексом. Системное управление разделено на экономическое, организационное и технологическое, которые не объединены общими целями. В тоже время произошел процесс коэволюции – взаимопроникновение энергетики и экономики.

Для определения направлений развития промышленности региона необходим системный анализ деятельности региональных энергетических систем, их структур и методов управления энергетическими объектами, внутренних и внешних взаимосвязей с целью разработки направления развития промышленности региона обеспечивающего наибольшую эффективность промышленного производства и экономики региона.

Используя концепцию системного анализа, проведём идентификацию инфраструктурных связей экономики региона с территориальной генерирующей компанией, закономерностей её функционирования, эффективности работы оборудования энергетических предприятий, комплексного использования основных базовых ресурсов на примере функционирования энергосистемы Самарской области.

Территориальные генерирующие компании являются объединением нескольких генерирующих предприятий, расположенных, как правило, в одном регионе. В совокупности, каждая территориальная генерирующая компания представляет собой многоэлементную производственно-экономическую систему с разветвленной сетью внутренних и внешних связей.

Статистический анализ показателей экономической деятельности в Самарской области за период 1990-2017 годы показал, что объём промышленного производства в области снизился к 2007 году до 64% от уровня 1990 года. Основной спад произошел в 1990-1994 годах с темпом падения до 10-15% в год. Максимальное падение на 24% произошло в 1994 году. Затем ситуация стабилизировалась и общий спад продолжался с темпом в 1,5% в год до 2002 года [5], [6], [7], [8], [9], после чего он прекратился.

Произошедший значительный спад промышленного производства привел к существенному снижению потребления в области электрической и тепловой энергии. Этот факт существенно повлиял на весь характер производственной деятельности областной энергетической системы, которая может вырабатывать тепловую энергию только при комбинированной выработке, так как включает в себя только теплоэлектроцентрали.

Снижение потребления тепловой энергии привело к тому, что оборудование теплоэлектроцентралей стало

©2019 ИПУСС РАН, СамГТУ, IEEE

работать в условиях, когда одна часть оборудование находится в резерве, а другая работает в неоптимальных режимах [10], [11].

Произошедшие глубокие количественные и непропорциональные падения объёмов потребления и производства тепловой и электрической энергии привели далее к качественным, структурным изменениям функционирования энергосистемы.

II. АНАЛИЗ ИНФРАСТРУКТУРНОЙ МОДЕЛИ ТЕРРИТОРИАЛЬНОЙ ГЕНЕРИРУЮЩЕЙ КОМПАНИИ

На укрупненном уровне функционирование генерирующей компании проанализируем в виде инфраструктуры, приведённой на рисунке 1.

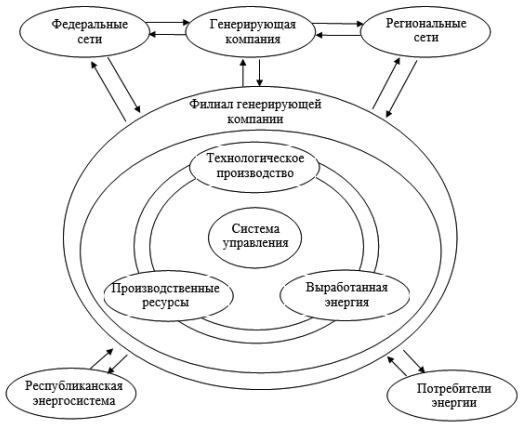


Рис. 1. Инфраструктурная модель территориальной генерирующей компании

Базовыми элементами инфраструктурной модели являются следующие подсистемы:

1. Блоки внутренней деятельности:

производственные ресурсы, энергетические,

технологические процессы и производства, система управления ТГК, производственная продукция – выработанная энергия ТГК.

2. Блоки внешнего окружения:

2.1 Генерирующие и энергоснабжающие организации - генерирующая компания, республиканская энергосистема, федеральные сетевые предприятия, региональные сетевые предприятия.

2.2 Потребители энергии - промышленные предприятия, государственные и общественные учреждения, жилищно-бытовой сектор.

Функционирование энергосистемы определяется деятельностью внутренних подсистем, поведением её внешнего окружения и системой взаимосвязей между всеми базовыми блоками. Взаимодействие энергетической системы с другими предприятиями и поставщиками, вырабатывающими электрическую энергию, обеспечивает возможность:

- из единой энергосистемы покупать электрическую энергию, когда энергосистема не может обеспечить своих потребителей необходимым количеством электрической энергии, или, когда экономически более целесообразным является покупка электрической энергии на федеральном рынке энергии;

- поставлять на федеральный рынок избыток выработанной электрической энергии, с высокими экономическими показателями.

В соответствии с представленной на рисунке 1 инфраструктурой основной задачей управления энергосистемой является в условиях учета воздействий выделение внешних факторов при решении следующих внутренних задач:

1. Своевременное обеспечение энергосистемы необходимыми производственными ресурсами. Это многофакторная задача, спецификой которой является то, что используемый топливный ресурс – невозможно складировать, поэтому обеспечение производства должно осуществляться непрерывно, в реальном времени [12].

2. Обеспечение качественной, бесперебойной работы технологических процессов основного и вспомогательного энергетического оборудования. При этом существенным является то, что аварийный останов даже одного из энергетических котлов может привести к нарушению энергоснабжения и, как следствие, к отключению подачи энергии потребителям.

3. Производство требуемой энергии с наиболее высокими экономическими показателями. При этом производить необходимо столько тепловой и электрической энергии, сколько в данный момент требуется потребителям. Это условие накладывает достаточно жесткие ограничения на выбор экономичных режимов работы энергетического оборудования.Сформулируем критерии, на основании которых проведём анализ энергоэффективности территориальной генерирующей компании в период перехода к рыночным отношениям.

Энергосистема является относительно независимой частью сложной системы Поволжского регионального промышленно-энергетического комплекса, которая ориентирована на наиболее эффективное производство тепловой и электрической энергии, обладая свойствами целостности и коммуникативности.

Определим связи энергетической системы с внешней надсистемой путём выбора ресурсов, которые каким-либо образом связаны с функционированием и развитием территориальной генерирующей компании.

III. АНАЛИЗ КОНЦЕПТУАЛЬНОЙ МОДЕЛИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕСУРСОВ

Концептуальная модель, отражающая связи с промышленным потенциалом области представлена на рисунке 2.

В качестве основных входных ресурсов взяты следующие наиболее значимые факторы, необходимые для обеспечения условия функционирования энергосистемы [13]: топливные ресурсы, энергетические ресурсы, капитальные ресурсы, трудовые ресурсы,

информационные ресурсы, финансовые ресурсы, материальные ресурсы, водные ресурсы.

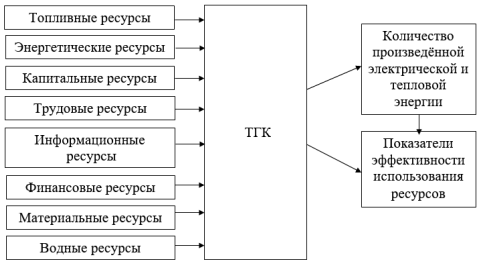


Рис. 2. Концептуальная модель использования ресурсов

Анализ режимов работы территориальной генерирующей компании показал, что на эффективность её функционирования значительное влияние оказывают:

- режимы работы вспомогательного оборудования, которые определяют затраты собственных энергетических ресурсов на их привод [14];

- эффективность использования водных ресурсов энергосистемой, величина которых достигает 25-40·10^3 м^3/час [15].

Построенная концептуальная модель включает в себя восемь наиболее важных входных факторов, связывающих энергосистему с промышленным потенциалом области и два выходных фактора – количества произведённой тепловой и электрической энергии, которые полностью определяются потребностью региона в энергоресурсах.

Критериями энергоэффективности территориальной генерирующей компании являются:

- удельные расходы топлива на производство тепловой и электрической энергий;

- коэффициенты полезного действия энергетических установок, характеризующие эффективность функционирования энергосистемы в целом.

Топливные ресурсы являются базовыми для обеспечения организации необходимых физических процессов энергетических технологий.

Энергетические ресурсы обеспечивают работу всего вспомогательного оборудования.

Капитальные ресурсы или основные фонды характеризуют наличие основного и вспомогательного энергетического оборудования, зданий и другую производственную инфраструктуру.

Трудовые ресурсы занимают основное место в обеспечении собственно производственного процесса. Эффективность их использования определяется производственными технологиями, наличием средств и орудий труда.

Материальные ресурсы обеспечивают проведение технического обслуживания и текущего ремонта используемого оборудования, поддерживают непрерывный технологический процесс производства тепловой и электрической энергии.

Информационные ресурсы являются носителем всех сведений о протекающих производственных процессах. На их основе вырабатываются и принимаются все управленческие решения, создаются системы управления технологическими, производственными и организационными процессами.

Финансовые ресурсы обеспечивают всю хозяйственную деятельность предприятия, создают необходимые условия для производства конкурентоспособной энергии и создают предпосылки для улучшения экономических показателей функционирования энергосистемы.

Оптимизация расхода энергии на собственные нужды обеспечивает повышение энергоэффективности функционирования энергосистемы в целом [16,17]

В условиях перехода к рыночным отношениям резко возросла стоимость используемых водных ресурсов, затраты на них существенно сказываются на эффективности производства тепловой и электрической энергии.

Взаимосвязи и взаимовлияние рассмотренных входных факторов – ресурсов – взаимодействия энергетических и управленческих технологий определяют, в целом, системную эффективность функционирования генерирующей компании.

IV. АНАЛИЗ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ И УПРАВЛЕНЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ

Структура взаимодействий энергетических и управленческих технологий территориальной генерирующей компании представлена на рисунке 3.

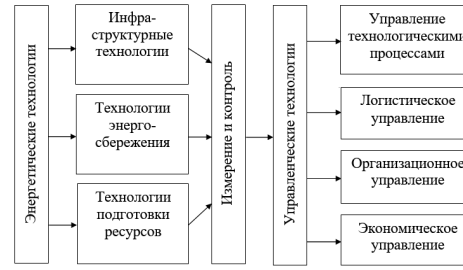


Рис. 3. Структура энергетических и управленческих технологий территориальной генерирующей компании

Энергетические технологии предприятий компании структурно представлены в виде трёх групп, тесно связанных между собой:

1. Инфраструктурные технологии.

Обеспечивают процесс получения тепловой энергии в виде перегретого пара высоких параметров, процессы превращения тепловой энергии в механическую энергии вращения роторов энергетических генераторов и превращение механической энергии в электрическую энергию.

2. Технологии энергосбережения.

Они оптимизируют энергетические процессы превращения внутренней энергии физического тепла топлива в тепловую и электрическую энергию.

3. Технологии подготовки ресурсов, заключающиеся в том, что топливные и энергетические ресурсы (органическое топливо, вода, воздух, различные химические реагенты), применяемые в цикле тепловых станций для обеспечения её основных рабочих процессов, должны быть соответствующим образом подготовлены перед их использованием:

- необходимо обеспечить нормативные значения давление газообразного топлива;

- твердое топливо требуется размолоть и подсушить, а жидкое топливо подогреть до определённой температуры;

- для обеспечения эффективного сжигания топлива необходимо подогреть воздух до требуемой температуры;

- требуется обеспечить определённое качество питательной воды, её химический состав, допустимое содержание примесей.

Для обеспечения реализации всех перечисленных технологий необходимо организовать измерение и контроль основных и вспомогательных технологических параметров, характеризующих производственные энергетические процессы [18]. В настоящее время измерение и контроль большинства характеристик осуществляется постоянно с помощью автоматизированных средств измерения и контроля, а там где автоматизированные системы ещё отсутствуют - путем периодического ручного измерения и учета соответствующих измеренных значений.

Полученные результаты измерения и контроля обеспечивают реализацию системы управленческих технологий генерирующей компании.

Основными подсистемами управления ТГК являются:

- автоматизированное управление технологическими процессами,

- организационное управление,

- экономическое управление,

- логистическое управление.

Конечной целью реализации системного управления должно являться осуществление технологического процесса производства тепловой и электрической энергии требуемого качества с наименьшими затратами и наилучшими экономическими показателями [19,20].

V. Заключение

На основании проведённых исследований можно сделать следующие выводы:

1. Анализ построенной инфраструктурной модели позволил установить, что эффективность функционирования энергетической системы в значительной мере зависит от внешнего окружения и определяется системой взаимосвязей между базовыми блоками.

2. Установлено взаимовлияние основных входных ресурсов с системной эффективностью функционирования генерирующей компании

3. Установлено взаимодействие между управленческими и энергетическими технологиями.

Список литературы

[1] Салов А.Г., Гаврилова А.А. Системный анализ и моделирование деятельности энергетических генерирующих предприятий с целью оценки эффективности их функционирования в условиях становления рыночных отношений. // Вестник Саратовского государственного технического университета, № 1(30). Саратов, 2008, с. 86-91

[2] Дилигенский Н.В., Салов А.Г., Алфеев А.А., Гаврилова А.А., Цапенко М.В. Анализ эффективности деятельности энергетических предприятий в период перехода к рыночным отношениям. // Перспективные проекты и технологии в энергетике. Сб. мат-лов межрегион. науч.-практ. конф. / Волжский, 2005, с. 134-138

[3] Дилигенский Н.В., Салов А.Г., Гаврилова А.А., Гаврилов В.К. Модельный анализ эффективности совместного производства тепловой и электрической энергии региональной энергосистемой. // Известия вузов. Северокавказский регион. Технические науки, 2008, №5, с.37-40.

[4] Дилигенский Н.В, Салов А.Г., Гаврилова А.А. Модельный анализ оценки эффективности производства тепловой и электрической энергий региональной энергосистемой // Проблемы развития централизованного теплоснабжения. Материалы межд. науч.-практ. конф. / Самара, 2004, с.333-337.

[5] Социально-экономическое положение Самарской области (1990 – 2001 гг.). / Самарский областной комитет государственной статистики. – Самара, 1991 –2002.

[6] Родионов А.И., Бобров В.В., Дилигенский Н.В., Шелудько Л.П., Камаев Ю.П. Динамика макроэнергетических показателей топливно-энергетического комплекса области в условиях реформ. // Проблемы и перспективы социально-экономического развития Самарской области. Материалы научно-практ. конф. том II / – Самара, 1997, с.232-236.

[7] Родионов А.И., Бобров В.В., Дилигенский Н.В., Шелудько Л.П., Ларин Е.А. Энергетическая стратегия Самарской области. // Самарская область на пороге XXI века. Стратегия социально-экономического развития Материалы Всероссийской научно-практ. конф. / – Самара, 1998, с.69-71.

[8] Дилигенский Н.В., Ефимов А.П., Цапенко М.В., Гаврилова А.А. Системный анализ устойчивости и надёжности функционирования энергетических систем в условиях структурной перестройки экономики. // Надёжность, энергетика и транспорт, Международная конференция, / – Самара, 2003. – с. 235-240.

[9] Дилигенский Н.В., Шелудько Л.П. Проблемы и пути реализации региональной энергосберегающей политики. // Вестник Самарского технического университета. Вып.5– Самара: 1998, – с. 144-151.

[10] Емельянов С.В., Ларичев О.И. Многокритериальные методы принятия решений. М.: Знание. 1985. – 31с.

[11] Емельянов С.В., Напельбаум Э.Л. Методы исследования сложных систем. // Итоги науки и техники. Техническая кибернетика. М.: ВИНИТИ, 1977. Т.8.

[12] Салов А.Г., Иванов В.А. Комплексный анализ эффективности использования водных ресурсов теплоэлектроцентралей. // Материалы Межд. науч.-техн. конф. «Информационные, измерительные и управляющие системы (ИИУС-2010)» Самара, 2010, с344-347

[13] Авдеенко В.Н., Котлов В.А. Производственный потенциал промышленного предприятия // – М.: Экономика. 1989 – 240 с.

[14] Дилигенский Н.В., Абакумов А.М., Салов А.Г., Гаврилова А.А. Комплексный анализ режимов работы энергетического оборудования и затрат электрической энергии на собственные нужды // В сб.научных трудов: Проблемы энерго- и

ресурсосбережения» Саратовский технич. университет. – Саратов:, 2009 – с.14-21

[15] Гаврилова А.А., Салов А.Г., Гаврилова Ю.В., Кухарева А.В. Комплексный анализ систем водопользования ТЭЦ ВАЗА и направления повышения эффективности использования водных ресурсов. // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия "Технические науки". – 2012 – № 2(34) – с. 143-149

[16] Салов А.Г., Гаврилова А.А. Направления повышения энергоэффективности теплоэлектроцентралей. // Энергосбережение -теория и практика: тр. Пятой межд. школы семинара молодых учёных и специалистов. Москва. Издательский дом МЭИ, 2010. С. 163-169

[17] Гаврилова А.А. Салов А.Г., Комплексный анализ энергоэффективности вспомогательного оборудования ТЭЦ. // Промышленная энергетика, №12, 2011, с. 31-34

[18] Салов А.Г., Гаврилова А.А. Повышение эффективности управления энергетическим комплексом как фактор социально-экономического развития поволжского региона. // Академический журнал «Интеллект. Инновации. Инвестиции» Специальный выпуск по материалам межд. форума «Россия как трансформирующее общество: экономика, культура, управление». 2011, с. 24-29

[19] Салов А.Г., Гаврилова А.А. Направления повышения энергоэффективности комбини-рованной выработки тепловой и электрической энергии. .// Проблемы совершенствования топливно-энергетическо-го комплекса: сб. науч. Тр. Вып. 8. Совершенствование энергетических систем и теплоэнергетических комплексов: материалы XIII Межд. науч.-. конф. Саратов, 2016.-с. 140-145

[20] Гаврилова А.А., Салов А.Г., Иванова Д.В. Исследование экономических характеристик регионального промышленного комплекса методами статического и модельного анализа. // Научное обозрение №15, 2015 с. 327-332

Системный анализ эффективности управления региональной энергетической системой в условиях преобразований

Гаврилова А.А.
ФБГОУ ВО СамГТУ
г. Самара, Россия
a.a.gavrilova@mail.ru

Салов А.Г.
ФБГОУ ВО СамГТУ
г. Самара, Россия
aleksey-salov@rambler.ru

Сагитова Л.А.
ФБГОУ ВО СамГТУ
г. Самара, Россия
L0410@mail.ru

***Abstract* — The regional energy complex is a complicated developing system. In this regard, in the context of transformation of the methods of organization and management of energy enterprises it is relevant to undertake a comprehensive study of approaches that allow to describe the production and economic interconnections of the energy system, assess the effectiveness of the energy complex management on the basis of mathematical models, taking into account the contribution of the resources to the final performance indicators.**

On the basis of the statistical data system analysis of the energy system of the Samara region for the period from 1976 to 2018 was carried out. The basic factors of production are investigated. The indicators of the quality of functioning are defined which are the marginal productivities of using of the core resources characterizing the controllability of energy production.

Adequate mathematical models in the form of heterogeneous three-factor production functions of the Cobb-Douglas type were constructed on the basis of statistical data in the studied period of operation of the power system. It allows to use the resultant models in simulation and to build predictive options for the future behavior of energy production under various control actions.

The contributions of factors affecting the scale of energy production and the improvement of technological processes to the change in the production efficiency of generating companies were identified for the period under review of the operation of the power system. The assessment of the influence of these factors on the energy system of the Samara region is carried out.

The internal regularities of the dynamics of the behavior of the power system in phase portraits in the state space of the quality indicators of energy production are investigated. Phase portraits revealed significant instability of the processes, determined the presence of generic regularities of system behavior. In general, the analysis identified the main factors affecting the manageability of the regional energy system.

Ключевые слова — Энергосистема, моделирование, производственная функция, предельные производительности, эластичность, вклады ресурсов, фазовый портрет.

I. Введение

Региональный энергетический комплекс является сложной развивающейся системой. В связи с этим в условиях изменений внешней среды, методов организации и управления энергетическими предприятиями актуальным является системные исследования, позволяющие на основе статистического анализа, математического моделирования, описать производственно-экономические взаимосвязи энергосистемы, провести оценку эффективности управления энергетическим комплексом, с учетом вклада используемых ресурсов в конечные показатели деятельности [1], [2].

II. Статистический анализ

Энергосистема Самарской области является одной из крупнейших в регионе Поволжья. Проведём системный анализ её деятельности за период с 1976 по 2017 гг. на основе реальных статистических данных[3], [4].

Введём относительные переменные $Y_{s\,om.} = \frac{Y_s}{Y_{s0}}$, $Y_{t\,om.} = \frac{Y_t}{Y_{t0}}$, $Y_{e\,om.} = \frac{Y_e}{Y_{e0}}$, где Y_{s0} , Y_{t0} , Y_{e0} – значения производства суммарной, тепловой и электрической энергии в начальный год рассматриваемого периода, Y_s , Y_t , Y_e - текущие значения производства энергии, соответственно. На рисунке 1 отображена динамика изменения относительной выработки тепловой. электрической и суммарной энергий в период с 1976 по 2017 гг..

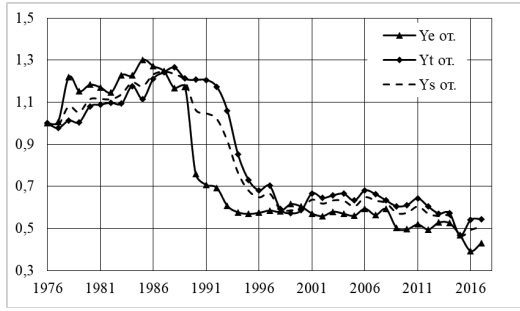


Рис. 1. Относительное производство суммарной, тепловой и электрической энергии за период с 1976 по 2017 гг.

Период с 1976 по 1989 гг. стабилен и характеризуется постоянным ростом производства энергии. При этом соотношение выработки тепловой и электрической энергий сохранялось неизменным. В 1987-1989 гг. система достигает максимальных значений производства суммарной энергии 123-124 % в относительных единицах.

Начиная с 1990 г. наблюдается значительное снижение производства энергии. За период с 1989 по 1996 гг. произошло снижение выпуска электрической

©2019 ИПУСС РАН, СамГТУ, IEEE

энергии на 51%, тепловой энергии на 44,8%, а суммарной на 46%. То есть за период в пять лет выпуск энергии снизилась почти в 2 раза. В первую очередь это связано со сменой экономической формации страны, переходом к рыночным отношениям [5].

С 1996 года происходит стабилизация на уровне 60-64 % от начального значения в исследуемый период. Интервал 2007 – 2017 гг. характеризуется продолжением спада выпуска продукции с меньшим темпом. При этом производство тепловой энергии снизилось в 1,21 раза, электроэнергии – в 1,31 раза, суммарной энергии – в 1,25 раза. В итоге производственные показатели соответствуют уровню 40-53% от 1976 года и тенденций по восстановлению энергопроизводства не наблюдается.

В целом, с 1990 по 2017 гг. происходит постоянный спад производства энергии, вызванный сокращением энергопотребления. Многие предприятия промышленности, являющиеся основными потребителями энергии в виде пара, прекратили свое существование или обзавелись собственными источниками энергии. Постоянная в течение года тепловая нагрузка в виде пара сменилась на сезонную отопительную нагрузку в виде горячей воды. Также произошло изменение соотношения выработки тепловой и электрической энергии. В результате в настоящее время оборудование энергопредприятий работает в нерасчетных режимах с пониженными показателями эффективности.

Таким образом, структурные изменения в производстве энергии и изменение состава энергосистемы обуславливает разделение исследуемого периода на два интервала: с 1976 по 1989 гг. и с 1990 по 2017 гг. и построение отдельных моделей [6], [7]

III. Модельный анализ деятельности энергосистемы

Проведем модельный анализ функционирования энергосистемы Самарской области. Для учета влияния основных ресурсов – капитальных $K(t)$, трудовых $L(t)$ и топливных $B(t)$, на производство продукции в виде суммарной энергии $y(t)$ построим математическую модель в виде неоднородной трёхфакторной производственной функции (ПФ) [8], [9]:

$$Y(t) = A \cdot K(t)^{\alpha} \cdot L(t)^{\beta} \cdot B(t)^{\gamma}$$

где A – масштабный коэффициент, α, β и γ – коэффициенты эластичности, характеризующие эффективность использования соответствующих ресурсов в производственных процессах [10], [11].

Идентифицируем коэффициенты α, β, γ и A, применяя стандартный метод наименьших квадратов, минимизирующий среднеквадратическое отклонение результатов моделирования от реальных данных.

В таблице 1 приведены значения коэффициентов и показателей качества моделей.

На рисунке 2 приведено сравнение расчетных модельных значений производства энергии с реальными данными за период 1990-2017 гг.

ТАБЛИЦА I. Результаты моделирования

Параметры и показатели моделей	1976-1989 гг	1990-2017 гг
A	2,22	73,42
α	0,02	-0,23
β	0,33	-0,13
γ	0,67	0,98
R^2	0,968	0,953
σ	1,5	4,6
F	101,95	182,52
DW	2,13	1,13

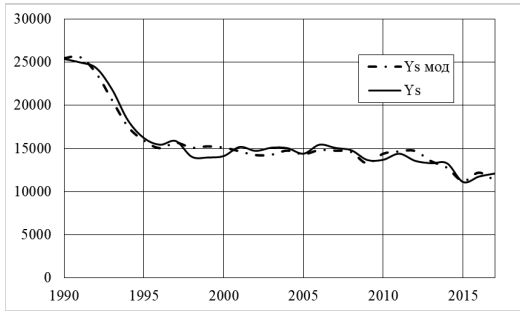


Рис. 2. Энергосистема 1990-2017 гг.
Ys – отпуск суммарной энергии, ГДж;
Ys мод – модельные значение отпуска суммарной энергии, ГДж

Анализ качества моделей [12] показывает, что значения коэффициента детерминации R^2, характеризующего взаимную корреляцию фактических данных и результатов расчетов равны 0,95-0,97, что является удовлетворительным. Значения F-критерия Фишера соответствуют табличным, что свидетельствует о значимости решений [13]. Величины среднеквадратической ошибки σ, характеризующей погрешность расчетов, не превышают 4,6 %. Согласно критерию Дарбина-Уотсона модель периода 1976 – 1989 гг. обладает хорошими прогнозными свойствами, а модель 1990 – 2017 гг. – удовлетворительными свойствами, что также позволяет использовать эту модель для анализа и построения среднесрочного прогноза на 5-6 лет.

На базе построенных и идентифицированных моделей были изучены факторные α, β, γ эластичности, характеризующие относительную эффективность использования соответствующих ресурсов. Численные значения эластичностей показывают, на сколько процентов возрастает производство энергии при увеличении ресурсов на один процент [8], [14].

Анализ трехфакторных неоднородных ПФ показал, что на интервале 1976-1989 гг. эластичность выпуска для суммарного производства по капиталу α составляет 0,02, по труду – 0,33. Эти показатели характеризуют, в целом, достаточно эффективную работу энергосистемы.

Идентифицированные на интервале 1990-2017 гг. значения эластичностей модели являются отрицательными. Это означает, что вклад от производственных ресурсов в периоде структурных перестроек негативен, и для повышения системной

эффективности энергопроизводств необходимо уменьшать количество используемых ресурсов.

Анализ идентифицированных значений эластичностей α, β, γ в трёхфакторной модели показал, что основное влияние на производство энергии оказывают топливные ресурсы. Коэффициент эластичности топливных ресурсов принимает положительные значения, близкие к единице на обоих исследуемых периодах, что характеризует зависимость между выпуском энергии от объемов используемых топливных ресурсов близкую к линейной.

В целом, полученные модели удовлетворительно описывают функционирование энергосистемы для анализируемого периода [15].

IV. Предельная производительность ресурсов

Для исследования эффективности управления энергосистемой Самарской области рассмотрим предельные производительности капитальных, трудовых и топливных ресурсов: $\frac{\partial Y}{\partial K}$, $\frac{\partial Y}{\partial L}$ и $\frac{\partial Y}{\partial B}$, соответственно [16]. На рисунках 3, 4, 5 приведены графики расчетов предельных производительностей капитальных, трудовых и топливных ресурсов, определенных на основе построенных ранее математических моделей.

До 1990 года предельные производительности ресурсов были положительными, близкими к постоянным. Это значит, что система рационально использовала входные ресурсы и функционировала эффективно.

После 1990 года предельные производительности капитальных и трудовых ресурсов резко упали, стали близкими к нулевым и отрицательными (рисунки 3, 4). Управляемость энергопроизводств на основе входных воздействий K и L была практически потеряна.

При этом предельная производительность капитальных ресурсов для производства тепловой энергии была больше в 5,1-5,9 раза, чем при производстве электроэнергии. А предельная производительность трудовых ресурсов была выше при производстве электрической энергии. При этом значения всех предельных производительностей до 1990 года колебались в пределах 15 %.

Предельная производительность капитальных ресурсов для производства тепловой энергии резко снизилась в 2,8 раза с 1989 по 1991 год и приняла отрицательные значения. После этого наблюдался некоторый рост предельной производительности капитальных ресурсов, но ее значения оставались отрицательными, что свидетельствует о потере управляемости системы по капитальным ресурсам и избытке капиталов. С 2003 года значения фондоотдачи остаются постоянными.

Аналогично ведёт себе предельная производительность по трудовым ресурсам в период с 1989 по 1993 гг. Однако значения предельной производительности по трудовым ресурсам для электрической энергии имеют близкие к нулевым положительные значения.

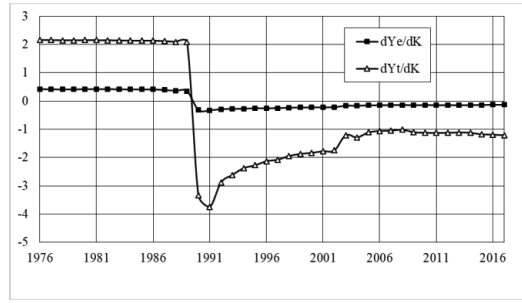


Рис. 3. Предельная эффективность капитальных ресурсов для двухфакторной ПФ при производстве тепловой dYt/dK и электрической энергии dYe/dK

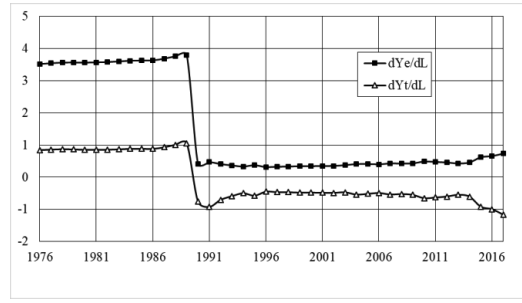


Рис. 4. Предельная эффективность трудовых ресурсов для двухфакторной ПФ при производстве тепловой dYt/dL и электрической энергии dYe/dL

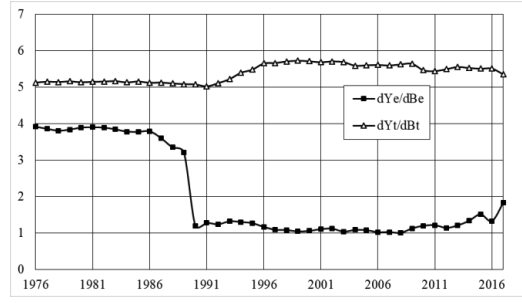


Рис. 5. Предельная эффективность топливных ресурсов для трехфакторной ПФ при производстве тепловой dYt/dBt и электрической энергии dYe/dBe

С 2014 по 2017 гг. наблюдается постепенное снижение эффективности труда при выпуске тепловой энергии на 96 % и постепенное повышение эффективности труда для производства электроэнергии на 62%.

Значения предельных эффективностей топливных ресурсов были положительными на всем периоде с 1976 по 2017 гг. С 1989 по 1991 гг. наблюдается снижение топливоотдачи для производства электроэнергии в 2,6 раза. Значения топливоотдачи для тепловой энергии значительно выше, чем для электрической энергии. Поскольку производство энергии связано с количеством используемого топлива физическими законами, то резкое снижение в 1,56 раза производства электрической и тепловой энергии в 1989-1994 гг. сказалось на

эффективности использования топлива при работе в неоптимальных режимах.

Только для производства электрической энергии наблюдается повышение эффективности использования топлива на 61 % с 2012 по 2017 гг..

V. Масштабная и технологическая эффективность энергосистемы

Изменение эффективности работы энергосистемы характеризуется следующими факторами: изменением масштаба энергетических производств M и совершенствованием технологических процессов R.

Для исследования влияния этих факторов на работу энергосистемы используем относительные значения капитальных, трудовых и топливных ресурсов $K_{от.}$, $L_{от.}$ и $B_{от.}$, которые определяются как отношения значений входных ресурсов в начальный год рассматриваемого периода к текущим значениям входных ресурсов [8], [17].

R характеризует повышение эффективности использования каждого вида ресурсов. Эффективность использования каждого вида ресурса будет равна $\frac{Y_{от.}}{K_{от.}}$, $\frac{Y_{от.}}{L_{от.}}$ и $\frac{Y_{от.}}{B_{от.}}$. Взвешивая значения эффективностей использования ресурсов с весами пропорциональными их эластичностям, получим для R следующее соотношение:

$$R = \left(\frac{Y_{от.}}{K_{от.}}\right)^{\rho_\alpha} \cdot \left(\frac{Y_{от.}}{L_{от.}}\right)^{\rho_\beta} \cdot \left(\frac{Y_{от.}}{B_{от.}}\right)^{\rho_\gamma},$$

где ρ^α, [illegible] и ρ^γ – относительные эластичности, определяемые по формулам:

$$\rho^\alpha = \frac{\alpha}{\alpha+\beta+\gamma},$$

$$\rho^\beta = \frac{\beta}{\alpha+\beta+\gamma},$$

$$\rho^\gamma = \frac{\gamma}{\alpha+\beta+\gamma}.$$

Значение M будем определять как взвешенное среднегеометрическое значение относительных увеличений объемов входных ресурсов

$$M = (K_{от.})^{\rho_\alpha} \cdot (L_{от.})^{\rho_\beta} \cdot (B_{от.})^{\rho_\gamma}.$$

Тогда производственная функция примет следующий вид

$$Y = R \cdot M.$$

Значения R и M для построенной ранее математической модели 1990 – 2017 гг. приведены на рисунке 6.

В таблице 2 приведены расчетные значения параметров ρ^α, ρ^β, ρ^γ, R и M в рассматриваемые интервалы времени: с 1976 по 1989 гг. и с 1990 по 2017 гг.

ТАБЛИЦА II. Результаты моделирования

Значения параметров	1976-1989 гг.	1990-2017 гг.
ρ^α	0,02	-0,23
ρ^β	0,32	-0,13
ρ^γ	0,66	0,97
R	1,00	1,36
M	1,22	0,45

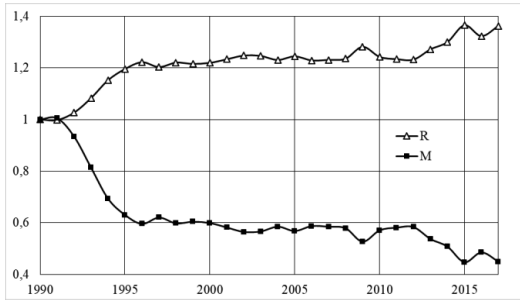


Рис. 6. Оценка параметров состава фактора эффективности производства суммарной энергии за период с 1990 по 2017 гг. M – масштабный фактор, R – фактор технологической эффективности производства

Для периода 1990-2017 гг. для производства суммарной энергии вклад масштабного фактора негативен, т.е. увеличение количества используемых ресурсов сочетается со снижением объёмов производства энергии. Величина M уменьшилась в 2,2 раза. Значения R в эти годы были выше вклада масштабного фактора, и несколько компенсировали негативные последствия. Полученная величина $M<1$ и отрицательная относительная эластичность ρ_α означают, что в энергосистеме имеется излишнее капитальное оборудование. Анализ показал, что для обеспечения эффективности энергосистемы на уровне 1989 года объём используемых материальных ресурсов должен быть уменьшен в 1,38 раз или на 38%.

VI. Фазовые портреты

Исследуем внутренние закономерности динамики поведения энергосистемы в фазовых пространствах состояний [8], [18], [19].

Построим фазовый портрет энергосистемы, который представляет собой кривую в пространстве состояний «фондоотдача – производительность труда».

На рисунке 7 предоставлены проекции фазового портрета суммарного производства энергии на основе статистических данных энергосистемы Самарской области за период с 1976 по 2017 гг.. В качестве координатных осей – показателей качества использованы текущие производительности ресурсов: фондоотдача $\frac{Y}{K}$ и производительность труда $\frac{Y}{L}$.

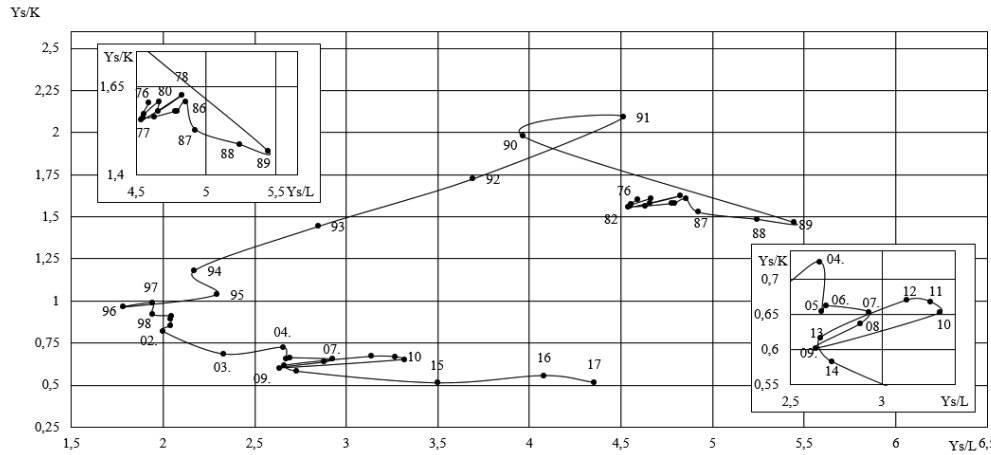


Рис. 7. Фазовый портрет суммарного производства энергии в пространстве состояний «фондоотдача – производительность труда»

Состояние анализируемой системы характеризуется тремя особыми точками с малыми флуктуациями для периодов 1976-1989 гг., 1996-1998 гг. и 2004-2013 гг. Движение изображающих точек происходит по циклическим эллипсам. В окрестностях первой стационарной точки система находилась 14 лет, в окрестностях второй – 3 года, в окрестностях третьей точки – 10 лет. Нахождение системы в особой точке говорит о стабилизации ее работы и о способности системы к саморегулированию.

До 1989 года система функционировала устойчиво со стабильными показателями эффективности. На интервале с 1990 по 1996 гг. происходит переходный процесс от одного стационарного состояния энергосистемы к другому, на более низких уровнях показателей эффективности функционирования энергосистемы, уменьшившихся в среднем в два раза.

С 1998 по 2003 гг. происходит еще один переходный процесс от второй особой точки к третьей. Третья особая точка характеризуется более низким показателем фондоотдачи и повышением производительности труда по сравнению со второй особой точкой.

С 2014 начинается новый переходный процесс, который продолжается до 2017 гг., происходит переход от одного стационарного состояния энергосистемы к другому против часовой стрелки, что характеризует неустойчивое состояние системы. Наблюдается стабилизация величины фондоотдачи и рост производительности труда в 1,7 раза. энергопроизводств. В целом, фондоотдача снизилась в 3,1 раза, производительность труда «искусственно» растет, приближаясь к докризисным значениям за счет изменений в организационных структурах энергопредприятий, вывода ремонтных и ряда других подразделений в аутсорсинг.

VII. Выводы

1. В целом, из проведенного анализа следует, что, с 1990 по 2017 гг. происходит постоянный спад производства энергии, вызванный сокращением энергопотребления, причем этот процесс продолжается до настоящего времени.

2. Модели в виде неоднородных трехфакторных ПФ удовлетворительно описывают функционирование энергосистемы в анализируемый период. Модельный анализ показал, что трудовые и капитальные ресурсы избыточны и используются неэффективно, выработка суммарной энергии наиболее чувствительна к изменению топливных ресурсов. На эффективность использования топлива оказывает влияние работа в неоптимальных режимах.

3. Анализ предельных производительностей ресурсов подтвердило результаты модельного анализа. Исследование свидетельствует о потере управляемости системы по капитальным ресурсам и избытке капиталов.

На изменение эффективности работы энергосистемы наибольшее влияние оказывает фактор совершенствования технологических процессов, масштабный фактор снизился.

4. Анализ фазовых портретов выявил нестабильность функционирования энергосистемы – в настоящее продолжается переходный процесс, характеризующийся потерей способности к саморегулированию.

Список литературы

[1] Емельянов С.В., Напельбаум Э.Л. Методы исследования сложных систем. // Итоги науки и техники. Техническая кибернетика. М.: ВИНИТИ, 1977. Т.8

[2] Матвеева Е.А., Диязитдинова А.Р., Черных О.Н., Гаврилова А.А. Проектирование сложных бизнес объектов на основе системного анализа. /монография Самара: ПГУТИ, 2016. – 150 с.

[3] Социально-экономическое положение Самарской области (1990 – 2001 гг.). / Самарский областной комитет государственной статистики. – Самара, 1991 –2002.

[4] Салов А.Г.Гаврилова А.А., Иванова Д.В. Исследование характеристик регионального промышленного комплекса методами статистического и модельного анализа./ Научное обозрение, №15, 2015, с.327-332

[5] Дилигенский Н.В., Салов А.Г., Алфеев А.А., Гаврилова А.А., Цапенко М.В. Анализ эффективности деятельности энергетических предприятий в период перехода к рыночным отношениям. // Перспективные проекты и технологии в

энергетике. Сб. мат-лов межрегион. науч.-практ. конф. / Волжский, 2005, с. 134-138

[6] Салов А.Г.Гаврилова А.А. Направления повышения энергоэффективности комбинированной выработки тепловой и электрической энергии./ «Проблемы совершенствования топливно-энергетического комплекса»: сб. науч. тр. Вып.8 Совершенствование энергетических систем и теплоэнергетических комплексов: мат. XIII межд. науч.-тех. конф. Саратов, 01-03 ноября 2016 – Саратов, 2016 – с.140-144.

[7] Gavrilova A.A., Salov A.G., Ivanova D.V. System model analysis of the management effectiveness of the territorial producing company and considering the interrelations with the macroenvironment. /2nd International Conference On Industrial Engineering, Applications And Manufacturing (ICEAM), 2.35, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia, в цифровой библиотеке «IEEE Xplore», 2016. – 6 С. Сб. трудов II межд. науч-техн. конф. Пром-Инжиниринг-2016 (ICIE-2016) в цифровой библиотеке «IEEE Xplore» Челябинск, 2016. – 6 с.

[8] Дилигенский Н.В.,Гаврилова А.А. Цапенко М.В. Построение и идентификация математических моделей производственных систем. Учебное пособие. Самара: Офорт, 2005. – 126 с.

[9] Салов А.Г., Гаврилова А.А., Князев П.А., Круглов В.А. Имитационное моделирование деятельности генерирующего комплекса на основе трехфакторной производственной функции./ Вестник СГАСУ. Градостроительство и архитектура: научно-технический журнал/СГАСУ. - Самара, 2016. – Вып.3 (24) – с.140-145.

[10] Салов А.Г., Гаврилова А.А. Системный анализ и моделирование деятельности энергетических генерирующих предприятий с целью оценки эффективности их функционирования в условия становления рыночных отношений. / Вестник Саратовского государственного технического университета. – 2008. - №1(30) с.86-91.

[11] Gavrilova A.A., Salov A.G., Ivanova D.V. Control algorithms development for manufacturing and economic systems activity/ XIV Межд. науч.-тех. конф. «Совершенствование энергетических систем и теплоэнергетических комплексов», Саратовский государственный технический университет им. Гагарина Ю.А., Саратов, 2018. PESPC IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series 1111 (2018) 012073 IOP Publishing doi:10.1088/1742-6596/1111/1/012073

[12] Salov A.G., Gavrilova A.A., Chirkova Yu.V. Optimization of power plants management structure based on the generalized criteria of the efficiency. / SHS Сб. трудов III межд. науч-технич. конф.Пром-инжиниринг-2017 (ICIE-2017) С-Пб, 2017. – 6с DOI: 10/1051/shsconf/2017350145

[13] Замков О.О., Толстопятенко А.В., Черемных Ю.Н. Математические методы в экономике. – М.: МГУ, издательство «ДИС», 1997. – 368с

[14] Гаврилова А.А. Повышение эффективности управления энергетическим производством на основе комплексных критериев деятельности./ В сб. материалов VII межд. конф. «Управление развитием крупномасштабных систем» ИПУ РАН, Москва, 2013, с.328-334

[15] Салов А.Г., Гаврилова А.А. Инновационные направления эффективного развития систем управления энергетическими предприятиями./ Инновационные стратегии развития экономики и управления: сб.статей [Электронный ресурс] / СамГТУ АСИ. – Самара, 2017. с.119-123.

[16] Родионов А.И., Бобров В.В., Дилигенский Н.В., Шелудько Л.П., Камаев Ю.П. Динамика макроэнергетических показателей топливно-энергетического комплекса области в условиях реформ. // Проблемы и перспективы социально-экономического развития Самарской области. Материалы научно-практ. конф. том II / – Самара, 1997, с.232-236.

[17] Дилигенский Н.В., Шелудько Л.П. Проблемы и пути реализации региональной энергосберегающей политики. // Вестник Самарского технического университета. Вып.5– Самара: 1998, – с. 144-151.

[18] Родионов А.И., Бобров В.В., Дилигенский Н.В., Шелудько Л.П., Ларин Е.А. Энергетическая стратегия Самарской области. // Самарская область на пороге XXI века. Стратегия социально-экономического развития Материалы Всероссийской научно-практ. конф. / – Самара, 1998, с.69-71.

[19] Дилигенский Н.В., Ефимов А.П., Цапенко М.В., Гаврилова А.А. Системный анализ устойчивости и надёжности функционирования энергетических систем в условиях структурной перестройки экономики. // Надёжность, энергетика и транспорт, Международная конференция, / – Самара, 2003. – с. 235-240.

Управление процессом самоорганизации личности в конфликтной ситуации

Герасимова И.Б.
Уфимский государственный авиационный технический университет
Уфа, Россия
tarot_gera@mail.ru

Хасанова Н.В.
Уфимский государственный авиационный технический университет
Уфа, Россия
khasanova.nv@mail.ru

***Abstract* —The paper considers a new interpersonal conflicts paradigm and resolution. The focus is on presenting a conflict as a mathematical model and a person as a self-regulating system rather than considering psychological aspects of the conflict. This allows to analyze the impact of a personality self-regulatory process on goal achievement under the counteraction conditions. Conflicting personalities are considered as controlled dynamic systems with linear and nonlinear feedback. Several typical interpersonal conflict situations that arise within a team has been analyzed.**

Ключевые слова — межличностный конфликт, математическая модель, уровень самоорганизации личности, динамическая модель

I. Введение

Коммуникационный процесс как передача и восприятие информации в условиях межличностного общения лежит в основе человеческих отношений. Каким будет результат взаимодействия личностей зависит как от выбранной ими стратегии индивидуального достижения цели, так и от того, насколько они способны отстаивать свои интересы, добиваться своих целей, не ущемляя интересов другой личности. В процессе взаимодействия часто возникают межличностные конфликты, причинами которых могут быть как внутренние, так и внешние факторы. В данной статье внимание уделяется не психологическим составляющим конфликта, а представление его в виде математической модели, а также представление личности как самоорганизующейся системы, что позволяет проанализировать влияние процесса самоорганизации на исход межличностного конфликта и выбранную ими сознательно или подсознательно стратегию поведения.

В конфликтологии отмечается два вида конфликтов: конструктивный и деструктивный. Результатом конструктивного конфликта будет понимание и развитие отношений между личностями в сторону сотрудничества. Такое взаимодействие приводит к новому развитию и укреплению отношений. Последствием деструктивных отношений является образование противоборствующих сторон на уровне личностей, групп и социума в целом. Бороться с такими конфликтами сложно и практически невозможно, но изучить их природу и научиться управлять ими можно [1, 2].

Одним из самых распространенных психологических конфликтов являются межличностные конфликты (МЛК), которые охватывают практически все сферы человеческой деятельности и человеческих отношений. Знание особенностей МЛК, причин их возникновения, способов управления и ликвидации относится к одному из важнейших элементов компетентности любого специалиста [3].

Исследователи различают следующие причины возникновения межличностных конфликтов:

1) различие и столкновение личных мотивов (или целей);
2) противоположность мнений;
3) различия характеров, темпераментов, интеллекта, воли и других индивидуальных психологических особенностей.

Способность к агрессивным действиям, приносящим вред (урон) противоположной стороне, враждебность как невосприятие другого лица, являются следствием и источником возникновения межличностных конфликтов в коллективе, которые могут продолжаться неопределенное время, нанося ущерб деятельности всего коллектива, пока этот межличностный конфликт не будет устранен. Также одной из причин развития конфликтных ситуаций может быть наличие опасных конфликтогенов, на которые часто не обращают внимание, тем самым создавая почву для накопления отрицательных эмоций и чувств. Различают пять типов конфликтогенов: стремление к превосходству, проявление агрессивности, проявление эгоизма, нарушение правил и неблагоприятное стечение обстоятельств [4].

Результатом конфликтной ситуации является одна из стратегий, которую выбирает личность или группа: избегание, приспособление, компромисс, соперничество или сотрудничество. Если при первых четырех стратегиях результатом взаимодействия будет отстаивание или избегание своих личных интересов, то результатом последней является рост, изменение и развитие как отдельно взятой личности, так и группы в целом. Выбор данной стратегии является наиболее сложным и трудным, но в тоже время самым перспективным для долгосрочного сотрудничества.

Однако в данной статье внимание уделяется описанию процессов развития межличностных конфликтов, выраженных в некоторой математической форме. Поэтому решение задач конфликтологии на основе теории систем и математических моделей конфликтов представляет определенный теоретический и практический интерес.

В дальнейшем рассмотрим в форме дифференциальных уравнений математические модели некоторых межличностных конфликтов, которые

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 18-08-00638.

©2019 ИПУСС РАН, СамГТУ, IEEE

возникают в трудовом коллективе, и выявим роль самоорганизации личности как новой стратегии при решении конфликта. Следует отметить, что данный подход отличается от существующего в теории конфликта подхода к построению динамической модели конфликта [5].

II. Математическая модель личности

Представим личность как одномерный объект математически в виде интегратора, на входе которого формируется сила торможения или ускорения движения и его направленность, определяющие величину темпа $\dot{x}(t)$ и направление действий личности. При этом состояние личности определяется параметром $x(t)$ на выходе интегратора, который показан на рисунке 1.

Личность может действовать как на противоположный объект (на другую личность) как возмущающее воздействие $f(t)$, так и на себя, обеспечивая самосохранение, путем самоорганизации за счет гармонии обратной отрицательной и положительной связей в своем сознании (рис.1).

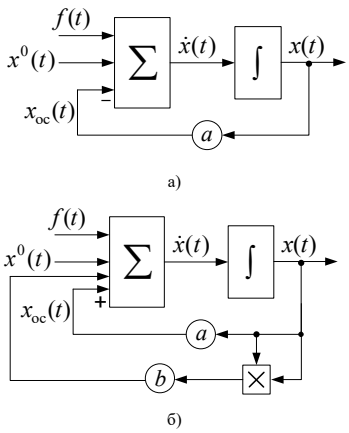


Рис. 1. Модели самоорганизации личности

Будем различать 2 типа самоорганизации личности:

- за счет изменения величины a линейной отрицательной обратной связи (рис.1, а);
- за счет линейной положительной обратной связи a и отрицательной квадратичной обратной связи b (рис.1, б).

Противоположная личность оказывает воздействие на первую личность в виде некоторого возмущающего воздействия $f(t)$. Задача деятельности личности заключается в том, чтобы она в результате задающего (целевого) воздействия $x^0(t)$ в процессе своей организованной деятельности за определенное время достигла конечное значение (цель), равное $x^0(t)$.

Достижение за заданный отрезок времени конечной цели для личности и является её функциональным предназначением, что обычно и осуществляется в нормальных ситуациях, когда отсутствуют внешние возмущающие воздействия $f(t)=0$.

Отметим, что эти две формы самоорганизации характерны и для всего коллектива.

III. Содержание межличностных конфликтов

В работе Шейнова В.П. приводится следующее определение межличностного конфликта – это столкновение несовместимых желаний, стремлений и установок индивидов, когда удовлетворение стремлений одного из них воспринимается другим как ущемление его интересов [4]. Добавим: это приводит к возмущающим отрицательным воздействиям друг на друга.

В данной статье межличностный конфликт рассматривается как противостояние двух личностей в процессе движения к своим целям (удовлетворениям своих потребностей), сопровождаемое общением и взаимодействием друг с другом с учетом их физико-психологических особенностей (темперамента, характера, мировоззрения, ценностной ориентации, интересов, потребностей, представления о самом себе и т.д.). В математической модели это противостояние выражается в такой форме, когда две конфликтующие личности одновременно оказывают возмущающие воздействия друг на друга, что приводит к нарушению процесса достижения цели этими личностями.

Отметим, что взаимодействие между личностями может происходить при различных формах (указанных выше) самоорганизации личности.

Межличностный конфликт – это результат такой ситуации, когда обе личности одновременно пытаются помешать друг другу в достижении целей (удовлетворению потребностей). Например, в производственной ситуации конфликтующие личности наносят друг другу такой урон (например, в форме невосполнимой потери ресурсов), который не позволяет достичь ни одной из личностей своей цели, т.е. потребности обеих личностей оказываются неудовлетворенными.

Познание природы действия каждой личности в конфликтной ситуации лежит в области знания психологических черт человека (стиль мышления, стратегия поведения, психолингвистика, невербальные проявления, эмоции, чувства), которые необходимо знать с целью подстройки и эффективного взаимодействия с ней, особенно в конфликтных ситуациях.

Одним из важнейших механизмов социального взаимодействия людей является коммуникация, в которой представление личности может рассматриваться как объект, находящийся в одном из множеств отрицательных эмоциональных состояний (аффект, стресс, фрустрация), когда переход из одного устойчивого состояния в другое критическое состояние под действием внешних возмущающих факторов не контролируется и может явиться источником возникновения межличностных конфликтов.

IV. Динамические модели взаимоотношений конфликтных личностей в коллективе

Перспективным подходом, позволяющим исследовать процесс развития конфликтной ситуации как слабоструктурированной системы, представляется построение динамической когнитивной модели, которая способствует лучшему пониманию проблем, выявлению внутренних противоречий системы и ее качественному анализу. Динамическая когнитивная модель позволяет оценить последствия, происходящие под влиянием внешних факторов на систему или в результате изменения характера связей между элементами системы. Результаты исследований с помощью динамических когнитивных моделей могут быть использованы также в качестве исходных данных для последующих этапов генерации управленческих решений. Поэтому необходим переход к динамическим когнитивным моделям, которые предназначены для анализа и принятия управленческих решений в сложных, быстроизменяющихся и неопределенных ситуациях [6]. В результате моделирования ситуаций на основе динамических когнитивных моделей выясняется потенциальная и реальная возможность достижения поставленных целей с помощью выбранных и заданных управляющих воздействий.

В статье рассматриваются задачи, которые связаны с вычислением достижимой конечной цели при различных формах самоорганизации конфликтующих личностей.

В работе Безруковой В.С. дается следующее определение самоорганизации личности – это «деятельность личности по четкой упорядоченности своей жизнедеятельности; способность и умение организовать себя. Проявляется самоорганизация в целеустремленности, самоанализе и жестком самоконтроле, самооценке, самоограничении себя во всем. Самоорганизующаяся личность умеет планировать время и работу, быстро принимать решения и выполнять их, экономно тратить силы и средства. Самоорганизованная личность работает над собой, своим характером, особенно эмоционально-волевой сферой. Это личность с высоким чувством долга, с высокоразвитым личным достоинством» [7].

В то же время самоорганизация – это отражение деятельности внутренних психологических процессов, характера человека, уровня его самозащищенности, связанного с их соперничеством, т.е. когда каждый должен удовлетворить свои потребности (достичь свою цель), не принимая в расчет потребности и интересы второй личности.

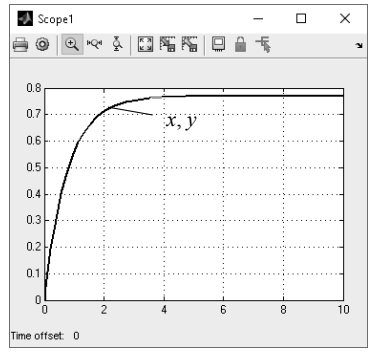
В дальнейшем рассмотрим различные модели и ситуации взаимодействия двух личностей, находящихся в конфликтной ситуации. Структура взаимодействия двух личностей относятся к классу многосвязанных (в рассматриваемом случае двусвязанных) систем [8, 9].

Ситуация 1. Пусть взаимодействие двух конфликтующих лиц x и y описывается следующей системой уравнений

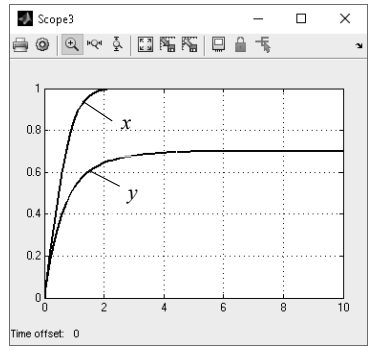
$$\begin{cases} \dot{x} = -x - \alpha y + x^0, \\ \dot{y} = -y - \beta x + y^0, \end{cases} \qquad (1)$$

где α и β – коэффициенты противодействия конфликтующих лиц друг другу; x^0, y^0 – конечная цель (или заданное значение степени удовлетворенности) движения переменных в бесконфликтной ситуации. Это линейная динамическая модель конфликта.

Пусть $x^0 = y^0 = 1$. Если коэффициенты α и β равны 0,3, тогда получаем, что конечные значения равны $x = 0{,}77$, $y = 0{,}77$, т.е. цели не достигнуты, неудовлетворенность личностей составляет 23 % (рис. 2, а). Это и есть результат конфликта при самоорганизации работы каждой личности в виде единичной отрицательной обратной связи (рис. 1, а).



а)



б)

Рис. 2. Переходные процессы по достижению цели в ситуации 1 (а) и в ситуации 2 (б)

Отметим, что чем больше отрицательное воздействие личностей на трудовой процесс друг друга, тем межличностный конфликт становится более глубоким. Если обе конфликтующие личности достигают 50 % своей цели (т.е. удовлетворенности), то такую ситуацию, по мнению некоторых исследователей, можно считать идеальным компромиссом. Но если истинные источники конфликта не раскрыты полностью, то конфликт может продолжаться в новой форме соперничества. Если глубина конфликта (т.е. значение достижимой цели) составляет менее 50 %, то стороны следует разъединить (развести).

А это соответствует одной из пяти стратегий поведения в конфликте, когда ни одна из сторон не получает полного удовлетворения, и каждый должен поступить в чем-то своими интересами, но главное при таком исходе, это сохранение межличностных отношений. Принято считать, что компромисс – лучшее решение конфликтной ситуации, но это заблуждение, так как это лишь промежуточный этап на пути решения проблемной ситуации, либо это временное решение или решение удобное для обеих сторон (личностей).

Ситуация 2. Предположим, что первая личность (x) для самозащиты организовала вторую форму самоорганизации, тогда управление взаимодействиями между личностями можно описать системой уравнений:

$$\begin{cases} \dot{x} = ax - bx^2 - \alpha y + x^0, \\ \dot{y} = -y - \beta x + y^0. \end{cases} \quad (2)$$

Суть самоорганизации личности заключается в том, что для ускорения процесса достижения цели она организует положительную обратную связь по координате x с коэффициентом a и одновременно организует отрицательную обратную связь по x^2 с коэффициентом b для лучшей стабилизации системы.

Введение положительной обратной связи способствует увеличению скорости (темпа) деятельности личности x, а сильная отрицательная обратная связь способствует быстрому снижению (торможению) темпов работы.

Взаимодействие с такой самоорганизацией приводит к тому, что при синтезированных значениях: $a = 1$ и $b = 1{,}8$, первая координата достигает цель ($x_k = 1$), а вторая личность в отличие от первой значительно отстает и далеко ($y_k = 0{,}7$) находится от цели (рис.2, б) при прежнем противодействии друг другу.

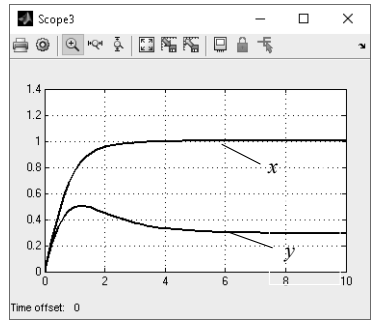
Конфликтовать с высокоорганизованной первой личностью при слабой организации второй личности является для неё крайне невыгодной. При этом первая личность инвариантна (не зависит) по отношению к некоторым действиям второй конфликтующей личности.

Стремление уйти от конфликта второй личности, в данной ситуации, будет определяться стратегией приспособления, когда причина избегания будет заключаться в психологических особенностях человека. Вторая личность будет «жертвовать» личными интересами в пользу первой личности, с одной стороны, в силу своей неспособности вступать в конфронтацию либо в силу заниженной самооценки, с другой стороны, это может быть тактическим шагом при достижении более значимой цели. То есть, это может быть соглашением или уступкой со стороны второй личности, но за этим стоит большая выгода, которую первая личность не видит или не знает из-за отсутствия полной информации по ситуации.

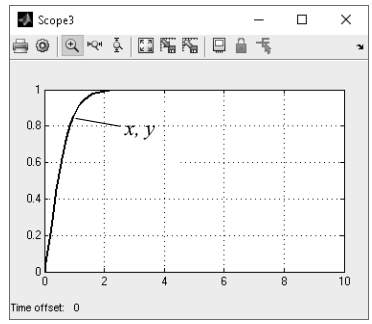
Ситуация 3. Первая личность хорошо организованная (по второй форме самоорганизации) и испытывает слабое линейное отрицательное воздействие со стороны второй личности y. Вторая личность слабо организована (по первой форме самоорганизации) и испытывает сильное (квадратичное) отрицательное воздействие со стороны первой личности x. Эта ситуация описывается системой уравнений:

$$\begin{cases} \dot{x} = ax - bx^2 - \alpha y + x^0, \\ \dot{y} = -y - \beta x^2 + y^0. \end{cases} \quad (3)$$

Хорошо организованная личность при сильном воздействии на слабо организованную личность достигает своей цели ($x_k = 1$), в то время как слабо организованная личность своей цели не достигает в еще большей степени ($y_k = 0{,}3$) по сравнению с ситуацией 2 (рис.3, а). При такой форме организации конфликта первая личность подавляет вторую и делает ее неработоспособной.



а)



б)

Рис. 3. Переходные процессы по достижению цели в ситуации 3 (а) и в ситуации 4 (б)

Такая стратегия поведения называется «крутым» соперничеством, когда одна из сторон находится в выигрыше и отстаивает только свои интересы, а вторая в проигрыше. Данная стратегия является агрессивной и направлена на принуждение второй личности уступить в споре. Первая личность делает такой выбор, когда задача, которую она решает, очень важна и она готова пойти на риск, но межличностные отношения при этом не сохраняются, ее действия опираются на власть, силу, закон, авторитет, доминирование и манипуляцию. Вторая личность, проигравшая сторона, не безразлична к ситуации и находится в состоянии скрытого

конфликта, а это непременно в дальнейшем отразится во взаимодействии личностей.

Ситуация 4, а. Обе личности используют вторую форму самоорганизации, тогда система описывается уравнениями

$$\begin{cases} \dot{x} = ax - bx^2 - \alpha y + x^0, \\ \dot{y} = ay - by^2 - \beta x + y^0. \end{cases} \quad (4)$$

При высоком уровне самоорганизации личностей линейное отрицательное воздействие конфликтующих сторон друг на друга (a = 0,5 и b = 1,2) не оказывает заметного влияния на процесс достижения цели, т.е. обе личности достигают цели $x_k = y_k = 1$ даже при слабом противодействии друг другу (рис.3, б).

Ситуация 4, б. Обе личности хорошо организованные и испытывают сильное отрицательное воздействие со стороны другой личности:

$$\begin{cases} \dot{x} = ax - bx^2 - \alpha y^2 + x^0, \\ \dot{y} = ay - by^2 - \beta x^2 + y^0, \end{cases} \quad (5)$$

Обе хорошо организованные личности даже при сильном воздействии (квадратичном) друг на друга достигают свои цели. При α = 0,3; β = 0,3; a = 1 и b = 1,7, получаем $x_k = y_k = 1$ (рис.3, б). Обе личности инвариантны к противодействиям друг друга. Тогда им выгодно от соперничества (противостояния) перейти к сотрудничеству.

Данное взаимодействие соответствует стратегии, которая называется избеганием, когда оба участника конфликтной ситуации сознательно или бессознательно уклоняются от конфликта, игнорируют или отрицают его наличие, не обостряя ситуацию, так как предмет спора не является для них значимым. Такая взаимная уступка позволяет избежать конфликтной ситуации, достичь своих целей и сохранить межличностные отношения на достаточно стабильном уровне.

Таким образом, повышение уровня самоорганизации (самозащиты, сдержанности) той или иной личности приводит к положительным результатам ее деятельности в условиях противодействия другой личности.

V. Заключение

Результаты проведенного исследования показали, что процесс самоорганизации как тактика поведения оказывает сильное влияние на результат конфликтующих сторон. Две слабоорганизованные личности в одинаковой степени чувствительны к противодействиям противоположной стороны и не могут достичь своих целей, т.е. при слабой самоорганизации личности выбирают стратегию компромисса, являющейся временной или вынужденной на данном этапе.

Личность с более высоким уровнем самоорганизации всегда оказывается ближе к достижению своей цели независимо от попыток слабоорганизованной системы помешать ее деятельности. Стремление уйти от конфликта второй личности, в данной ситуации, будет определяться стратегией приспособления, когда причина избегания будет заключаться в психологических особенностях второй личности. Поведение первой личности может соответствовать агрессивной стратегии соперничества, когда цель достигается только первой личностью.

Личности с сильной самоорганизацией практически не могут оказывать существенного влияния на процесс деятельности даже при сильных отрицательных воздействиях друг на друга. Когда выясняется, что соперничество инвариантно по отношению к взаимному противодействию, тогда личностям выгодно перейти к сотрудничеству, отказавшись от противодействия друг другу. Для данного поведения характерна стратегия избегания, когда обе стороны стремятся уйти от конфликта, при этом достигая свои цели и сохраняя межличностные отношения.

Представляет научный интерес изучение процессов ликвидации межличностных конфликтных ситуаций с участием коллектива, а также представление конфликтной личности в виде трехпараметрического объекта, учитывающего его и интеллектуальные, эмоциональные и творческие особенности.

Список литературы

[1] Сидоренков А.В., Ульянова Н.Ю., Шипитько О.Ю. Современные зарубежные исследования психологии конфликта в малых группах // Психологический журнал, 2017. Т. 38. № 6. - С. 30-41.

[2] Korsgaard M.A., Jeong S.S., Mahony D.M., Pitariu A.H. A multilevel view of intragroup conflict. Journal of Management, 2008, vol. 34, No. 6, pp. 1222–1252.

[3] Kristin J. Behfar, Elizabeth A. Mannix, Randall S. Peterson, Conflict in Small Groups: The Meaning and Consequences of Process Conflict //Small Group Research. First Published December 13, 2010 (https://doi.org/10.1177/1046496410389194).

[4] Шейнов В.П. Управление конфликтами. СПб.: Питер, 2014 (www.phantastike.com/conflictology/upravlenie_konfliktami/zip/).

[5] Семенов В.А. "Эсперанто" для конфликтологов (на пути к созданию единой теории конфликта) // Известия Российского государственного педагогического университета им. А.И.Герцена. СПб., 2003. № 3(5). - С.37-49.

[6] Герасимова И.Б., Мухамедрахимова Л.Н. Повышение эффективности функционирования малых социальных групп с учетом человеческого фактора // Вестник СамГТУ. Серия Технические науки, 2015. № 1. - С. 13-20.

[7] Безрукова В.С. Основы духовной культуры (энциклопедический словарь педагога). Екатеринбург, 2000. - 937 с.

[8] Ilyasov B. G., Saitova G. A. A systems approach to studying multi-connected automated control systems based on frequency methods. Automation and Remote Control, 2013, vol. 74, № 3, pp. 456-470.

[9] Ilyasov B. G., Saitova G. A. the Analysis of stability of dynamic systems represented in polynomial vector-matrix form // Bulletin of the Russian Academy of Sciences. Theory and control systems. 2018, № 2, pp. 3-10.

Информационная поддержка управления твёрдыми бытовыми коммунальными отходами промышленно-развитых территорий на основе когнитивного моделирования

Гвоздев В.Е.
Уфимский Государственный Авиационный Технический Университет
Уфа, Россия
wega55@mail.ru

Бежаева О.Я.
Уфимский Государственный Авиационный Технический Университет
Уфа, Россия
obezhaeva@gmail.com

Христодуло О.И.
Уфимский Государственный Авиационный Технический Университет
Уфа, Россия
o-hristodulo@mail.ru

Хамидуллина А.Е.
Уфимский Государственный Авиационный Технический Университет
Уфа, Россия
namukha5@gmail.com

***Abstract* — The paper discusses the problems of information support for the development of an effective strategy for the municipal solid waste management based on cognitive modeling, geo-information technologies, theories of intersubjective and convergent management. The significant factors for modelling have been identified. A cognitive model, taking into account to the diversity of initial data is proposed. To solve this problem, the method for determining the weights of an oriented graph under conditions of small amounts of actual data on the basis of the expert and statistical estimates is offered. Cognitive maps that correspond to the different strategies for the municipal solid waste management in industrialized areas have been constructed, specifically, the prevalence of waste storage, storage and sorting, sorting and processing. Proposed cognitive model allows to make the primary qualitative analysis of the problem situation, allows to identify the relationship and influence of various factors. The main purpose of information support of municipal solid waste management based on cognitive modeling is to reduce the uncertainty of the problem situation and make a consolidated decision, taking into account of various stakeholders interests.**

Ключевые слова — когнитивная модель, значимые факторы, проблемная ситуации, нечеткие цели, промышленно-развитые территории, структурный анализ, информационная поддержка

I. Введение

Сегодня переработка отходов является одной из самых острых проблем экологии. С каждым годом человек потребляет все больше продуктов, увеличиваются темпы производства, соответственно, растет общее количество отходов. Согласно статистике, уровень загрязненности современных российских мегаполисов достаточно высок. Весь мусор свозится на полигоны, где он успешно копится и заполняет все большую территорию. Сегодняшние реалии с массой нерешенных вопросов по переработке и утилизации мусора своими корнями уходят в 1990-е. Именно тогда прекратилось повторное использование макулатуры и сбор вторсырья. Практически одновременно с этим сформировалась новая культура потребления, при которой количество мусора резко увеличилось. Все это, совпало с наступлением эпохи пластика. Всего за несколько лет стремительно изменилась не только страна, но и состав бытовых отходов, в которых все чаще стали встречаться разовая пластмассовая посуда, пластиковые бутылки и упаковка. До сортировки и утилизации мусора у государства и тем более у нового российского общества руки не доходили. Утилизация отходов в основном осуществлялась с помощью вывоза мусора на большие свалки – полигоны, размеры, которых с каждым днем только увеличиваются. В России совсем недавно никто не собирался заниматься проблемой утилизации и переработки отходов, к счастью ситуация начинает постепенно меняться. Стоит учесть, что к решению данной проблемы стоит подходить на основе положений теории интерсубъективного и конвергентного управления [1, 2, 3] с учетом интересов различных заинтересованных сторон: представителей органов государственной власти; бизнеса; научного сообщества; общественных организаций.

Работа поддержана грантом Российского Фонда Фундаментальных Исследований № 18-08-00885 А “Методологические основы многокритериального управления процессом выбора местоположения промышленных предприятий по переработке отходов на основе положений эвергетики”.

©2019 ИПУСС РАН, СамГТУ, IEEE

II. Концептуальная основа урегулирования проблемной ситуации

На сегодняшний день проблемная ситуация с твердыми бытовыми отходами очевидна для всех регионов России, в том числе и для Республики Башкортостан, где ежегодно вывозится на захоронение более 1 млн. тонн отходов (> 97% от общего объема), а общее количество уже образованных на 2016 год отходов составляет порядка 24 млн тонн отходов [4 - 7]

Под проблемной ситуацией понимается слабоструктурированная ситуация с нечеткими целями [8, 9].

Для описания данной проблемной ситуации хорошо подходит аппарат когнитивных карт, так как когнитивные карты различного типа являются основным инструментом для исследования слабоструктурированных ситуаций [10, 11]. Место когнитивной модели в урегулировании проблемной ситуации показано на рис. 1.

Построение когнитивной модели относится к классу обратных задач:

$$S + R = A^{-1}Ц \quad (1)$$

$$<КМ = A^{-1}Ц> \quad (2)$$

где $S + R$ – структура факторов (когнитивная модель);

$Ц$ – нечеткая цель;

A^{-1} – обратный оператор преобразования нечеткой цели в когнитивную модель.

Рис. 1. Место когнитивной модели в урегулировании проблемной ситуации

В данной работе понимание проблемной ситуации осуществляется через когнитивные модели. На основе когнитивной модели рассматриваются различные сценарии и стратегии урегулирования проблемной ситуации. Состав факторов когнитивной модели и отношения между концептами отражает восприятие проблемной ситуации различными фокус группами акторов. Одной из фокус-групп выступают ученые и в моделях учитываются их мотивационные аспекты.

III. ПОСТРОЕНИЕ КОГНИТИВНЫХ МОДЕЛЕЙ ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ

На ранних стадиях проектирования существует недостаток информации, который обосновывает использование структурных методов анализа при проведении сопоставления различных вариантов проектных решений, одним из таких приемов - использование знаково-ориентированного графа, в котором вершины – концепты графа (факторы, связанные между собой и влияющие на характеризуемую ситуацию), а ребра характеризуют взаимное влияние компонент системы друг на друга (причинно-следственные связи между факторами) [12, 13].

В когнитивных картах используются знаки влияния концептов: положительные и отрицательные. Если между два концепта между собой связаны положительной связью, то увеличение значения одного из концептов приводит к увеличению и другого, а если два концепта связаны отрицательной связью, то увеличение значения одного из концептов приводит к уменьшению значения другого. При проведении анализа необходимо учитывать наличие в системах положительных (усиливающих) и отрицательных (стабилизирующих) обратных связей. Наличие контуров положительных и отрицательных обратных объясняет процесс изменения состояний системы, который может оказаться сходящимся, расходящимся, либо колебательным при заданной структуре состояний компонент системы в зависимости от точки воздействия.

На начальном этапе для составления когнитивной модели предметной области необходимо выделить список значимых факторов:

1) Условия жизни населения;
2) Отходы;
3) Захоронение отходов;
4) Состояние природной среды;
5) Затраты на парирование;
6) Финансовая нагрузка на население;
7) Доходы населения.

Построим первую когнитивную модель, соответствующую текущей ситуации в управлении твердыми бытовыми отходами. Данная модель показана на рис 2.

Рис. 2. Когнитивная модель, соответствующая текущей ситуации в управлении твердыми бытовыми отходами

Первый вариант отражает текущую ситуацию, а именно, превалирование захоронение отходов. Модель состоит из 7 компонент, где условия жизни населения соответствуют состоянию здоровья человека, качеству питания, продолжительности жизни и т.д. Концепт «Условия жизни населения» напрямую влияет на концепт «Отходы». Поскольку, чем выше уровень жизни, тем выше уровень потребления, а, следовательно, увеличивается и количество отходов. На данном этапе основной принцип утилизации мусора – захоронение на полигонах, чем больше мусора, тем большее количество

места для захоронения необходимо, а это в свою очередь оказывает негативное воздействие на состояние окружающей среды.

Для того, чтобы уменьшить негативное влияние на окружающую среду и справиться с уже накопленным количеством отходов на полигонах, количество которых постоянно увеличивается, необходимы средства, методы, технологии и оборудование. Финансовая нагрузка при этом ложится на плечи населения, через повышение тарифов на вывоз мусора, это влияет на доходы и условия жизни населения.

Данная стратегия не должна оставаться приоритетной, необходимо рассматривать другие варианты утилизации мусора, которые снизят негативное воздействие на состояние природной среды, а также снизят финансовую нагрузку на население, за счет средств, полученных на переработке и сортировке мусора.

Изучив информацию из внешних источников [14 - 19], статьи, описывающие опыт стран, перешедших на альтернативные методы утилизации отходов, предлагается построить когнитивную модель, ориентированную на сортировку и переработку отходов.

Для составления когнитивной модели выделим список значимых факторов:

1) Условия жизни населения;
2) Отходы;
3) Затраты на защиту природной среды;
4) Состояние природной среды;
5) Захоронение не переработанных отходов;
6) Сортировка отходов;
7) Переработка отходов;
8) Наполнение местного бюджета;
9) Финансовая нагрузка на население;
10) Доходы населения;

В данной модели список значимых факторов расширен. Предлагается стратегия управления отходами с превалированием сортировки и переработки отходов, и лишь небольшая часть не перерабатываемых отходов отправляется на захоронение на полигон. Данная модель показана на рис.3.

IV. АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЯ СОСТОЯНИЯ ОТДЕЛЬНЫХ КОМПОНЕНТ КОГНИТИВНЫХ МОДЕЛЕЙ

На качественном уровне оценим характер процесса изменения состояния разных компонент системы, обусловленное изменением состояния компонент в альтернативных стратегиях утилизации твердых бытовых отходов.

Формальным признаком нелинейной системы является наличие контуров положительных и отрицательных обратных связей. Наличие положительных и отрицательных контуров обратных связей является причиной того, что при заданной структуре состояний компонент системы в зависимости от точки воздействия, процесс изменения состояний может оказаться сходящимся, расходящимся, либо колебательным.

Рис. 3. Когнитивная модель, соответствующая стратегии управления отходами с превалированием сортировки и переработки.

Постулируются следующие положения, согласно [10].

1) Компонентами вектора состояния системы могут быть лишь элементы множества {-1,0, +1}. Значение «1» соответствует положительному изменению состояния; «0» соответствует неизменному состоянию; «-1» соответствует ухудшению состояния.

2) Если в ходе расчетов значение компоненты вектора состоянии превышает значение «+1», оно заменяется на значение «единица».

3) Если в ходе расчетов значение компоненты вектора состояния принимает значение меньше, чем «-1», оно заменяется на «минус единица».

4) Если в ходе расчетов значение вектора состояния принимает значение «ноль», оно остается неизменным.

5) Считается, что значение компоненты вектора состояний, соответствующего компоненту системы, на которое оказано воздействие, в последующем остается неизменным.

Стратегии управления твердыми бытовыми отходами с преобладанием захоронения отходов соответствует модель, представленная на рис. 2. В начальный момент времени на компонент «Финансовая нагрузка на население» производится постоянное воздействие. А

именно, после принятия закона на федеральном уровне о переходе на новую систему обращения с твердыми коммунальными отходами, решено возложить оплату за вывоз и утилизацию мусора на население, повысив тариф.

Требуется оценить, как изменение статуса одного из компонент повлияет на состояние системы управления отходами. Необходимо использовать следующее соотношение:

$$[C_1, C_2, ...C_7]_H = [C_1, C_2, ...C_7]_C * \|H\|. \quad (3)$$

Этот знаково-ориентированный граф соответствует матрице вида:

$$\|H\| = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (4)$$

Данная матрица характеризует отношения между узлами графа, показанном на рис. 2.

$[C_1, C_2, C_3, C_4, C_5, C_6, C_7]$ - вектор состояний узлов графа. Индекс вектора «H» характеризует значения компонент вектора на (k+1)-й итерации. Индекс «C» характеризует значения компонент вектора на k-ой итерации.

[0,0,0,0,0,1,0] – исходный вектор состояний при воздействии на узел 6.

[0,0,0,0,1,-1] - преобразованный вектор состояний, соответствующий первой итерации, преобразование вектора состояний, соответствующего первой итерации, обусловлено пятым постулируемым положением.

В силу того, что преобразованный вектор состояний на 9 итерации соответствует преобразованному вектору состояния на 5 итерации, делается заключение, что достигнуто колебательное состояние, на этом умножение вектора состояний на матрицу прекращается. Полученные результаты показаны на рис.4.

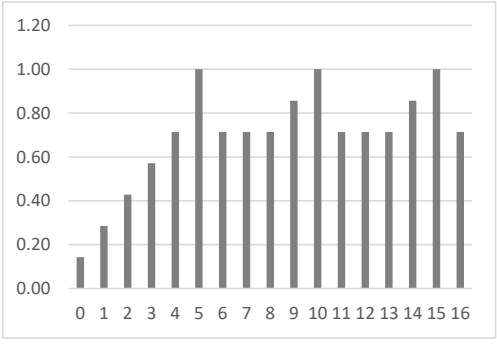


Рис. 4. Состояние системы при воздействии на компонент 6 (Финансовая нагрузка на население) при реализации стратегии управления твердо-бытовыми отходами с превалированием захоронения отходов

Результаты, показанные на графике, свидетельствуют о том, что увеличение финансовой нагрузки на население приводит к возникновению в системе колебательного процесса, а это означает, что улучшения ситуации в общем не происходит.

Проведем подобную процедуру изменения состояний узлов для системы, представленной на рис. 3. В рамках текущего графа рассмотрим поведение системы при изменении состоянии компонент «Сортировка отходов» и «Переработка отходов».

[0,0,0,0,0,1,1,0,0,0] - исходный вектор состояний при воздействии на узлы графа.

Матрица, характеризующая отношения между узлами графа, показанного на рис. 3 имеет следующий вид:

$$\|H\| = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}. \quad (5)$$

[0,0,0,0,-1,1,1,1,0,1] – преобразованный вектор состояний, соответствующий первой итерации.

[1,1,1,1,-1,1,1,1,1,1] – преобразованный вектор состояний, соответствующий третьей итерации.

Преобразованный вектор состояний третьей итерации соответствует преобразованному вектору состояния на четвертой и пятой итерации. Можно сделать вывод, что достигнуто устойчивое состояние. Результаты показаны на рис.5.

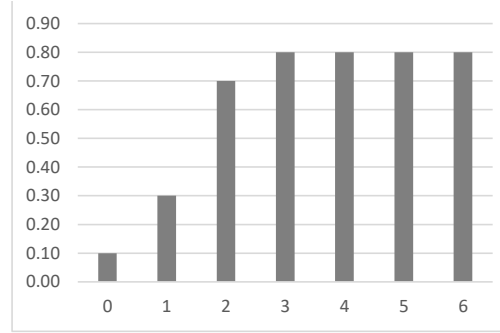


Рис. 5. Состояние системы при воздействии на компонент 6 (Сортировка отходов) и компонент 7 (Переработка отходов) при реализации стратегии управления твердо-бытовыми отходами с превалированием сортировки и переработки отходов

Из графика следует, что, при наличии в системе сортировки и переработки система находится в стабильном состоянии.

При оценивании сценариев изменения состояния как отдельных компонент, так и системы в целом необходимо учесть, что при изменении состояния какого-либо узла, меняются все остальные узлы, с которыми он связан, эти изменения влекут за собой дальнейшие преобразования с учетом знаков – отношений. Спустя разное количество шагов измененные компоненты сами воздействуют на исходный узел.

Приведенный пример иллюстрирует положение о том, что последствия для системы зависят от того, состояние какого компонента изменилось. Проведения подобного анализа способствует выявлению (на качественном уровне) возможных сценариев изменения состояния как отдельных компонент, так и системы в целом.

V. КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТВЕРДО-БЫТОВЫМИ ОТХОДАМИ НА ОСНОВЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Основу оценки состояния системы управления отходами составляет территориальный анализ симптомов, косвенно характеризующих состояние системы управления отходами.

В предлагаемой когнитивной модели каждая из компонент является многомерной характеристикой. В решении задачи комплексной оценки на основе геоинформационного моделирования предлагается рассмотреть компонент «Состояние природной среды». Это многомерная характеристика, которая включает в себя множество показателей. Для примера рассмотрим параметры: количество отходов на душу населения / км2 территории – отражает негативную нагрузку на состояние природной среды и здоровье населения; количество использованных и обезвреженных отходов на душу населения / км2 территории - парирование негативных воздействий отходов на состояние окружающей среды и здоровье населения.

Решение задачи выражается в классификации территорий по значениям характеристик состояния. В качестве примера, на рис.6 и рис.7 приведены результаты районирования территории республики по нескольким частным показателям состояния территории.

Полученные результаты районирования территории РБ по ряду показателей, косвенно характеризуют состояние территориальной системы с точки зрения негативного влияния отходов на окружающую среду.

VI. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сегодня в России в целом и в Республике Башкортостан, в частности, наблюдается значительный рост твердо-бытовых отходов, что, в первую очередь, связано с высокими темпами социально-экономического развития общества. В статье выражено понимание проблемной ситуации с помощью когнитивных моделей.

Основными результатами исследования:

- Описана концептуальная основа урегулирования проблемной ситуации.
- Определены значимые факторы для моделирования.

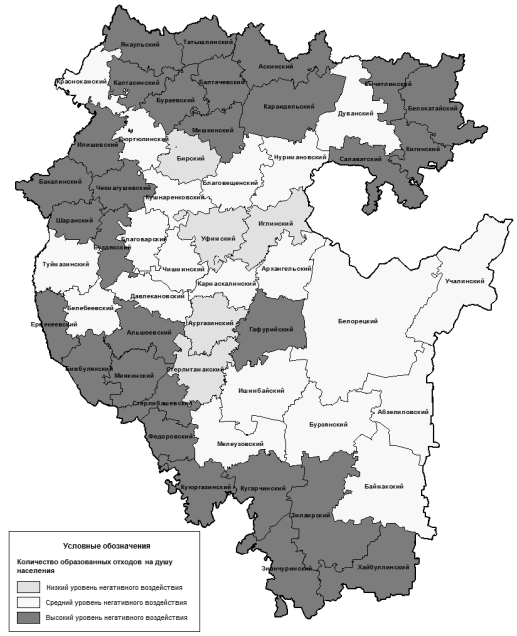


Рис. 6. Количество образованных отходов на душу населения на территории РБ

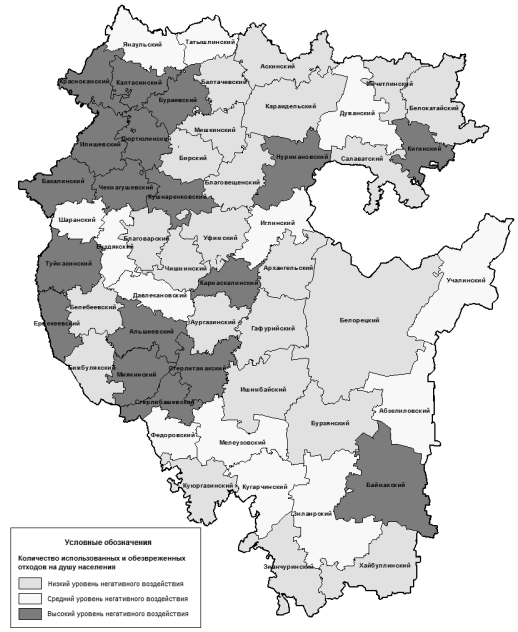


Рис. 7. Количество использованных и обезвреженных отходов на душу населения на территории РБ

- Разработаны когнитивные карты, которые соответствуют различным стратегиям утилизации твердых бытовых отходов в промышленно развитых районах, а именно когнитивная модель, соответствующая текущей ситуации в управлении твердыми бытовыми отходами и когнитивная модель, соответствующая стратегии управления отходами с превалированием сортировки и переработки.

- На основе когнитивной модели проиграны различные сценарии и стратегии урегулирования проблемной ситуации. Произведен первичный качественный анализ проблемной ситуации, в котором выявлены взаимосвязи и влияние различных факторов. Данный анализ снижает уровень неопределенности в управлении твердыми бытовыми отходами.

- Приведен пример, комплексной оценки состояния системы управления твердыми бытовыми отходами на основе геоинформационного моделирования.

Целью информационной поддержки управления твердыми коммунальными отходами на основе когнитивного моделирования является снижение неопределенности проблемной ситуации и принятие консолидированного решения с учетом особенностей когнитивных моделей, учитывая интересы населения, государственных структур, бизнеса и специалистов по управлению безопасностью территориальными системами.

Список литературы

[1] L.R. Chernyakhovskaya, “Decision support in management of hardware-software complex functional safety on the basis of ontological engineering” / Gvozdev, V.E., Chernyakhovskaya, L.R., Davlieva A.S. // Proc. of International Russian Automation Conference, RusAutoCon 2018, Russia, Sochi, 2018. P.1-5.

[2] Кузнецов О.П., Кулинич А.А. Марковский А.В. Человеческий фактор в управлении, М.: КомКнига, 2006. – 344с.

[3] Хакен Г. Тайны природы. Синергетика: учение о взаимодействии. Москва-Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2003. – 320 с.

[4] Республиканская целевая программа «Совершенствование системы управления твердыми бытовыми отходами в Республике Башкортостан на 2011-2020 годы», утвержденная постановлением Правительства Республики Башкортостан от 18.11.2011 №412. – Уфа, 2011. – 33 с.

[5] Территориальная схема обращения с отходами, в том числе с твердыми коммунальными отходами в Республике Башкортостан, утвержденная постановлением Правительства Республики Башкортостан от 03.11.2016 №480. – Уфа, 2016. – 302 с.

[6] Об экологической ситуации на территории Республики Башкортостан в 2014 году: гос. Докл. / М-во природопользования и экологии Республики Башкортостан. – Уфа, 2015. – 172 с.

[7] Об осуществлении регионального государственного экологического надзора на терриории Республики Башкортостан в 2014 году: гос. докл. / М-во природопользования и экологии Республики Башкортостан. – Уфа, 2015. – 150 с.

[8] Виттих В.А. Неоднородный актор и повседневность как ключевое понятие эвергетики: препринт. – Самара: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем управления сложными системами Российской академии наук, 2014. – 12 с.

[9] Виттих В.А. Проблемы эвергетики // Проблемы управления, 2014, № 4. - С. 69-71.

[10] C.E. Pelaez, J.B. Bowles. Using fuzzy cognitive maps as a system model for failure modes and effects analysis| // Information Sciences. Vol. 88, Issues 1-4, January 1996. P. 177-199.

[11] Ritu Soni, Ashpinder Preet. Cognitive Approach to Root Cause Analysis for Improving Quality of life: A case study for IT Industry // International journal of informative and futuristic research (Online). Vol. 1 Issue 1, August -September 2013. – 8 p.

[12] Марковский А.В. Использование методов структурного анализа при подготовке когнитивных карт / М.: ИПУ РАН, 2009. С. 41-46.

[13] Марковский А.В. Использование структурного анализа при формировании когнитивных карт / М.: Физматлит, 2009. С. 399-408.

[14] V.E. Gvozdev, “Information support of technogenic safety management on the basis of mathematical modeling and GIS technologies” / V.E. Gvozdev, O.I. Khristodulo, D.V. Blinova // Proc. of 2nd International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing, ICIEAM 2016, Russia, Chelyabinsk, 2016. P.1-4.

[15] O.I. Khristodulo, “Spatial information processing for decision-making support of siting of technogenic hazards using computer technologies”/ Khristodulo O.I., Gvozdev V.E., Davletbakova Z. // Proc. of 2nd International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing, ICIEAM 2016, Russia, Chelyabinsk, 2016. P.1-5.

[16] V.E. Gvozdev, “Statistical analysis of time of establishing steady phases of functioning of complex hardware-software systems” / V.E. Gvozdev, D.V. Blinova, D.R. Akhmetova // Proc. of International Russian Automation Conference, RusAutoCon 2018, Russia, Sochi, 2018. P.1-5.

[17] V.E. Gvozdev, “Control of component alterations according with the target efficiency of data processing and control system” / V.E. Gvozdev, M.B. Guzairov, D.V. Blinova, A.S. Davlieva, // Proceedings of the International conference Information Technology and Nanotechnology. Session Data Science (Samara, Russia, 24-27 April, 2017): 2017. P. 11-16.

[18] M.B. Guzairov, “Analysis of Properties Hardware-Software System in Efficiency Index Under Uncertainty Component Structures” / M.B. Guzairov, V. E. Gvozdev, A. Davlieva, V. Teslenko // Proceedings of the Vth International workshop "Critical infrastructures: Contingency management, Intelligent, Agent-based, Cloud computing and Cyber security" (IWCI 2018). P. 73-77.

[19] Христодуло О.И. Разработка информационной системы размещения объектов техногенной опасности с использованием нечеткой логики / О.И. Христодуло, И.Ф. Салимзянов, Н.Р. Гареева // Научный журнал «Научно-технические ведомости СПбГПУ. Информатика. Телекоммуникации. Управление». - Санкт-Петербург, Россия, 2015. Т.5 (229). С. 47 – 58.

Коллективное управление деятельностью научной школы как многосвязным динамическим объектом

Ильясов Б.Г.
ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет»
Уфа, Россия
ilyasov@tc.ugatu.ac.ru

Герасимова И.Б.
ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет»
Уфа, Россия
tarot_gera@mail.ru

Карамзина А.Г.
ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет»
Уфа, Россия
karamzina@tc.ugatu.ac.ru

***Abstract* — The results of analysis of the collective control processes of a scientific school as a multivariable dynamic object are presents. The synergistic effect of collective intellectual interaction when making management decisions is revealed. This effect can be used in the future as an additional intellectual resource in the control of the activities of a scientific school.**

Ключевые слова — научная школа, коллективное управление, динамический объект, синергетический эффект, устойчивость

I. Введение

На сегодняшний день проблему коллективного управления пытаются решать в различных областях человеческой деятельности. Достижения в области информационных и коммуникационных технологий за последние два десятилетия способствовали распространению знаний, полученных коллективным разумом (форма интеллекта, которая рождается в результате взаимодействия коллектива людей), посредством внедрения различных технологий, облегчающих взаимодействие коллектива. Такие технологии были приняты и адаптированы в экономике, в промышленности, в социологии и в организационных системах.

Коллективное управление предполагает, что выработка и принятие решений возлагается на отдельного человека, а на группу специалистов.

Целесообразность коллективного управления в свое время обосновал великий русский естествоиспытатель В.М. Бехтерев, который в своих трудах пришел к следующим выводам [1]:

- наблюдательность отдельных лиц в группе возрастает как в количественном, так и в качественном отношении;
- коллективное решение является по своему характеру компромиссным между индивидуальными, отбрасывая их крайности;
- в критике индивидуальных ошибок группа несомненно имеет преимущество перед индивидами;
- группа превосходит индивидов в наблюдательности, объеме и прочности запоминания материала, исправлении индивидуальных ошибок;
- группа предлагает решения, которые, как правило, более верны с нравственной точки зрения;
- групповое решение способно оказать влияние на индивидуальное, обогащая и совершенствуя его;
- отдельные особо одаренные личности в индивидуальном творчестве могут превосходить группу;
- в целом от совместной работы с другими людьми человек, несомненно, выигрывает, повышая свой интеллект.

И даже там, где окончательное решение принимает один, мнение группы, играющей роль советчика, может его существенно обогатить и улучшить.

Превосходство коллективных решений обусловлено, кроме того, наличием у группы:

- значительного творческого потенциала;
- возможности взаимной активизации;
- взаимной поддержки участников [2].

Также в настоящее время растет интерес к разработке методов, систем и инструментов для управления объектами в вычислительной и интегрированной форме. Этому способствуют различные появившиеся распределенные и вычислительные парадигмы, которые включают в себя, в том числе и, коллективный интеллект согласно подходу Индустрии 4.0. В работе [3] предлагается концептуальная архитектура, позволяющая внедрить медицинскую информационную систему, ориентированную на управление и генерирование знаний в хирургических службах с помощью коллективного интеллекта. В работе [4] решают задачу успешной организации самоорганизующихся механизмов управления ресурсами общего пула для решения проблемы самостоятельного управления распределением ресурсов в социально-технических системах. В работе [5] авторы предлагают использовать коллективный разум для борьбы со стихийными бедствиями. В работе [6] изучена проблема коллективного управления ресурсами на основе теории массового обслуживания. В работе [7] предложена концепция для изучения коллективного интеллекта в его самой основной форме – интеллекта команд,

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (18-08-00638).

©2019 ИПУСС РАН, СамГТУ, IEEE

ограниченных по количеству и в пространстве. Коллективный интеллект используется в качестве инструмента управления. В работе [8] рассматривают формы коллективной умственной деятельности, которые могут применяться на этапах жизненного цикла системы при принятии решений в проблемной области. В работе [9] предложена концептуальная модель исследования коллективно-личного интеллекта для достижения цели организации. Однако проблеме коллективного управления научной школой не уделено достаточно внимания.

Исследования также проводятся в области управления знаниями для решения задач управления. В работе [10] анализируются особенности управления знаниями в образовании. В работе авторов [11] предложена нелинейная многосвязная мультиагентная модель накопления знаний в научной школе в результате самоорганизации процесса обмена научной информацией.

Оценка деятельности функционирования научных коллективов часто осуществляется по публикационной активности участников коллектива [12-14], не отражающей механизмы взаимодействия в коллективе.

В работе авторы предлагают анализ процессов коллективного управления научной школой на основе коллективного разума, т.е. коллективный разум рассматривается как интеллектуальный ресурс.

II. ОСОБЕННОСТИ КОЛЛЕКТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ НАУЧНОЙ ШКОЛОЙ

Коллективный разум - это форма интеллекта, которая рождается в результате делового взаимодействия коллектива людей. Этот коллективный разум как форма интеллекта генерирует знания, которые могут быть классифицированы как «успешные» или «превосходные», поскольку основаны на консенсусе. Коллективный разум как активная система порождает принципиально новые знания, которые не могут возникнуть ни у одного из членов научного коллектива, взятого в отдельности (эффект эмерджентности, синергетический эффект, «инсайт»).

В рамках коллективного управления становится возможным объединить усилия всех сотрудников, в том числе объединить специалистов различных структурных подразделений. Это помогает укреплять внутренние связи в научной школе, улучшать обмен информацией. В результате быстрее и квалифицированнее решаются сложные, противоречивые научные проблемы, и одновременно снижается вероятность ошибок при принятии решений.

Для проведения исследования выделены три основные цели, которые должны быть достигнуты при функционировании научной школы:

- подготовка научных кадров и специалистов для решения проблемы или выполнения проекта;
- разработка и защита научных идей в форме патентов, статей, докладов, монографий;
- коллективное выполнение поставленной научно-исследовательской проблемы или выполнение сложного проекта.

Для управления такой научной школой как сложным динамическим многосвязным объектом требуется высокий уровень самоорганизации всего коллектива в виде трех взаимосвязанных управляемых подсистем, каждая из которых стремится достичь своей цели на заданном отрезке времени и пространства. Особенность такой организации заключается в том, что каждый член коллектива участвует в функционировании всех трех подсистем, выполняя возложенную на нее функцию, при этом передавая свои знания коллегам, никак не уменьшая собственный запас знаний.

III. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ КОЛЛЕКТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ НАУЧНОЙ ШКОЛОЙ

Структура модели нелинейной многосвязной системы управления деятельностью научной школы на расчетном режиме представлена на рис. 1. Особенностью этой модели является то, что формируется в нелинейной форме коллективный интеллектуальный ресурс в виде произведения принятых решений в каждой подсистеме с последующим их нелинейным перераспределением.

Значения переменных на рис. 1 имеют следующий смысл:

- $x_i(t)$, $x_i^0(t)$ – регулируемые и целевые переменные, при этом $x_1(t)$ соответствует объему работ по подготовке специалистов, научных кадров и по повышению уровня их знаний; $x_2(t)$ – объему работ по документализации полученных знаний, в виде статей, докладов, монографий, технических и проектных отчетов, методик, технологий; $x_3(t)$ – объему работ по выполнению проекта (в безразмерной форме);
- $\varepsilon_i(t)=x_i^0(t)-x_i(t)$ величина рассогласования (ошибки) между целевыми и текущими значениями i-той переменной;
- $z_i(t)$ – переменная, характеризующая результат принятия управленческого решения в i-той подсистеме;
- $q(t)$ – переменная, характеризующая интегральный интеллектуальный (коллективный) результат принимаемых управленческих решений;
- $U_i(t)$ – входная координата (управление) на динамический объект, выходной координатой которой является переменная $x_i(t)$.

Особенностью данной модели является:

- наличие ограничения уровня и темпов принимаемых решений в каждой подсистеме;
- наличие ограничения темпа и результата коллективного принятия решений;
- равномерное или неравномерное распределение результата коллективного решения в виде идентичных управлений на динамический объект каждой подсистемы.

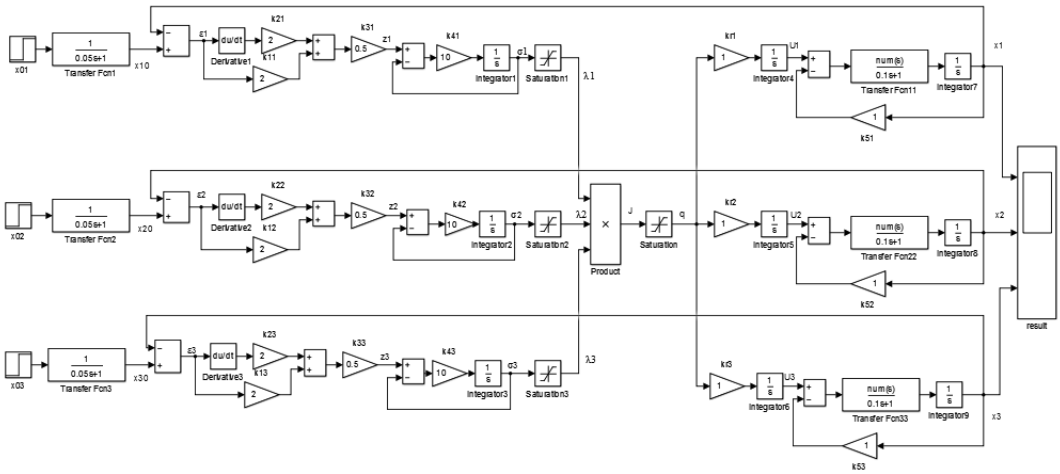


Рис. 1. Модель нелинейной трехсвязной системы коллективного управления научной школой

Далее делается предположение (для облегчения расчетов), что все подсистемы идентичны (однотипны по математической модели) и динамические параметры подсистем соответственно одинаковы.

Многосвязная система коллективного управления научной школой описывается следующей системой уравнений:

$$\begin{cases} \varepsilon_i = x_i^0 - x_i \\ z_i = (k_{1i}\,\varepsilon + k_{2i}\,\dot{\varepsilon})k_{3i} \\ \dfrac{1}{k_{4i}}\dot{\sigma}_i + \sigma_i = z_i \\ \lambda_i = f(\sigma_i) \\ J = \lambda_1\lambda_2\lambda_3 \\ q = F(J) \\ \dot{U}_i = k_{ri}q \\ \tau_0^2\,\ddot{x}_i + 2\,\xi\tau_0\,\dot{x}_i + x_i = k_0 U_i \end{cases},$$

- где k_{1i} – коэффициент пропорциональности в i-той подсистеме;

k_{2i} – коэффициент дифференцирования в i-той подсистеме (сек.);

k_{3i} – коэффициент передачи в i-той подсистеме;

k_{4i} – коэффициент инерционности в i-той подсистеме (сек.$^{-1}$);

σ_i – переменная, характеризующая инерционность принятия решения в i-той подсистеме;

λ_i – переменная, характеризующая ограничение темпов и уровня принятия решения в i-той подсистеме;

k_{ri} – коэффициент распределения интеллектуального ресурса в i-тую подсистему (сек.$^{-1}$);

J – коллективное решение в мультипликативной форме;

τ_0 – инерционность объекта управления (сек.);

ξ – коэффициент демпфирования;

k_0 – коэффициент передачи.

На рис. 2 показаны переходные процессы в нелинейной многосвязной системе коллективного управления в каждой подсистеме при следующих значениях синтезированных параметрах: k_{1i}=2; k_{2i}=2; k_{3i}=0,5; k_{4i}=10; k_{ri}=1; k_{5i}=1. Здесь каждая подсистема достигает своей цели на требуемом отрезке времени.

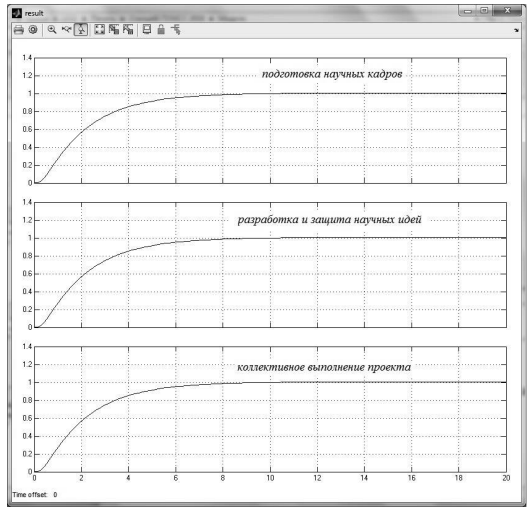


Рис. 2. Переходные процессы в нелинейной многосвязной системе коллективного управления научной школой

IV. Исследование синергетического эффекта в процессе коллективного управления

Синергетический эффект («инсайт») это внезапное появление идей, проявляющихся в форме коллективного разума, который может выступить в качестве дополнительного интеллектуального ресурса,

способствующего увеличению конечного результата, не требуя дополнительных затрат материально-технических ресурсов.

Для исследования проявившегося синергетического эффекта в модель добавлен элемент, имитирующий зарождение новых идей (рис. 3): результат коллективного управляющего воздействия преобразуется и вводится через интегратор в обратную связь канала третьей подсистемы управления. Эта модель имитирует процесс анализа и синтеза знаний, полученных коллективом.

В результате взаимодействия коллективный разум порождает всплеск идей, который приходит с течением времени к некоторой постоянной величине (0,65) (рис. 4), распределяющийся впоследствии как некоторый добавочный интеллектуальный ресурс между подсистемами, увеличивая конечные результаты деятельности подсистем, превышающие плановый результат по каждому каналу при равномерном распределении результатов коллективного разума (нового интеллектуального ресурса) на 0,65 (рис. 5) при значениях коэффициента распределения k_{ri}=3. Величина этого коэффициента влияет на скорость изменения регулируемых координат x_i, но не на их конечное значение.

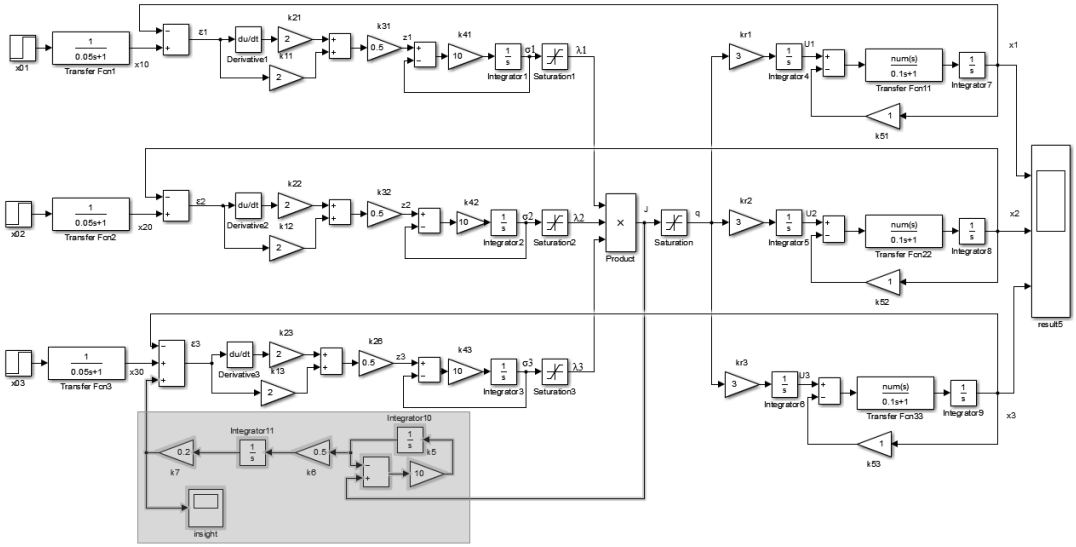


Рис. 3. Модель системы коллективного управления научной школой с имитацией «инсайта» в третьем канале

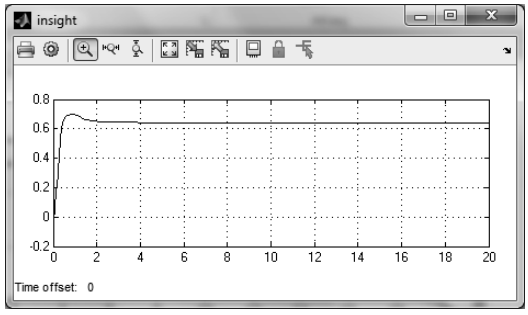


Рис. 4. Переходный процесс формирования синергетического эффекта коллективного разума

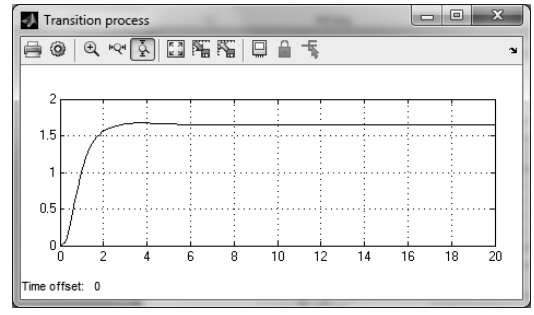


Рис. 5. Переходный процесс в многосвязной системе коллективного управления при наличии эффекта инсайт

При уменьшении коэффициента k_7 в два раза (с 0,2 до 0,1) величина дополнительно получаемого интеллектуального ресурса при инсайте уменьшается также в два раза и при равномерном его распределении величины регулируемых координат достигают значения на 0,33 больше планового.

Дальнейшее увеличение коэффициента k_7 от расчетного значения, равного k_7=0,2, в два раза (т.е. k_7=0,4) приводит к увеличению интеллектуального ресурса до 1,5, т.е. каждая регулируемая координата увеличивает свое конечное значение до 2,5. Однако при этом значительно уменьшается запас устойчивости системы, и в системе возникают затухающие колебания.

Дальнейшее увеличение k_7 больше 0,45 приводит к потере устойчивости системы.

Эффект появления инсайта в нелинейной многосвязной системе коллективного управления научной школой имеет ограниченную область как в диапазоне изменения коэффициента k_7 (от 0,1 до 0,4), так и в диапазоне изменения пределов нелинейных функций.

При уменьшении пределов ограничения уровня принимаемых решений в каждой подсистеме с ±3 до ±2 величина инсайта на расчётном режиме падает до 0,3, т.е. конечные значения управляемых величин достигают значения, равное 1,3.

При уменьшении пределов уровня ограничения результата коллективного принятия решений, например, с ±3 до ±2, не оказывает существенного влияния на конечное функционирование системы на расчетном режиме, т.е. синергетический эффект коллективного управления не исчезает.

В некоторых ситуациях может происходить так называемый интеллектуальный срыв и исчезновение синергетического эффекта коллективного разума (инсайта). Это происходит в том случае, когда коллектив научной школы при принятии решения приходит либо к противоречию и не может выработать в процессе конфликта новый интеллектуальный ресурс, либо не проводит коллективного анализа принимаемых управленческих решений подсистемами.

V. Заключение

Разработана нелинейная модель коллективного управления деятельностью научной школой как многосвязным (трехсвязным) динамическим объектом, которая позволяет достичь требуемого качества управления на основе синтеза параметров подсистем.

В предложенной нелинейной модели коллективного управления трехсвязной системы в одной из подсистем имитирован синергетический эффект в форме дополнительного коллективного разума, который в процессе управления используется в качестве интеллектуального ресурса, способствующего увеличению конечного результата деятельности каждой подсистемы.

Выявлена область параметров системы, в которой формируется устойчивый синергетический эффект, а также выявлена возможность исчезновения синергетического эффекта.

Список литературы

[1] Бехтерев В. М. Избранные работы по социальной психологии / редкол. : А. В. Брушлинский (пред.) и др. ; изд. подгот. В. А. Кольцова, М. В. Муленкова ; отв. ред. тома Е. А. Будилова, Е. И. Степанова; Рос. акад. наук, Ин-т психологии. – М.: Наука, 1994. – 398 с.

[2] Основы менеджмента / В.Р. Веснин. – 3-е изд., доп. и испр., -В53 М.: 000 «Т.Д. "Элит-2000"», 2003. – 560 с.

[3] S.Wisk; L. Pico ; H. Riveros, “Conceptual architecture of a collective intelligence system for the management of surgical services”. Congreso Internacional de Innovacion y Tendencias en Ingenieria, Colombia, pp.1-5. Oct. 2017.

[4] Bourazeri A.; Pitt J., “Collective Awareness for Collective Action in Socio-technical Systems”. Eighth International Conference on Self-Adaptive and Self-Organizing Systems Workshops, UK, pp. 90-95. Sept. 2014.

[5] E.Asimakopoulou; N.Bessis; St.Sotiriadis; F.Xhafa; L.Barolli, “A Collective Intelligence Resource Management Dynamic Approach for Disaster Management: A Density Survey of Disasters Occurrence”. Third International Conference on Intelligent Networking and Collaborative Systems,Japan, pp. 735-740. Dec. 2011.

[6] Qiang Sun, “An analytical model and an optimal scheduling heuristic for collective resource management”. Winter Simulation Conference Proceedings, USA, pp. 1374 - 1379 vol.2. Dec. 2000.

[7] A. Lfakir; M. Fourka, “Lean Manufacturing: Study Concept for Collective Intelligence Definition and validation of the conceptual model: Definition and validation of the conceptual model”. International Colloquium on Logistics and Supply Chain Management, Morocco, pp. 194-199. April 2018.

[8] B.Sazonov; D.Kozhevnikov,A.Korolev, “Using collective mental activity techniques by system engineers at the stages of system lifecycle”. Tenth International Conference Management of Large-Scale System Development, Russia, pp. 1-4. Oct. 2017.

[9] Shahrinaz Ismail ; Mohd Sharifuddin Ahmad, “Personal intelligence in collective goals: A bottom-up approach from PKM to OKM”. 7th International Conference on Information Technology in Asia, Malaysia, pp. 1-6. July 2011.

[10] Rongrong Lu; Jun'e Liu, “The Research of the Knowledge Management Technology in the Education”. International Symposium on Knowledge Acquisition and Modeling, China, pp. 551-554. Dec. 2008.

[11] Ильясов, Б. Г., Герасимова, И. Б., Карамзина, А. Г., & Суяргулова, Ю. Р. (2016). Модель накопления знаний в научной школе в результате самоорганизации процесса обмена информации. Труды СПИИРАН, 4(47), 144-162.

[12] Pitambar Gautam, “Comparative Analysis of Scientific Publications of Research Entities Using Multiple Disciplinary Classifications”. 5th IIAI International Congress on Advanced Applied Informatics, Japan, pp. 523 - 528. July 2016.

[13] I.Valova; Y.Kalmukov, “Web-based university staff's publication analysis system”. 41st International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics, Croatia, pp. 1482-1486. May 2018.

[14] Ильясов Б.Г., Карамзина А.Г., Галиакбаров Т.Р. Информационная система оценки эффективности научных школ. //«Информатизация образования и науки». 2017. № 2(34). С.77-89.

Обеспечение безопасности информационных процессов в социотехнических системах на основе анализа поведенческих особенностей человека как субъекта такой системы

Карпова Н.Е.
Институт Автоматики и информационных технологий
Самарский государственный технический университет
г. Самара, Россия
nadevkar@mail.ru

Панфилова И.Е.
Институт Автоматики и информационных технологий
Самарский государственный технический университет
г. Самара, Россия
panfilova_2015@bk.ru

***Abstract* — This article discusses in detail the features of sociotechnical systems. It analyzes the general and specific threats to information security arising in such systems and related to the activities and peculiarities of human behavior, which is the subject of such systems. It also describes the features of purposeful human behavior in the information system and provides a way to formalize the behavioral characteristics of a person as a subject of a sociotechnical system. Difficulties associated with the description and prediction of human behavior on the one hand, and the presence in human sociotechnical systems as a subject of such systems, on the other hand, leads to the emergence of a number of important tasks related to ensuring information security of the system and its integrity. The article describes the logic of the functioning of the information risk management system in a sociotechnical system based on the analysis of the behavioral characteristics of a person as a subject of such a system.**

Ключевые слова — информационная безопасность, анализ поведения, социотехническая система, информационные процессы, анализ угроз.

I. Введение

На протяжении всей жизни человек неоднократно оказывается вовлеченным в процессы функционирования самых различных систем. В наши дни особое место среди них занимают так называемые социотехнические системы или СТС. В широком смысле под данными системами понимаются взаимодействия инфраструктурных элементов общества с одной стороны, и человеческого поведения с другой. Однако с точки зрения практической реализации чаще всего СТС рассматриваются как взаимодействие человека (природная подсистема) и машины (техническая подсистема), а основными задачами в процессе их проектирования становятся непротиворечивость технологической мощности и гуманитарных факторов, а также обеспечение безопасности процесса взаимодействия подсистем.

В настоящей статье рассматриваются вопросы обеспечения безопасности в социотехнических системах.

II. Основная часть

Вопросы обеспечения информационной безопасности в настоящее время являются одними из самых актуальных в нашем мире, так как все большее место в нем отводится информационным процессам и технологиям. С помощью этих технологий осуществляется хранение, передача и обработка информации самой различной степени важности, в том числе и информации повышенной значимости или даже конфиденциальной.[5]

Системы, которые передают и обрабатывают информацию, разнообразны, и могут быть классифицированы по различным признакам. Но все их объединяет то, что в процессах информационного обмена в таких системах участвует и человек (при этом степень его включенности может быть различна), и непосредственно информационные объекты и процессы. По этому признаку современные системы передачи, обработки и хранения информации можно отнести к социотехническим системам (СТС). Структура такой системы представлена на рис.1.[3]

С одной стороны элементами таких систем являются информационные объекты, то есть объекты и процессы информационной системы, функционирующие автономно или при участии человека. Цель функционирования таких объектов определяется их разработчиком. С другой стороны, в рамках такого подхода, человека также можно рассматривать как одного из элементов социотехнической системы.

Также стоит отметить, что проблема безопасности информационного пространства все-таки носит комплексный характер[8], поэтому рассматривая структуру такой системы целесообразно учитывать закономерности функционирования и подстерегающие опасности социотехнических информационных систем в информационно-психологическом и информационно-кибернетическом пространстве (ИПП и ИКП).

©2019 ИПУСС РАН, СамГТУ, IEEE

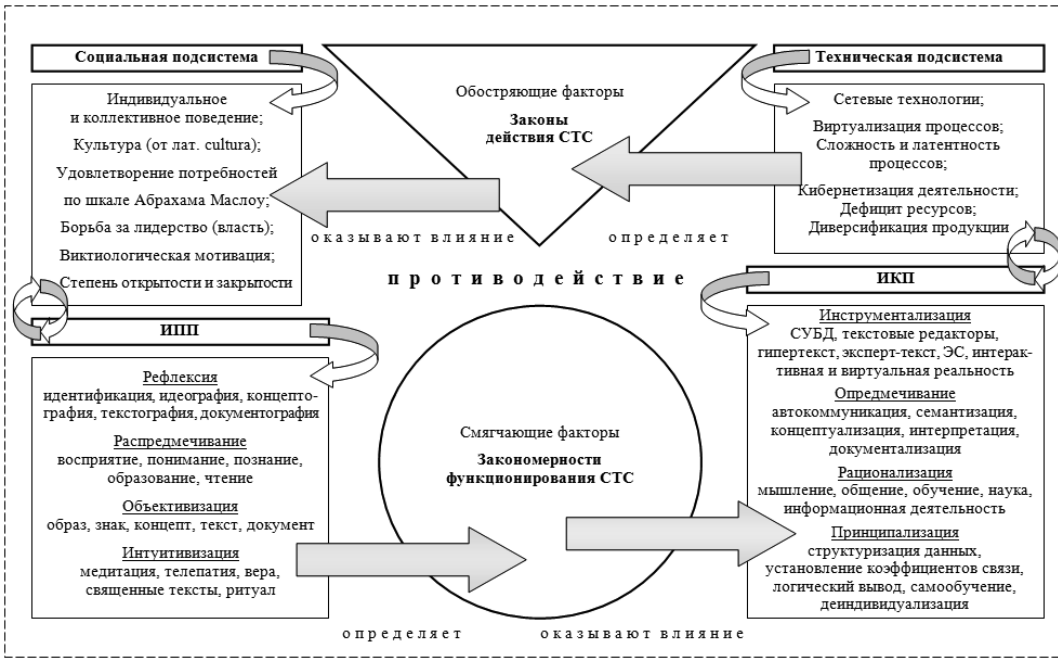


Рис. 1. Обобщенная структура социотехнической системы

Идея социотехнических систем основывается на взаимодействии человека и технической составляющей. При этом предполагается, что разработка технических и социальных подсистем должно осуществляться таким образом, чтобы технологическая эффективность и гуманитарные аспекты не противоречили друг другу.

Важнейшим элементом социотехнических систем является человек. Именно наличие антропогенной составляющей приводит к тому, что целый ряд характеристик таких систем перестают быть строго определенными: связи между элементами системы описываются нечетко; тяжело определить, что может повлиять на поведение человека как элемента такой системы; труднопредсказуем эффект влияния управляющих воздействий на антропогенные элементы системы и т.д. [1] Однако стоит отметить, что особенностью поведения человека является его целенаправленность, что позволяет сформировать требования к особенностям структуры и функционирования всей системы в целом.

Цель функционирования системы может быть определена изначально и сохраняться неизменной на протяжении всего периода функционирования системы, а может изменяться со временем. Это также затрудняет описание подобных систем и составление прогнозов их функционирования.

Признаком целенаправленных действий является возможность объединения и категоризации полученных конечным пользователем результатов по классам (категориям), с последующим определением ценности каждого достигнутого результата и определением меры его значимости для каждого конкретного пользователя в каждый конкретный момент времени.

При этом субъекты системы могут быть подразделены на активные и пассивные. В качестве активных выступают те субъекты информационной системы, которые могут формировать цели и программу их достижения. В качестве пассивных – те, которые не обладают такими способностями.

Еще одной специфической особенностью социотехнических систем является передача управляющих воздействий от человека информационным процессам. В начале функционирования такой системы активная роль сохраняется у человека, но затем она передается информационным процессам с сохранением функции целеполагания у человека с возможностью ее изменения.

Угрозы (или деструктивные процессы, вредоносные воздействия), возникающие и действующие в таких системах, начинают функционировать как пассивные объекты, но затем им передается активная роль. Однако они не обладают собственным целеполаганием, и результат их действий направлен на достижение результата, заданного конечным пользователем.[6] Именно этот признак – наличие значимого для конечного пользователя результата – и является тем основанием, которое определяет порядок действий и тот информационный объект, на который направлены вредоносные воздействия, формирующиеся в социотехнических системах.

К таким воздействиям могут принадлежать вредоносное программное обеспечение, например

вирусы, черви или троянские программы, а также отдельно можно выделить набирающие популярность боты, и классическое шпионское ПО.[9]

Информационным объектом, на который они воздействуют, могут оказаться системные ресурсы, сетевые ресурсы, конфиденциальные данные, виртуальные денежные средства, личные данные или логика функционирования системы.

А целью конечного пользователя может быть обогащение, конфиденциальные данные, шпионаж или вывод из строя логики функционирования системы предприятия.[7]

В общей классификации угроз в информационных системах [2], к таким угрозам могут быть отнесены:

• угрозы, связанные с преднамеренными действиями лиц, имеющими доступ к информационным системам предприятия, включая пользователей и иных сотрудников предприятия, реализующими угрозы непосредственно внутри предприятия (внутренний нарушитель);

• угрозы, связанные с преднамеренными действиями лиц, не имеющими доступа к информационным системам предприятия и реализующими угрозы из внешних сетей связи общего пользования или сетей международного информационного обмена;

• угрозы, связанные с преднамеренными действиями лиц, не имеющими доступа к информационным системам и реализующими угрозы по техническим каналам утечки информации.

Антропогенные источники угроз по отношению к информационной системе могут быть как внешними, так и внутренними. Среди внешних антропогенных источников можно выделить случайные и преднамеренные источники.

Под внешними угрозами безопасности понимаются угрозы, созданные сторонними лицами и исходящие из внешней среды[10], такие как:

- атаки из внешней сети (например, Интернет), направленные на искажение, уничтожение, хищение информации или приводящие к отказу в обслуживании информационных систем предприятия;
- распространение вредоносного программного обеспечения;
- нежелательные рассылки (спам);
- воздействие на информацию, осуществляемое путем применения источника электромагнитного поля для наведения в информационных системах электромагнитной энергии с уровнем, вызывающим нарушение нормального функционирования (сбой в работе) технических и программных средств этих систем;
- перехват информации с использованием радиоприемных устройств;
- воздействие на информацию, осуществляемое путем несанкционированного использования сетей инженерных коммуникаций;
- воздействие на персонал предприятия с целью получения конфиденциальной информации.

Преднамеренные воздействия связаны с целенаправленными действиями злоумышленника, в качестве которого может выступить любое заинтересованное лицо (конкурент, посетитель, персонал и т.д.). Действия злоумышленника могут быть обусловлены разными мотивами: недовольством сотрудника своей карьерой, материальным интересом, любопытством, конкуренцией, стремлением самоутвердиться любой ценой и т.п.[4]

Внутренние угрозы инициируются персоналом объекта, на котором установлена система, содержащая конфиденциальную информацию. Причинами возникновения таких угроз может послужить нездоровый климат в коллективе или неудовлетворенность от выполняемой работы некоторых сотрудников, которые могут предпринять действия по выдаче информации лицам, заинтересованным в её получении.

Случайные (непреднамеренные) источники могут использовать такие уязвимости, как ошибки, совершенные при проектировании информационной системы предприятия и ее элементов, ошибки в программном обеспечении; различного рода сбои и отказы, повреждения, проявляемые в информационной системе. Действия (угрозы), исходящие от данных источников, совершаются по незнанию, невнимательности или халатности, из любопытства, но без злого умысла

Итак, все вышесказанное, а именно учет таких особенностей поведения человека, как наличие цели, а также постоянный обмен ролями с информационными процессами, диктует такую логику построения системы управлении информационными рисками, которая будет осуществлять постоянный мониторинг действий пользователя и оценку достигнутых им результатов. Одновременно необходимо осуществлять сравнительный анализ действий различных пользователей, что позволит оценить значимость достигнутых результатов для каждого из них. Общая структурная схема такой системы приведена на рис. 2.

Подобная схема показана применительно к одному пользователю системы, но она может быть применена к нескольким пользователям. В таком случае в систему необходимо добавить блок сравнения целей и результатов пользователей между собой.

I. Заключение

Таким образом, в приведённой статье рассмотрена логика построения системы управления информационными рисками, учитывающая факты передачи управляющих воздействий от человека к информационным процессам, что является новым подходом в вопросах анализа информационных процессов в социотехнических системах.

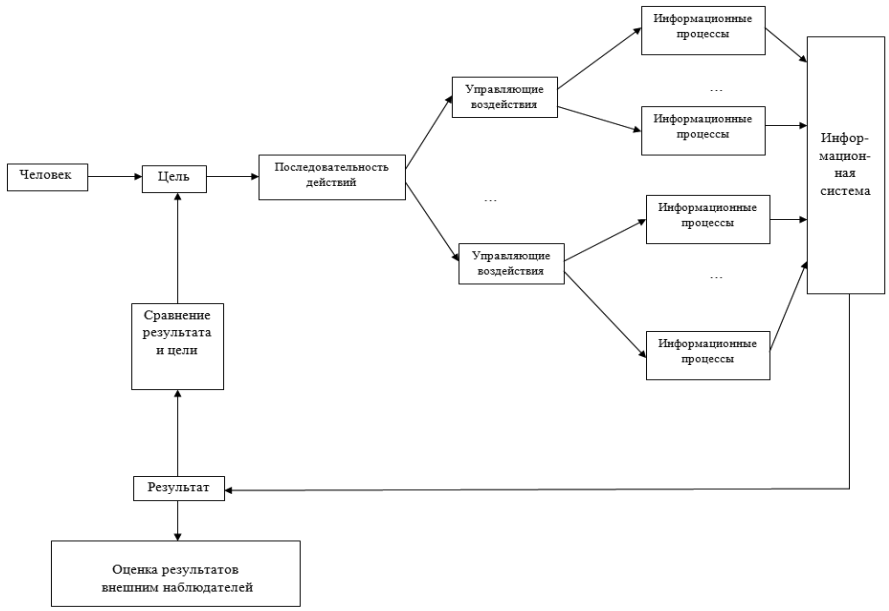


Рис. 2. Структурная схема системы управления информационными рисками

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

[1] Green D. Socio-technical Systems in Global Markets. [Электронный ресурс]. URL: http://nuleadership.wordpress.com/2010/08/23/socio-technical-systems-in-global-markets/

[2] Гатчин Ю.А., Климова Е.В. Основы информационной безопасности: учебное пособие. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2009. – 84 с.

[3] Остапенко Г.А., Мешкова Е.А. Информационные операции и атаки в социотехнических системах: организационно-правовые аспекты противодействия: Учебное пособие. Под редакцией Ю.Н. Лаврухина. – М: Горячая линия - Телеком, 2007. - 295 с.

[4] Емельянов Г.В., Стрельцов А.А. Основные проблемы обеспечения безопасности общества. Распределенная конференция «Технологии распределенного общества – Россия» . [Электронный ресурс]. URL: http://www.iis.ru/index.html

[5] Гафнер В.В. Информационная безопасность: Учебное пособие / - В.В. Гафнер. - Рн/Д:Феникс, 2017. – 324 с.

[6] Запечников С.В. Информационная безопасность открытых систем. В 2-х т. – М.:ГЛТ, 2018

[7] Малюк А.А. Информационная безопасность: концептуальные и методологические основы защиты информации / А.А. Малюк. – М.: ГЛТ, 2016 – 280 с.

[8] Чипига А.Ф. Информационная безопасность автоматизированных систем / А.Ф. Чипига. – М.: Гелиос АРВ, 2017 – 336 с.

[9] Буреш О.В. Интеллектуальные информационные системы управления социально-экономическими объектами / О.В. Буреш, М.А. Жук. – М.: Красанд, 2010. – 192 с.

[10] Васильков А.В. Информационные системы и безопасность: Учебное пособие / А.В. Васильков, А.А. Васильков, И.А. Васильков. – М.м: Форум ,2013. – 528 с.

Коммуникационное взаимодействие в проектном управлении цифровой экономикой

Коготкова И.З.
Государственный университет управления
Москва Российская Федерация
boxgusevoy@yandex.ru

Гусева М.Н.
Государственный университет управления
Москва Российская Федерация
boxgusevoy@yandex.ru

Выходцева Е.А.
Государственный университет управления
Москва Российская Федерация
boxgusevoy@yandex.ru

***Abstract* — Modern processes of digitalization of the economy, as well as advanced technologies to improve the virtual space affect absolutely all areas of economic and management activities. To manage project communications, promote products and services of the project, as well as image communication, companies wishing to avoid competitive lag, seek to test modern digital technologies to actively influence the potential consumer in a new unusual for him plane. It is not possible to accurately predict all forms of communication activities in the management of the project of the distant future, but the main trends associated with the transformation of the means of promotion of products and services of projects in the context of the development of digital technologies are indicated by the expert community. The article summarizes and systematizes the main directions of the use of modern digital technologies for project communications management in various fields of activity. The analysis of the project communications management features in accordance with the directions and objectives of the state program for the development of the digital economy in the Russian Federation is presented. Currently, there are several trends in improving the management of the project team related to the development of competencies, in particular, managers engaged in external communications, and the introduction of digital technologies — common to all types of projects. The most important of them is platforming and effective integration, which allows creating ecosystems that work within a single company or project and unite partners and customers in the market through applications of various types. The article also presents a method of analysis of social networks (socialnetworkanalysis), which is quite convenient for analyzing the impact of information technology on the effectiveness of communication in the project in terms of remote control of the project team.**

Ключевые слова — управление проектом project management, project communications, digital technologies, communications management

I. Введение

Концепция управления проектом, как область научных исследований, так и механизм практической управленческой деятельности, является в последнее время одной из самых актуальных и обсуждаемых тем в сфере управленческих технологий. Современное управление проектами начинает интенсивно развиваться, обеспечивая трансформацию государственного управления на принципах проектного управления для достижения стратегических целей государства и бизнеса. В современных условиях уже трудно назвать хотя бы один значительный проект, который осуществлялся бы вне рамок методологии управления проектами. Управление проектами сегодня — один из важнейших механизмов рыночной экономики, мощный инструмент управления не только созданием новых продуктов и услуг, но и осуществлением целенаправленных изменений в рамках отдельных организаций, компаний, а также целых социально-экономических и организационных систем.

Для успешной разработки и реализации проектов создается система управления, в которой одной из важнейших составляющих остается подсистема коммуникаций. На сегодняшний день в проектном управлении достаточно хорошо описаны механизмы и инструменты таких областей знаний как управление содержанием, рисками, качеством, расписанием, стоимостью и финансированием проекта. Область управления коммуникациями проекта также является обширным и актуальным полем для исследований, поскольку грамотное управление данной сферой проекта способствует организации эффективного взаимодействия команды проекта и созданию его оптимального информационного пространства. Традиционные методы управления данной подсистемой проекта постоянно дополняются инновационными, предлагаемыми как научным сообществом, так и практикой корпоративного управления проектной деятельностью. Современные процессы цифровизациии, обобщенные государственной программой по развитию цифровой экономики в Российской Федерации, а также прогрессивные технологии совершенствования виртуального пространства затрагивают абсолютно все сферы хозяйственной и управленческой деятельности. Для управления внутрипроектными коммуникациями, продвижения продукции и услуг проекта, а также имиджевой коммуникации, компании, желающие избежать конкурентного отставания, стремятся апробировать современные цифровые технологии, чтобы активно влиять на потенциального потребителя в новой непривычной для него плоскости.

Конечно, с точностью предсказать все формы коммуникационной деятельности в управлении проектом отдаленного будущего не представляется возможным, но основные тенденции, связанные с трансформацией средств продвижения продукции и услуг проектов в условиях развития цифровых технологий экспертным сообществом обозначены. Но прежде, чем говорить об особенностях и векторах развития коммуникаций в проектном управлении, необходимо дать характеристику собственно понятийного аппарата исследуемого феномена и тех вызовах, которые и определяют развитие цифровых технологий в управлении коммуникациями проекта.

©2019 ИПУСС РАН, СамГТУ, IEEE

II. Управление коммуникациями в проекте.

Термин «управление коммуникациями проекта» чаще всего используется для обозначения одной из важнейших функциональных подсистем управления проектом и представляет собой область знаний, включающую в себя процессы, необходимые для своевременного создания, сбора, распространения, хранения, получения и, в конечном итоге, использования информации проекта, актуальной как для команды проекта, так и его стейкхолдеров. Под системой коммуникаций проекта понимается организационно-технологическая система, предназначенная для осуществления эффективного обмена информацией между участниками проекта]. Руководитель и менеджеры проекта тратят большую часть своего времени на коммуникации с членами команды проекта и всеми заинтересованными сторонами проекта, независимо от того, являются ли они внутренними или внешними по отношению к организации, исполняющей проект. В соответствии со стандартом PMI PMBoK 5th Edition структура процессов управления коммуникациями проекта включает следующие процессы: определение заинтересованных сторон проекта, планирование коммуникаций, распространение информации, управление ожиданиями заинтересованных сторон, подготовка отчетов. Данные процессы призваны обеспечить информационные потребности участников проекта для выполнения их проектных ролей или удовлетворения его интересов в проекте. Информационная потребность определяется основной ролью участника проекта или интересом тех его участников, роли которых в проекте четко не закреплены. [5]. Для более подробного рассмотрения коммуникаций проекта и методологии проектного управления в этой области, необходимо более точно определить предмет исследования. Различают внутрипроектные (внутренние) коммуникации, то есть взаимодействие всех участников команды проекта и его непосредственного окружения; а также внешние коммуникации проекта, обеспечивающие связь между командой проекта и внешней средой.

В самом общем виде внешние коммуникации в проекте представляют собой обмен информацией между потребителями и производителями продукции и услуг проекта. В системе внешних коммуникаций особая роль принадлежит маркетинговым коммуникациям для продвижения проекта и его продукции. Значение маркетинговых коммуникаций в теории и практике проектного управления постепенно растет вместе с осознанием роли коммуникаций в решении конкретных проблем проекта и организации как на российском, так и международном рынке.

Главная современная тенденция в области управления коммуникациями проекта -это, безусловно, интернетизация и диджитализация. Можно сказать, что сам процесс управления внутренними и внешними коммуникациями все больше уходит в интернет. В настоящее время есть несколько трендов в совершенствовании организационных структур управления командой проекта, связанных с развитием компетенций, в частности, рекламных менеджеров, осуществляющих внешние коммуникации, и внедрением цифровых технологий — общих для всех типов проектов.

Самый важный из них — платформизация и эффективная интеграция, позволяющая создавать экосистемы, работающие внутри отдельной компании или проекта и объединяющие партнеров и клиентов на рынке через приложения различного типа.

Весьма перспективным направлением для современной цифровизации процесса управления внутренними коммуникациями является дистанционное управление удаленной командой проекта. Данное направление предполагает коммуникационное взаимодействие отдельных участников команды проекта и менеджера проекта. Для совместной работы над проектами и их обсуждения, совместного использования и редактирования документов используются сервисы постановки и трекинга задач; при этом для обсуждения проектов в качестве корпоративного канала коммуникации можно использовать групповые чаты в известных социальных сетях.

Существующие сервисы, (например, GoogleMeet, и т.п.) могут быть использованы для совместной работы с текстовыми документами, планирования встреч и видео звонков. Уже разработаны и используются такие инструменты, как Deskun и GoToMeeting для управления задачами удаленных работников, а также совместного обеспечения и обсуждения проектов в режиме онлайн.

III. Исследование внутрипроектного коммуникационного взаимодействия с помощью метода анализа социальных сетей.

При реализации проекта необходимо отслеживать то, как происходит взаимодействие внутри проектной команды, кто является лидером группы, какая информация передается эффективно, а с какой возникают трудности. В результате возникшей потребности появился метод анализа социальных сетей (socialnetworkanalysis) [4,6].

Анализ социальных сетей, как основной инструмент анализа внутрипроектных коммуникаций представляет совокупность количественных и качественных методов исследований социальных структур. При этом социальные структуры определяются, как сеть отношений между членами данных структур, которые осуществляют между собой взаимодействие.

Несмотря на очень развитый инструментарий и широкие возможности данного метода [4], анализ социальных сетей в России для исследования эффективности коммуникаций проекта используется крайне редко. При этом имеющиеся исследования посвящены строительным проектам, хотя метод анализа социальных сетей может быть применен в абсолютно любой организации. Анализ социальных сетей также позволяет получить количественные характеристики коммуникаций в проекте и осуществить сравнение социальных сетей команд с эффективностью проектов. Применения данного метода позволяет более подробно рассмотреть проблемы управления коммуникациями в организации.

Между количественными показателями социальной сети проектной команды и показателями эффективности проекта существует тесная взаимосвязь.

Сбор данных осуществляется на основе информации, которая передавалась между участниками проектной команды с помощью различных технических средств. При этом для анализа используются только данные об отправителе, получателе и дате. Вершинами при построении социальной сети выступают члены проектной команды. Связь считается установленной только в случае наличия постоянных коммуникаций между двумя людьми.

Для оценки эффективности проекта используются данные об отклонениях от плановых сроков или бюджета. Также учитывается степень удовлетворенности клиента, которая определяется по шкале от 1 до 7 (высокая степень удовлетворенности результатом). Качество коммуникаций оценивается с помощью проведения опроса среди всех участников проекта. При этом каждый участник проектной команды оценивает качество коммуникаций по шкале от 1 до 10 (высокое качество), после чего находится средняя оценка по проекту в целом.

В результате сбора данных происходит построение социальной сети проекта, которая представляет собой графы, вершинами которых являются члены проектной команды, а линии между вершинами – устойчивые коммуникации между людьми. На основе визуального представления социальной сети проекта, с целью выявления связи между показателями структур внутрипроектных коммуникаций и эффективности проекта, рассчитываются такие показатели, как:

- плотность социальной сети – количество связей в сети в отношении к максимальному количеству связей, которое может быть,
- средняя степень сети – среднее количество связей члена проектной команды,
- централизация.

Показатель плотности используется для анализа связанности всех участников проектной команды между собой. Если значение данного показателя равно 1,0, то все члены проектной команды имеют устойчивые коммуникации между собой. Если же значение равно 0, то коммуникации между членами команды отсутствуют. Плотность сети вычисляется по формуле:

$$Den = \frac{I}{n(n-1)} \quad (1)$$

где Den – плотность сети; I – количество существующих связей социальной сети; n–количество участников команды.

Средняя степень – среднее количество связей каждого из участников команды проекта. Степень участника называется число взаимосвязи данного человека с другими в рамках проектной команды. Среднюю степень можно рассчитать по формуле:

$$AvDeg = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} Deg_i, \quad (2)$$

где *AvDeg*— средняя степень сети; Deg_i— степень члена команды проекта; *n* — количество человек в команде.

Чем выше данный показатель, тем больше постоянных коммуникаций осуществляется между участниками команды проекта.

Централизация социальной сети определяется, как показатель централизованности связей между членами проектной команды. То есть данный показатель позволяет определить, сколько в социальной сети присутствует значимых и незначительных участников. Участник называется значимым, если он осуществляет большое количество коммуникаций с другими членами команды. Он является центром всего коммуникационного процесса. Незначительным является тот участник, через которого проходит маленькое число связей.

Централизованной социальная сеть является в том случае, если в ней присутствует маленькое количество значимых участников и большое число людей с минимальной значимостью.

Централизация социальной сети измеряется с помощью различных показателей. В основном, используются следующие показатели:

- централизация по близости,
- централизация по степени (мерой централизованности выступает степень связей каждого из участников проекта),
- централизация по срединности.

Централизация по близости для участника команды проекта определяется как отношение числа всех остальных членов команды проекта (n-1) к сумме связей от этого участника до всех остальных. Данный показатель определяет, насколько более значимым или близким является участник команды для всех других, а также насколько просто установить с ним коммуникации. Централизация социальной сети рассчитывается по формуле:

$$CC = \frac{(2n-3)}{(n-1)(n-2)}\sum_{i=1}^{n}(C_{max} - C_i), \quad (3)$$

где CC — централизация социальной сети по близости; $C_{мах}$ — максимальная близость члена социальной сети; C_i — близость участника социальной сети; n — количество участников социальной сети.

Мерой централизованности по степени выступает степень связей каждого из участников проекта. Данный показатель определяется по формуле:

$$CD = \frac{1}{(n-1)(n-2)}\sum_{i=1}^{n}(Deg_{max} - Deg_i), \quad (4)$$

где *CD* — централизация социальной сети по степени; Deg_{max}— максимальная степень социальной сети; Deg_i— степень участника проекта; *n* — количество участников социальной сети.

Также централизация социальной сети определяется по показателю срединности. Он представляет собой то, насколько данный участник проекта является посредником связи между другими людьми, участвующими в проекте. Срединность участника рассчитывается, как отношение всех наименее коротких связей между другими участниками проекта к общему числу кратких путей всеми людьми, которые принимают

участие в проекте. Централизация социальной сети рассчитывается по формуле:

$$\text{СВ} = \frac{1}{(n-1)^2(n-2)/2}\sum_{i-1}^{n}(B_{max} - B_i), \quad (5)$$

где СВ — централизация социальной сети проекта по срединности;$B_{мах}$— максимальный показатель срединности в социальной сети; B_i— срединность участника социальной сети; n — количество участников социальной сети.

Эти три показателя отражают характеристики социальной сети коммуникаций проекта в целом. Также они показывают степень неравнозначности членов команды проекта внутри проектных коммуникаций.

Этот метод достаточно удобен для анализа воздействия информационных технологий на эффективность коммуникаций в проекте в условиях дистанционного управления командой проекта. Использование компьютеров в процессе коммуникаций позволяет более объективно рассматривать участников удаленной команды проекта, которые вовлечены в коммуникации, методы анализа информации и компьютерные сети организации. Также несомненным достоинством данного метода является возможность визуализации коммуникаций между участниками команды проекта. Появилась возможность собрать данные о коммуникациях между участниками проекта и представить их в графической форме, что позволяет наиболее точно описать характеристики коммуникаций при реализации проекта.

Применение данного метода позволяет не только более подробно рассмотреть проблемы управления коммуникациями в организации, но и предложить наиболее эффективный подход к формированию внутрипроектных коммуникаций.

IV. Управление внешними коммуникациями проекта

Методы организации взаимодействия с деловыми партнерами, целевыми и ключевыми аудиториями являются важным элементом подсистемы управления внешними коммуникациями проекта и основой рекламной и PR - деятельности в его предметной области. Основными методами взаимодействия являются реклама и связи с общественностью (PR).

В современном мире очень непросто создать положительный образ компании или проекта без внедрения современных технологий. Поэтому неординарный и технологичный подход необходим не только на этапе разработки, но и на этапе рекламного продвижения проекта. Основные направления использования современных цифровых технологий для он-лайн и офф-лайн продвижения проектов в различных сферах деятельности связаны, в основном, с инновациями в средствах представления и размещения рекламы проекта. На сегодняшний день эти инновации представления различными группами методов и средств [1,2,3]:

AR и VR - технологии, то есть технологии дополненной и виртуальной реальности, показывающие «живую» рекламу, которую в обычной ситуации человек просто не увидит. Такая реклама разделяется на два направления. Первое — это активная реклама: игры, движущиеся объекты. Второе направление — пассивная реклама: вывески, баннеры. При наведении видоискателя камеры телефона или смарт-очков на вывеску, пользователь видит необходимую информацию о продукции или проекте.

3D-печать - возможность создавать объекты сложной формы и любого размера. Используется для печати вывесок, букв, баннеров и других объектов практически любой объемной конфигурации.

Релевантная, преддиктивная реклама - создаёт именно такие рекламные объявления, на которые захочет перейти данный конкретный пользователь. Алгоритм изучает особенности его потребительского поведения, и, после анализа этой информации, рекламный скрипт начинает работать с учётом разнообразия его предпочтений.

Programmaticbuying – процесс, в котором нейросеть определяет параметры для соответствующей целевой аудитории рекламы и подбирает по ним пользователей.

Digital-оффлайн - реклама продукции и услуг проекта, использующая цифровые технологии в оффлайн-каналах (POS-терминалы, электронные гаджеты).

Мобильные технологии - специальные приложения на смартфонах позволяют в режиме реального времени не только наблюдать за событиями, но и принимать в них активное участие.

Промосайты. От сайтов с четкой структурой происходит переход к "облаку" целевых страниц, каждая из которых служит своей цели и направлена на определенную аудиторию проекта.

Данный перечень используемых цифровых технологий в процессе управления внешними коммуникациями проекта не является исчерпывающим и безусловно будет постоянно дополняться как в связи с динамично развивающимися цифровыми технологиями, так и с креативностью в их применении.

V. Заключение

Общеизвестные стандарты по управлению проектами акцентируют внимание на информационных потребностях в управлении проектами, которые должны удовлетворятся за счет блока управления коммуникациями. В практической деятельности руководители проектов зачастую пренебрегают процессом создания эффективной подсистемы управления коммуникациями, несмотря на то, что отдельные виды и средства коммуникации в проекте достаточно полно описаны в научной литературе [5]. Исходя из вышеописанных предпосылок, руководителям проектных команд необходимо глубоко осмысливать тему коммуникаций как на уровне сотрудника, так и на уровне организации в целом, что позволит снизить частоту неэффективных коммуникаций и снизить количество возникающих проблем в управлении проектом. Для этого необходимо хорошо представлять суть системы сложившихся коммуникаций. Применение

метода анализа социальных сетей для исследования и оценки существующей подсистемы управления коммуникациями позволяет наглядно представить коммуникационный процесс в проекте, выявить плюсы и минусы и разработать стратегию по повышению эффективности коммуникаций, что, в свою очередь, положительно скажется на результатах проектов. Значительный резерв коммерческой успешности проектов также связан с цифровой трансформацией системы внешних коммуникаций в проектной деятельности. Представленные в статье перспективные направления развития средств продвижения продукции проекта открывают новые возможности в такой области знаний, как управление коммуникациями проекта.

Список используемых источников

[1] Диджитл-реклама. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: http://www.sostav.ru/columns/trandinmarketing/2012/digitalreklama

[2] Новые технологии в рекламе. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: https://qwizz.ru

[3] Обзор интерактивных рекламных носителей. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: http://www.advertiser-school.ru/advertising-theory/interactive-ads-review.html

[4] Титов С.А. Исследование организационной культуры с помощью моделей социальных сетей // CloudofScience. – 2015. – Т. 2. - №2. – С. 236-246

[5] Храпков И.Б., Максин Д.Г. Управление коммуникациями в проекте: идентификация информационных потребностей участников //Управление проектами и программами. - 2018.-№3(55).-С.194-203

[6] Mead, S.P., Using social network analysis to visualize project teams, Project Management Journal, 2001 December. pp. 137-155.

Моделирование компонентов автоматизированной информационной системы для управления учебно-методическим комплексом дисциплины

Колобова Е.А.
Пензенский государственный технологический университет
Пенза, Россия
bel-eka@yandex.ru

Ремонтов А.П.
Пензенский государственный технологический университет
Пенза, Россия
remontov@mail.ru

Чигирева И.В.
Пензенский государственный технологический университет
Пенза, Россия
ichigireva@yandex.ru

Шигина Н.А.
Пензенский государственный технологический университет
Пенза, Россия
shiginana@mail.ru

***Abstract* — The annual renewal of the set of teaching materials – is the basis of methodological work at the University. In addition to the creative component, this process includes a large amount of routine work. Currently, the automation of teaching activities of academics is reduced to the use of office programs for creating and editing text files in most cases. Moreover, there is no software that could fully automate the process in the free access. This problem indicates that this area needs automation tools to reduce the complexity of component preparation for the teaching materials of the discipline.**

In this direction functional simulation of an automated information system using object-oriented and structural approach to the analysis of activity of the business process participants is performed. The authors propose to automate the development of methodological documents on the basis of a single reference database of standard text fragments, a universal conceptual model of which is presented in the work. Software realization options of automated information system are considered in relation to development "from scratch" to allow convenient processing of electronic documents in the form of office applications using modern technologies and programming languages, as well as adjusting the existing specialized software designed for processing text documents.

The results of experimental studies allow us to conclude that the approach to the automated process of compiling an interrelated documents set on the basis of a single reference database allows to reduce significantly time costs and to improve the readiness level of the set of documents for further modification.

Ключевые слова — автоматизированная информационная система, программное обеспечение, разработка и сопровождение учебно-методической документации, учебно-методический комплекс дисциплины, единая база справочных данных, централизованное хранилище, AuthorIT.

I. Введение

Разработка и модернизация учебно-методических комплексов дисциплин (УМКД) в вузе является одним из наиболее трудоемких процессов, что обусловлено большим объемом документации, значительным количеством дисциплин и ежегодным обновлением УМКД. Для системного анализа данного процесса выбран Пензенский государственный технологический университет, который проводит подготовку студентов по 34 направлениям высшего и 12 направлениям среднего профессионального образования. Рабочие места преподавателей и студентов оснащены компьютерами, связанными в локальную сеть. В вузе используется автоматизированная информационная система (АИС) для учета показателей деятельности преподавателей и студентов и образовательный портал, публикующий электронные УМКД. Для подготовки документов используется лицензионный пакет Microsoft Office.

II. Системный анализ процесса подготовки учебно-методической документации

A. Недостатки существующей системы

Несмотря на оснащённость средствами автоматизации обработки данных, персонал вуза испытывает перегрузки, связанные с рутинной обработкой массы документов УМКД, которые представлены в различных форматах, распределены по рабочим и домашним компьютерам пользователей. Коллективный доступ к редактированию документов ограничивается рамками кафедры. Многочисленность копий и версий документов приводит к ошибкам, несогласованности данных, необходимости повторного редактирования одних и тех же данных. Не установлен регламент внесения изменений в документы, не ведется учет версий документов. Соответственно руководство вуза не в состоянии оперативно контролировать сроки подготовки и качество УМКД, недооценивает трудоемкость оформления учебно-методической документации в существующей системе.

B. Формулировка проблемы и ее развитие

Одной из главных проблем рассматриваемого процесса является низкая производительность труда персонала, обусловленная недостаточным уровнем автоматизации обработки данных и несогласованности существующих средств автоматизации. Это приводит к неэффективным затратам времени персонала, снижению качества УМКД вуза и, в итоге, – к снижению уровня подготовки выпускников. Проблема охватывает все подразделения, связанные с подготовкой, контролем и использованием УМКД.

В прошлом эта проблема не стояла так остро, однако в последние годы объем обрабатываемых данных многократно увеличился в связи с обновлением государственных образовательных стандартов (ГОС), внедрением системы контроля качества документов вуза,

©2019 ИПУСС РАН, СамГТУ, IEEE

изменением стандартизированных форм документов. Также увеличивается количество дисциплин на одного преподавателя вследствие вариативности образовательных программ. Снижение объемов государственного финансирования приводит к сокращению учебно-вспомогательного персонала, из-за чего все техническая часть подготовки документации выполняется преподавателями кафедр. Если не принять меры к решению проблемы, то качество УМКД продолжит снижаться, а преподаватели вместо повышения своей квалификации и научно-исследовательской работы будут заняты рутинной обработкой документов.

Определение объекта, цели системы, внешних объектов и критериев оптимизации выбора способа решения проблемы.

Объектом автоматизации будем считать подразделения вуза, наиболее загруженные в процессе подготовки документов УМКД: учебно-методическое управление (УМУ) и кафедры. К внешним объектам по отношению к АИС отнесем:

- Министерство образования и науки, публикующее ГОС по образовательным программам и примерные рабочие программы дисциплин; проверяющее образовательные программы вуза во время его аккредитации;
- Учебно-методические объединения (УМО), которые рецензируют и рекомендуют документы УМКД;
- Отдел информатизации вуза, который информирует об имеющемся в наличии программном обеспечении, о пользователях информационной системы (ИС), получает заявки кафедр на установку новых программных средств;
- Библиотека вуза и внешние электронные библиотеки, публикующие списки имеющейся в наличии учебно-методической литературы (включая УМКД), и получающие заявки ее приобретение и отчеты об обеспеченности дисциплин учебно-методической литературой;
- Потребители (обучающиеся и преподаватели, использующие УМКД).

Главной целью функционирования новой АИС является минимизация трудоемкости процесса подготовки, сопровождения и использования УМКД.

Основной критерий выбора способа реализации системы – минимизация затрат на её разработку и сопровождение. Дополнительное требование - система должна обладать достаточной универсальностью и гибкостью для использования в организационно-программной среде других вузов.

C. Возможные пути решения проблемы

Существует два способа реализации автоматизированной системы: приобрести имеющуюся на рынке программную систему или разработать новый программный продукт.

Анализ рынка существующих автоматизированных систем [1-6] показал, что они не позволяют в полной мере разрешить описанную проблему. Часть систем автоматизирует только документооборот, но не процесс подготовки документов. Другие системы позволяют создавать только некоторые из требуемых документов УМКД, невозможно изменение шаблонов документов и доб Так, например, удобный генератор рабочих программ ТУСУР [14] позволяет создавать новую рабочую программу дисциплины на основе заполненной БД университета и с использованием ранее созданных в этой системе файлов. Однако заложенный в структуру программы шаблон документа не позволяет пользователю его корректировать, также невозможно использовать тексты документов и базы данных других вузов, нельзя создавать другие типы и форматы документов.

Общий недостаток всех рассмотренных систем – большая трудоемкость первоначального формирования справочной базы данных (ручной ввод данных в формы, невозможно использовать имеющиеся в вузе электронные источники данных).

Таким образом, целесообразно разработать новую АИС, свободную от описанных недостатков. Для этого необходимо продолжить системный анализ: провести структурно-функциональное и концептуальное моделирование будущей системы, определить ее элементы и подсистемы, определить задачи, решаемые каждой подсистемой. Именно в этом аспекте рассмотрены модели, описанные в данной статье.

III. Выделение элементов и подсистем автоматизированной информационной системы

Основными участниками процесса подготовки и сопровождения документации УМКД являются такие подразделения вуза, как кафедры и учебно-методическое управление (УМУ). Соответственно, можно выделить две подсистемы: подсистема «УМУ» и подсистема «Кафедра».

Методисты УМУ готовят шаблоны и примеры документов, инструкции по их составлению, проверяют подготовленные на кафедрах УМКД. Преподаватели кафедр готовят УМКД по своим дисциплинам в соответствии документами, предоставленными методистами. Заведующий кафедрой, декан факультета, методическая комиссия факультета проверяют и утверждают подготовленные учебно-методические документы (УМД). Таким образом, элементами АИС будут являться автоматизированное рабочее место (АРМ) методиста и АРМ преподавателя. Решено не выделять АРМ для проверяющих и утверждающих лиц, поскольку все они также играют роль преподавателя, а процесс утверждения состоит в подписании бумажной копии документа.

Исходя из анализа потребностей пользователей системы сформулируем основные задачи, которая должна проектируемая АИС:

- максимально автоматизировать разработку документов УМКД на основе единой справочной

базы данных и шаблонов документов, устраняя дублирование обработки данных;

- поддерживать единое хранилище учебно-методической документации вуза, доступное всем участникам процесса в соответствии с их правами и позволяющее управлять версиями документов согласно принятому регламенту;
- автоматизировать обмен данными между существующими и новыми средствами автоматизации, включая импорт данных из имеющихся в вузе электронных источников информации, а также экспорт документов для публикации на образовательном портале и в электронных библиотеках;
- управлять доступом пользователей.

Структура системы показана на рисунке 1 в нотации use-case диаграммы UML [8].

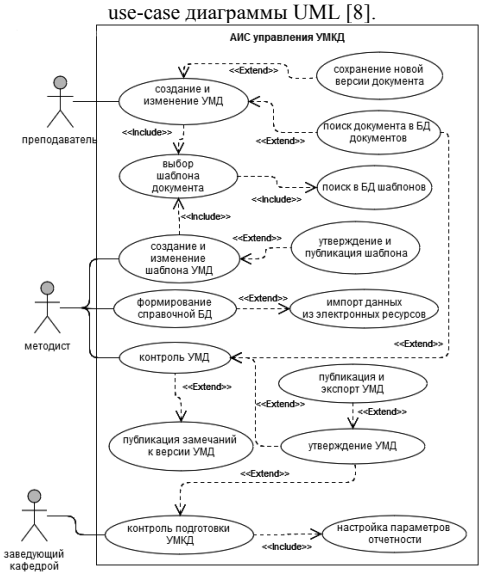


Рис. 1. Варианты использования АИС

IV. Формирование справочной базы данных

Формирование справочной базы данных – это первый этап в начале эксплуатации системы. Простейший способ формирования БД, который часто применяется на практике – это непосредственный ввод данных пользователями в электронные формы. Так, например, предлагается реализовать пользовательский интерфейс к справочной базе данных в работах [9-13]. Не исключая необходимости ручного ввода ряда данных, предлагается уменьшить трудоемкость подготовки таких справочников, как списки сотрудников, факультетов, дисциплин, ГОС и т.п., используя имеющиеся в каждом вузе электронные ресурсы. Сложность решения этой задачи состоит в том, что источники информации имеют различный формат и отличаются в разных вузах. При этом прецедент «Импорт данных из электронных ресурсов» можно разделить на два блока: конвертация данных из структурированных БД автоматизированных систем управления вузом и парсинг файлов ранее разработанных документов УМКД (рисунок 2).

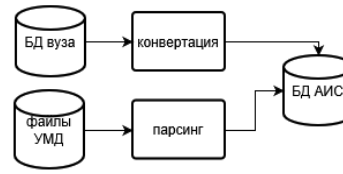


Рис. 2. Импорт данных из электронных ресурсов

Конвертация данных из одной реляционной БД в другую не представляет особых проблем, так как структура таблиц в них имеет определенное сходство. Однако при отсутствии, недоступности и неполноте имеющейся в вузе базы данных необходим анализ текстов УМД с целью выделения из них данных для загрузки в БД. При этом структура исходных текстов не может быть однозначно описана на этапе проектирования АИС, так как документы имеют разную структуру в разных вузах.

В связи с успехами в теории и практике такого направления компьютерной лингвистики, как анализ и извлечение информации из текстов на естественном языке, этот подход представляется наиболее перспективным, поскольку не зависит от наличия и структуры информационного и программного обеспечения, имеющегося в вузе.

Постановка задачи парсинга УМД состоит в следующем: из имеющегося массива текстов электронных документов УМКД и основной образовательной программы (рабочих программ, учебных планов и др.) требуется выделить типовые, повторяемые в различных документах фрагменты («сущности») и сохранить в структурированной базе данных.

Для решения этой задачи можно предложить несколько подходов:

1) Ручная разметка шаблонов документов с целью выделения имен и содержания сущностей, как в примере [6].
2) Автоматическое распознавание в тексте именованных сущностей – фамилий и имен личностей, должностей, названий и т.д. на основе анализа контекста – достаточно известная задача, для решения которой имеются автоматизированные средства [15].
3) Выделение сущностей из текста на основе статистики повторения фрагментов текста в нескольких экземплярах однотипных документов.

Во всех вариантах требуется участие пользователя для отнесения выделенных в тексте сущностей к той или иной сущности базы данных, но этот процесс представляется значительно менее трудоемким по сравнению с «ручным» заполнением БД.

V. Формирование документов и шаблонов

Документ УМКД представляет собой частично структурированный текстовый документ, который включает относительно стабильные фрагменты, повторяющиеся в каждом документе данного типа, и фрагменты с переменным содержанием. Шаблонные фразы, их

порядок и формат в документе одинаковы для всех документов данного типа и образуют «макет» или «шаблон» документа, который может периодически изменяться и может быть разным в разных вузах. Составление и модификация шаблона являются прерогативой методистов вуза.

Сокращение трудоемкости составления и редактирования УМД достигается путем замены «точечного» редактирования каждого документа на редактирование «крупноблочных фрагментов», составляющих переменную часть текста, с последующей генерацией новой версии всех документов, включающих измененный фрагмент. В отличие от генератора рабочих программ [14] предлагается распространить данный принцип формирования УМД на другие документы, а также применить этот же подход и к формированию шаблонов, так как они также могут подвергаться изменениям. Таким образом, система будет обладать не только повышенной производительностью, но и большей гибкостью.

Переменная часть текста УМД – это та информация, которую готовит преподаватель-предметник, и которая зависит от дисциплины, формы и года обучения. Можно заметить значительное сходство содержания документов, относящихся к одной дисциплине, но отличающихся формой и/или периодом обучения: сравнительно стабильна такая информация, как названия дисциплины, вуза, кафедры, факультета, фамилии авторов и утверждающих лиц, наименования и формулировки компетентностей и проч. Однако документы для разных лет и форм обучения по одной и той же дисциплине имеют разделы с нестабильным содержанием: это объем и содержание дисциплины, рекомендуемая литература, перечень рекомендованного программного и информационного обеспечения и др.

Таким образом, в переменной части текста документов в пределах УМКД одной дисциплины можно выделить стабильные фрагменты. Поэтому для преподавателя добавляется функция создания собственного шаблона документа, который отличается от общевузовского включением в шаблон этих стабильных в пределах дисциплины фрагментов текста. В таком случае ежегодная работа преподавателя сводится к модификации только переменной части контента и автоматической генерации новой версии документа.

Для реализации предложенного подхода базу данных, используемую для формирования текста УМД, предлагается разделить на 4 компонента:

- общие справочные данные вуза, применяемые в разных документах и шаблонах;
- данные общевузовских шаблонов документов;
- данные шаблона УМД конкретного пользователя и дисциплины;
- переменные данные конкретной дисциплины.

Редактирование двух первых разделов Б осуществляет методист УМУ, а за ведение данных 3 и 4 разделов отвечает преподаватель-предметник. Для унификации описания структуры документов предлагается использовать модель данных, предложенную в работах [16-18] (рисунок 3).

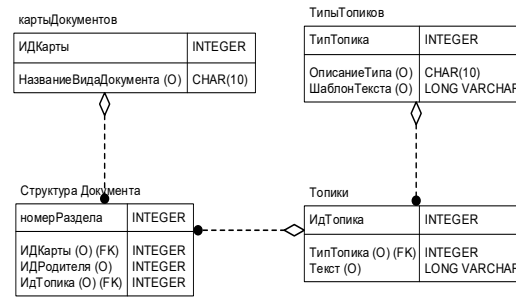


Рис. 3. Модель данных документов УМКД

Рассмотрим применение этой модели для описания шаблонов документов. В таблице «Карты документов» перечисляются наименования шаблонов: шаблон РПД, шаблон ФОС и т.д. Структура шаблона документа описывается как уникальная карта, состоящая из разделов. Перечень разделов документа содержится в таблице «Структура документа», где перечисляются элементы, входящие в состав каждого раздела. Раздел может быть включен в состав другого раздела, что позволяет описывать документы иерархической структуры. Под топиком понимается фрагмент текста документа. В таблице «Типы топиков» содержатся описания повторяющихся фрагментов текста; топики типизируются в зависимости от их типового оформления и содержания (шаблон текста). Шаблон текста может содержать как типовые фразы, так и ссылки на сущности справочной базы данных. Конкретный текст топика формируется из шаблона, когда пользователь выбирает значение конкретного экземпляра сущности из справочной базы данных.

Универсальная концептуальная модель справочной базы данных, разработанная в результате анализа содержания документов УМКД, показана на рисунке 4. В ее состав входят сущности, используемые в шаблонах текста топиков. Модель построена в формате IDEF1x и предполагает реализацию в реляционной базе данных. В отличие от структур БД, рассмотренных в [11-13], предлагаемая модель содержит все необходимые справочные данные для формирования как рабочей программы дисциплины, так и фонда оценочных средств, матрицы компетенций, экзаменационных билетов и других документов, входящих в состав учебно-методического комплекса дисциплины [19].

В настоящее время выполняется выбор инструментов и опытная программная реализация компонентов проектируемой АИС. С этой целью проведен анализ средств обработки текстовых данных фирмы Microsoft [20, 21] и экспериментальное структурирование данных в шаблонах методических документов с использованием системы подготовки электронной документации AuthorIT, созданной новозеландской компанией AuthorIT Software Corporation Ltd. Система реализует подход создания электронной документации на основе концепции единого источника (single source). Результаты эксперимента изложены авторами в работе [22].

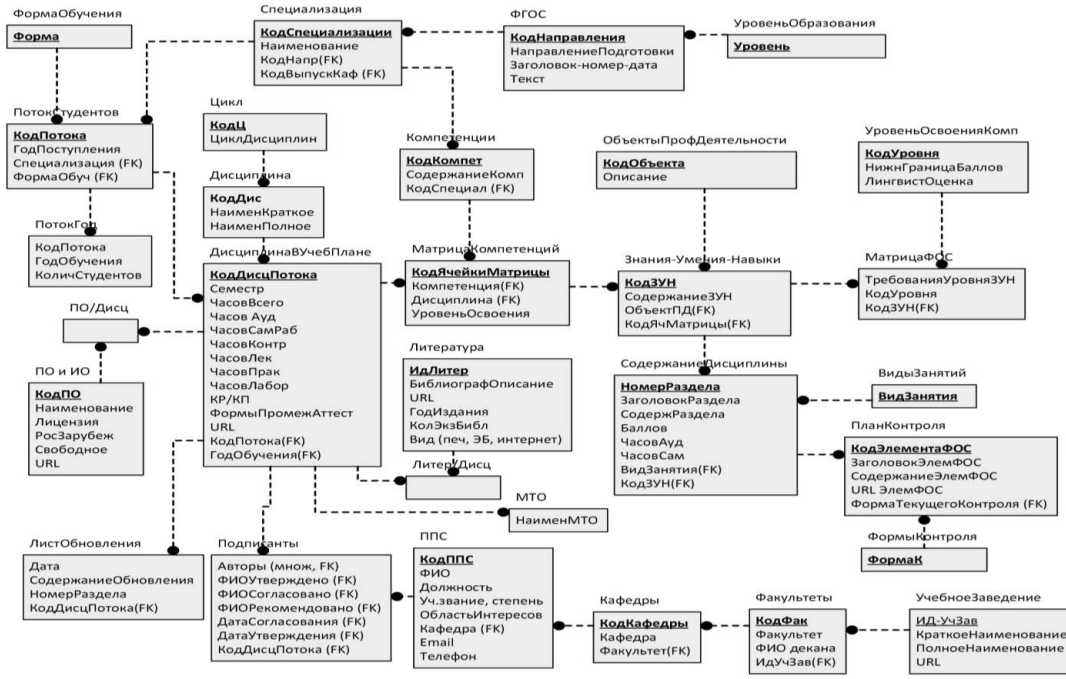


Рис. 4. Концептуальная модель данных АИС

VI. Заключение

Проведенное исследование показало, что в настоящее время разработка компонентов учебно-методического комплекса по дисциплинам с использованием принятых в вузе шаблонов и образцов документов остается слабо автоматизированным процессом, и как следствие, его трудоемкость достаточно велика. Рост объема документации, обусловленный в последние годы рядом факторов, приводит к снижению ее качества, и ухудшает контролируемость процесса.

Анализ имеющихся на рынке программных средств автоматизации показал их существенные недостатки: автоматизация формирования документов обеспечивается для небольшой части УМКД, не учитывается изменчивость внутренней структуры и содержания документов, не возможны изменения шаблонов документов, не используются имеющиеся в вузе электронные источники данных.

Проведен системный анализ процесса управления УМКД, определены границы АИС и внешние по отношению к системе объекты. Поставлена цель функционирования системы – минимизация трудоемкости процесса формирования документов УМКД, определены критерии выбора способов ее реалиации.

Предложена структура АИС, состоящая из двух подсистем («УМУ» и «Кафедра»), определены пользователи АИС (преподаватель и методист), построена модель прецедентов использования системы.

На основе анализа структуры и содержания документов, входящих в учебно-методический комплекс дисциплины, разработана концептуальная модель справочной базы данных, в которой, в отличие от существующих, учтены все необходимые справочные данные для формирования полного комплекта документов УМКД.

Предложены подходы к автоматизации первоначального заполнения базы данных, позволяющие снизить трудоемкость процесса ввода данных за счет импорта информации из имеющихся электронных источников данных.

Предложенный метод разделения доступа к компонентам базы данных между пользователями и применение универсальной модели описания структуры документов к шаблонам документов УМКД обеспечивают возможность гибкой настройки АИС под потребности пользователя, в частности – способность изменять структуру и содержание шаблонов документов, добавлять новые типы документов без изменения программных компонентов системы.

Список литературы

[1] Клишин А. П., Волкова Н. Р., Еремина Н. Л., Мытник А. А., Клыжко Е. Н. Подходы к автоматизации документооборота в вузе// Вестн. НГУ. Серия: Информационные технологии. 2017.– Т. 15, № 1. С. 36–46.– [Электронный ресурс] – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/podhody-k-avtomatizatsii-dokumentooborota-v-vuze.

[2] Что такое "1С:Документооборот"// 1С: Предприятие 8.0 [Электронный ресурс]. – URL: http://v8.1c.ru/doc8/features.htm.

[3] 1С:Университет // 1С: отраслевые и специализированные решения [Электронный ресурс]. – URL: https://solutions.1c.ru/catalog/university/features.

[4] Планирование учебного процесса // Корпорация Галактика [Электронный ресурс]. – URL: https://www.galaktika.ru/vuz/planirovanie-uchebnogo-processa.html.

[5] ТАНДЕМ. Университет - единая информационная система управления учебным процессом // TANDEM. Автоматизация бизнеса [Электронный ресурс]. – URL: http://tandemservice.ru/products/tandem-university.

[6] Программное обеспечение «Рабочие программы дисциплин»/ ММИС лаборатория [Электронный ресурс]. – URL: https://www.mmis.ru/programs/rpd.

[7] Розенберг Д., Скотт К. Применение объектного моделирования с использованием UML и анализ прецедентов. – М: ДМК Пресс, 2010. – 160 с.

[8] Леоненков А.В. Нотация и семантика языка UML (2-е изд.). – М.: НОУ "Интуит", 2016. – 205 с.

[9] Правосудов Р.Н. Формирование образовательных программ вуза в 1С:Университет // Новые информационные технологии в образовании [Электронный ресурс]. – URL: https://educonf.1c.ru/upload/iblock/9df/17.50%20Правосудов-%20Формирование%20образовательных%20программ%20вуза%20в%201СУниверситет.pdf.

[10] Космачева И.М., Квятковская И.Ю., Сибикина И.В. Автоматизированная система формирования рабочих программ учебных дисциплин // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. 2016, №1. С. 91-97 [Электронный ресурс]. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/avtomatizirovannaya-sistema-formirovaniya-rabochih-programm-uchebnyh-distsiplin.

[11] Крюгер А.А., Крапивка С.В. Автоматизация формирования матрицы компетенций основной образовательной программы// Инновационные подходы в образовании. Материалы Всероссийской научно-практической молодежной конференции (20-22 октября 2011 г., г. Белгород) [Электронный ресурс]. – URL: http://100-bal.ru/psihologiya/202148/index.html?page=26.

[12] Федорова Г. Автоматизированная информационная система управления «Учебный процесс». Модель данных. [Электронный ресурс]. – URL: http://fga.bookwar.info/Documents/TGU/HTML/MBD/MBD.html.

[13] Пахунов А.В. Разработка принципов структуризации учебно-методических материалов для подготовки специалистов промышленных предприятий в системе электронных образовательных ресурсов, автореферат диссертации. [Электронный ресурс]. – URL: https://dlib.rsl.ru/viewer/01004617940#?page=1.

[14] Генератор рабочих программ ТУСУР// ТУСУР [Электронный ресурс]. – URL: https://workprogram.tusur.ru/.

[15] Большакова Е.И., Ефремова Н.Э., Шариков Г.Ф. Инструментальные средства для разработки систем извлечения информации из русскоязычных текстов // Новые информационные технологии в автоматизированных системах. 2015, №1/11. С.533-543. – [Электронный ресурс]. – URL: https://cyberleninka.ru/article/v/instrumentalnye-sredstva-dlya-razrabotki-sistem-izvlecheniya-informatsii-iz-russkoyazychnyh-tekstov.

[16] Острогорский М. Принцип единого источника. – [Электронный ресурс]. – URL: https://ru-techwriters.livejournal.com/15546.html.

[17] Клюев Л. Информационная архитектура и технология DITA. По мотивам лекции в Яндексе / Habr.com. - [Электронный ресурс]. – URL: https://habr.com/ru/company/yandex/blog/348842/.

[18] Острогорский М. Разработка технической документации на основе единого источника. – [Электронный ресурс]. – URL: http://philosoft-services.com/ssth-01.zhtml

[19] Чигирева И.В., Шигина Н.А. Автоматизированная информационная система для управления компонентами учебно-методического комплекса дисциплины // XXI век: Итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. Серия: Технические науки. 2019, Т. 8. №1 (45). С. 62-67.

[20] Обзор объектной модели Word / Microsoft Visual Studio 2017 [Электронный ресурс]. – URL: https://msdn.microsoft.com/ru-ru/library/kw65a0we.aspx/

[21] Колдовский В. Visual Studio Tools for Office: экспансия в корпоративную среду // Международный IT-форум BIT'19 [Электронный ресурс]. – URL: https://ko.com.ua/visual_studio_tools_for_office_jekspansiya_v_korporativnuyu_sredu_23618.

[22] Колобова Е.А., Чигирева И.В., Шигина Н.А. Экспериментальные исследования в области создания автоматизированной информационной системы для управления компонентами учебно-методического комплекса дисциплины // Вестник НГУЭУ. 2019, №2. С. 212-225.

Поддержка персонализации обучения и взаимодействия с работодателями на основе ЭИОС университета

Кревский И.Г.
ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет»
г.Пенза, Россия
garryk63@gmail.com

Глотова Т.В.
ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет»
г.Пенза, Россия
tatyanaglt@yandex.ru

***Abstract* —The availability of employers ' access to the electronic information educational environment (EIEE) of the University allows them not only to post information about their vacancies and requirements for candidates, but also to select their staff taking into account the information contained in EIEE. Many employers will be interested in the participation of students in the implementation of projects on a part-time basis, during practices and internships. The new EIEE components will support an active dialogue between the University and employers. The introduction of new educational standards that take into account the requirements of professional standards and the construction of a competency map of the graduate based on the achievements of his portfolio, will allow data analysis and clustering of students as potential employees of companies. With the accumulation of information, the analysis of employers ' preferences itself becomes a source of data for the development of recommendations for recruitment, as well as recommendations to students, what should be paid attention to in educational and extracurricular activities to interest a particular employer.**

Ключевые слова — система высшего образования, ЭИОС, связь с работодателями, большие данные, машинное обучение, карта компетенций, подбор кадров

I. Введение

Главными целями образовательного процесса университетов являются с одной стороны обеспечение предприятий и компаний квалифицированными кадрами, отвечающими современным требованиям, с другой стороны – качественное обучение студентов востребованным компетенциям, позволяющее им уверенно себя чувствовать на рынке труда. Изменения федеральных образовательных стандартов в последние годы происходят в направлении согласования с разрабатываемой системой профессиональных стандартов для обеспечения компетенций выпускников требованиям работодателей в определенной сфере деятельности с учетом современных технологий. В настоящее время готовятся обновления федеральных государственных образовательных стандартов и примерных основных образовательных программ с учётом приоритетов научно-технологического развития Российской Федерации. Для выполнения этих требований необходимо организовать процесс управления образовательным процессом университета, что является сложной задачей.

Важность и актуальность сотрудничества вузов и работодателей подчеркивается в [1]. Университеты, работодатели и студенты имеют общую цель. Одним из важных показателей эффективности вузов является востребованность своих выпускников, студент заинтересован в хорошем трудоустройстве и перспективах своей карьеры, работодатели желают получить квалифицированных специалистов.

На основе проведенного анализа [2] выделяются следующие основные формы сотрудничества кампаний и вузов: предоставление стажировок; предоставление именных стипендий; спонсорство проектов внутри учебных заведений; проведение крупных конкурсных мероприятий с ценными призами для студентов; организация базовых кафедр в вузах; проведение мастер-классов, лекций и др. Отмечаются недостатки системы организации сотрудничества [2]:

- практически отсутствует: участие работодателей в подготовке специалистов с нулевой стадии,
- отсутствует: формат диалога преподавателей с работодателями. Чтобы получился диалог, необходимо продумать алгоритм практических коммуникаций.
- необходимо на различных совместных мероприятиях, таких как «День карьеры», «Презентация компаний» и др., когда те или иные предприятия рассказывают о возможностях, потенциале, вакансиях, а студенты демонстрируют свои проекты, работодатели уже демонстрировали бы требования к выпускникам, заинтересовано оппонируя проекты студентов.

Подчеркивается необходимость активизации диалога между вузами и работодателями и разработки алгоритма практических коммуникаций заинтересованных сторон.

Сильные и слабые стороны сложившейся организации подготовки технических специалистов в системе высшего образования проанализированы в [3]. Условием ее совершенствования называется изменение организационной структуры взаимодействия работодателей, вузов и студентов и применение информационной среды их взаимодействия как элемента виртуальной образовательной среды. Отмечается, что информационная среда взаимодействия предприятий и студентов расширит круг привлекаемых работодателей и создаст конкурентную среду взаимного выбора как среди студентов, так и среди работодателей. В соответствии с ФГОС ВО в настоящее время университеты РФ используют в образовательном процессе электронную информационную образовательную среду (ЭИОС).

©2019 ИПУСС РАН, СамГТУ, IEEE

II. Аналитика и большие данные в образовании

В [4,5] отмечается, что для разработки и внедрения успешных систем электронного обучения необходимо использовать технологии обработки больших данных, искусственный интеллект и машинное обучение. Для улучшения образовательного процесса электронного образования и повышения эффективности управления могут быть использованы возможности выявление новых, порою скрытых, взаимосвязей в больших данных, новых знаний (data mining). Методы анализа больших данных в статье [4] предлагается использовать для классификации электронных образовательных ресурсов, выявления паттернов (шаблонов) студентов со сходными психологическими, поведенческими и интеллектуальными характеристиками, разработки персонализированных учебных программ. Заметим, что здесь технологии больших данных используются для обработки данных систем электронного обучения, но уже при традиционном обучении в ЭИОС хранятся и с каждым годом накапливается быстро увеличивающее количество различных типов данных, как структурированных, так и неструктурированных и для их обработки необходимо использовать технологии больших данных и интеллектуального анализа.

В книге [6] представлены административные и оперативные процессы сбора и анализа данных, направленные на оценку образовательной деятельности, определение эффективных направлений развития учреждений высшего образования и прогнозирование потенциальных проблем. Отмечается, что ценность больших данных заключается в способности идентифицировать полезные данные и превращать их в полезную информацию путем выявления закономерностей и отклонений от закономерностей.

Использование технологий больших данных, машинного обучения и искусственного интеллекта в образовании для повышения эффективности преподавания и обучения сравнивается в [7] с гонкой умов (a smarts race). Как карты скидок супермаркетов предоставляют бесценные данные, с помощью которых компании определяют потребности и предпочтения клиентов, так и школы и университеты могут создать картину привычек и характеристик деятельности своих учеников и студентов с помощью анализа больших данных. Использование электронных образовательных ресурсов увеличивают возможности такой аналитики. Исследования неоднократно показывали сильную корреляцию и связь между чтением цифрового учебного контента и академической успеваемостью [7].

Проект OuAnalyse [8,9] представляет экспериментальные методы машинного обучения для раннего выявления студентов, подверженных риску неудачи для своевременного оказания поддержки преподавателями и студенческими организациями. Методы машинного обучения применяются к двум типам данных: демографические данные студентов и динамические данные, представленные их деятельностью в виртуальной системе обучения. Причем, данные предыдущих исследований, которые были использованы для построения прогнозных моделей, затем применяются для проверки моделей и используются в данных текущего исследования.

Для поддержки исследований в области машинного обучения в [10] разработан набор данных, содержащий данные курсов, представленных в университете. Набор данных содержит демографические данные вместе с агрегированными данными взаимодействия студентов в виртуальной среде обучения. Для сохранения анонимности студентов применены дополнительные методы и инструменты анонимизации [10].

Появление новых информационных технологий и электронных систем обучения меняет организацию образовательного процесса и позволяет эффективно организовать самостоятельную работу с автоматическим контролем с применением инструментов систем управления обучением (LMS). Использование таких инструментов позволяет накапливать важные для аналитики большие данные. Другим источником больших данных в ЭИОС являются данные балльно-рейтинговой системы, одного из форматов оценки достижений обучающихся в системе обучения [11]. Внедрение новых технологий сбора и анализа индивидуальных данных позволяют реализовать личностно ориентированный подход в обучении. В то же время накапливаемый набор данных является основой для прогнозирования успешности учебного процесса, определения необходимых корректирующих воздействий, т.е. реализации функции управления учебным процессом с точки зрения повышения его эффективности.

Внедрение компетентностной модели обучения на основе использования профессиональных стандартов в образовательных программах высшего образования позволяет использовать новый инструмент «Карты компетенций». Методика использования карт компетенций как действенного инструмента организации социально-экономического взаимодействия государства и бизнеса в ходе образовательного процесса описывается в [12]. Государственно-частное партнерство в образовательной сфере в статье рассматривается в контексте новой среды взаимодействия – экономики знаний. В нашем подходе мы соединяем подходы карт компетенций и аналитику больших данных для получения необходимых данных для организации эффективного диалога университетов и работодателей.

Система моделирования на основе искусственных агентов, позволяющая моделировать динамику процессов обучения группы студентов, анализировать процесс подготовки молодых специалистов и прогнозировать возможность их дальнейшего трудоустройства разрабатывается в [13]. Процесс обучения является трудно формализуемым, поэтому для его моделирования в [13] используется нейросетевая модель, которая формирует на выходе остаточные знания студента по отдельной дисциплине. Прогноз остаточных знаний по одной конкретно взятой дисциплине для одного студента осуществляется в два этапа и используются две нейросети. На первом этапе прогнозируется экзаменационная оценка на основе ментального портрета студента, для определения которого предложены методики определения ментальных и психофизиологических особенностей студента. Входными параметрами первой нейросети являются тип мотивации, интеллектуальные способности (общий уровень, уровень вычислительных

способностей, уровень социального интеллекта), психологические особенности (тип темперамента, уровень креативности, умение работать в команде), физические факторы (жилищные условия, состояние здоровья, пол). Для определения ментальности преподавателя используются такие данные, как стаж; возраст, артистизм, наличие ученой степени и звания. На втором этапе, исходя из прогнозируемой оценки, формируется усреднённый набор остаточных знаний и умений, соответствующий данной оценке. Вторая нейросеть строится на основании критериев оценки и рабочей программы дисциплины, в которой содержится перечень знаний и умений. Входными сигналами второй нейросети являются экзаменационные оценки, полученную с выхода первой нейросети. Выходные сигналы нейросети образуют вектор, компоненты которого фиксируют наличие или отсутствие соответствующего остаточного знания или умения. Обучение нейросетей проводилось по стратегии «обучение с учителем» и алгоритму обратного распространения ошибки. Обучающий набор данных для второй нейросети составляет эксперт, в качестве которого выступает преподаватель-профессионал по определенной дисциплине с использованием утвержденной рабочей программы[13].

Работа[13] дает хороший инструментарий и методику определения психологических, эмоциональных, природных и физических особенностей студента, основанную на классических психологических подходах, и примеры построения нейронных сетей для аналитики. Но в данной работе используется определение остаточных знаний студентов в виде вектора знаний и умений определенной дисциплины. Введение новых образовательных стандартов, сопряженных с профессиональными, позволит использовать в нашем подходе элементы разработанной здесь методики с расширением на уровень профессиональных компетенций соответствующих профессиональных стандартов, которые сейчас указываются в образовательных программах и рабочих программах дисциплин. Кроме того в нашей системе в ЭИОС автоматически накапливаются множество различных данных, формируются портфолио студентов и преподавателей, которые позволяют более качественно определить характеристики объектов и субъектов образовательного процесса.

III. Использование ЭИОС ПГУ для поддержки персонализации обучения и взаимодействия с работодателями

В Пензенском государственном университете (ПГУ) на основе свободно распространяемого ПО с открытым кодом разработана ЭИОС, обеспечивающая следующие основные возможности:

1) Доступ для всех участников учебного процесса к учебным планам, рабочим программам дисциплин, к изданиям электронных библиотечных систем (ЭБС) и электронным образовательным ресурсам (ЭОР), указанным в рабочих программах, а также другим материалам учебно-методических комплексов по каждой дисциплине (фонды оценочных средств, методические и учебные пособия и указания, компьютерные тесты и т.д.). Для каждой учебной дисциплины создан раздел в LMS Moodle, где размещены как непосредственно ресурсы по дисциплине, так и гиперссылки на материалы, размещенные в электронной библиотеке ПГУ, внешних ЭБС, с которыми университет имеет договора на использование их ресурсов, открытые образовательные ресурсы, а также карточки печатных изданий в электронном каталоге ИРБИС библиотеки вуза. Интерфейс заполнения курсов в ЭИОС достаточно простой, поэтому почти все размещение ресурсов выполняли непосредственно преподающие соответствующие дисциплины преподаватели. Была разработана стандартная структура курса, ориентированная на логичное и полное размещение учебно-методического комплекса по дисциплине, однако преподаватели могут менять эту структуру, предлагая авторскую.
2) Фиксацию хода образовательного процесса, включая учет текущей работы студентов в рамках балльно-рейтинговой системы, результатов промежуточной аттестации и результатов освоения основных образовательных программ (подсистема электронный деканат).
3) Поддержку проведения всех видов занятий, процедур оценки результатов обучения, осуществляемых с применением электронного обучения (ЭО), дистанционных образовательных технологий (ДОТ).
4) Формирование электронного портфолио обучающегося, в том числе, сохранение работ обучающегося, рецензий и оценок на эти работы. Сведения о направлении и профиле подготовки студента, результатах изучения им дисциплин автоматически поступают в портфолио из электронного деканата. Помимо представления результатов обучения и достижений студентов по ходу учебы, для поддержки трудоустройства выпускников, установлен нормативный срок хранения портфолио в открытом доступе на портале вуза в течение трех лет после завершения обучения.
5) Взаимодействие между участниками образовательного процесса. Синхронное взаимодействие в рамках обучения базируется на сервисе мгновенных сообщений. Также возможно подключение внешних модулей, например, для организации видеоконференций. Для асинхронного взаимодействия используются образовательные форумы в рамках каждой дисциплины (по выбору преподавателя возможны один или несколько форумов, например, посвященные разным тематикам). Подсистема мониторинга ЭИОС обеспечивает организацию и проведение опросов среди студентов и преподавателей вуза, а также обработку их результатов. Благодаря интеграции с электронным деканатом, соответствующие опросы студенты получают с привязкой к изученным дисциплинам и реализующим их преподавателям.
6) Инструментарий работников деканатов для работы с контингентом студентов (формирование

групп, ведение личных и учебных карточек, поиск информации о студентах, формирование различных списков и т.д.).

7) Автоматическая публикация информации из ЭИОС на портале вуза (список образовательных программ, состав дисциплин каждой программы, аннотации и рабочие программы дисциплин, списки преподавателей (общий и по подразделениям), для каждого преподавателя - сведения о преподаваемых дисциплинах, стаже, степени и звании, образовании, повышении квалификации.

В ходе эксплуатации в ЭИОС накапливаются следующие данные:

- Данные о промежуточной успеваемости и итоговой аттестации студентов;
- Данные о текущей успеваемости студентов (работе на лекциях и практиках, выполнении лабораторных и контрольных работ, написании рефератов, выполнении проектов и т.д.) – данные вносятся преподавателями в рамках учета балльно-рейтинговой системы (БРС);
- Работы студентов и сотрудников (выпускные и курсовые работы, публикации и т.д.);
- Данные о прохождении студентами компьютерного тестирования, выполнении элементов типа «Задание», участии во взаимном оценивании (возможен сбор данных включая все попытки и итерации работы);
- Данные о работе студентов с учебными материалами, включая количество и продолжительность обращений;
- Сведения о внеучебной деятельности студентов, включая опыт практической работы, программы дополнительного образования, участие в НИР, практики, стажировки, проектную деятельность вне образовательной программы, участие в конкурсах, кружках и олимпиадах, спортивных и творческих соревнованиях, общественную деятельность, хобби и т.д.
- Сведения о посещаемости студентов.
- Сведения о предыдущем образовании студента, в случае, если он обучался по более чем одной специальности, или получал в вузе образование разных уровней (например, СПО-бакалавриат-магистратура), возможен совместный анализ этих данных.
- Результаты опросов студентов и сотрудников;
- Вакансии и требования к кандидатам работодателей, заключивших с вузом договоры о сотрудничестве.

Структура ЭИОС [14] приведена на рис.1. Личный кабинет для пользователей ЭИОС является точкой входа во все доступные подсистемы. Для большинства пользователей доступна публичная часть ЭИОС, не содержащая персональных данных. Некоторые пользователи, например, сотрудники деканата, приемной комиссии и т.д. должны работать с личными данными обучающихся и абитуриентов, поэтому с аттестованных на безопасность работы с персональными данными рабочих мест, они могут входить в закрытую часть своего личного кабинета.

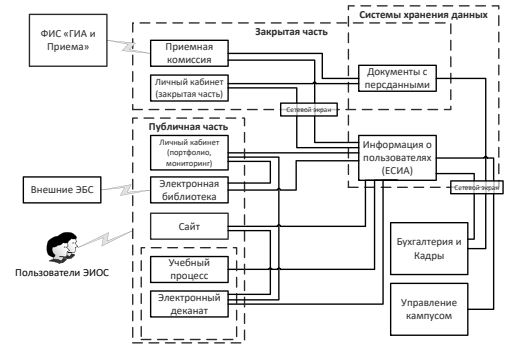


Рис. 1. Структура ЭИОС ПГУ

Доступ в личный кабинет неразрывно связан с доступом к портфолио пользователя и подсистеме мониторинга (на рис. 1 показаны в одном блоке), а также к сайту вуза, электронной библиотеке, подсистемам электронного деканата и учебного процесса. Все подсистемы должны работать с единой информацией о пользователях, содержащей также сведения, необходимые для аутентификáции. По аналогии с порталом госуслуг на рис. 1 этот блок обозначен как ЕСИА (Единая система идентификации и аутентификации).

ЭИОС связана с другими информационными системами, используемыми в организации. На рис. 1 показана взаимосвязь с системами бухгалтерии и кадров, а также с системой управления кампусом. Также обеспечено взаимодействие ЭИОС и с внешними системами, находящимися вне вуза. Так, система приемной комиссии выгружает данные о поданных заявлениях и результатах приема в федеральную информационную систему (ФИС) государственной итоговой аттестации (ГИА) и приема; из ЭИОС осуществляется доступ к внешним ЭБС, издания которых используются в учебном процессе, и т.д.

На основании представленной в ЭИОС информации в настоящее время формируется значительное количество официальных и аналитических документов:

- Экзаменационные и зачетные ведомости;
- Ведомости текущей успеваемости в контрольных точках;
- Отчеты о посещаемости студентов;
- Рейтинги студентов по отдельным семестрам и накопительные за все время обучения (доступны как по отдельным дисциплинам, так и интегральные, по которым возможно сравнение как студентов отдельной специальности, так и факультета в целом (например, рейтинг студентов всех специальностей N-го курса факультета вычислительной техники);

- Сведения об абсолютной успеваемости, качестве знаний и среднем балле студенческих групп по каждой из изученных дисциплин, рейтинги групп по итогам сессии;
- Анализ итогов сессии (количество и процент успевающих, неуспевающих, получивших отличные и хорошие оценки, только отличные, количество задолженностей), данные могут выводиться как интегрированные, так и в разрезе отдельных факультетов, курсов, с выделением различных уровней образования, форм и оснований образования (бюджет/контракт), возможностью группировки данных по гражданству студентов, получения статистики по целевым студентам.

По отдельным дисциплинам и группам доступна следующая информация:

- О всех входах пользователей в систему;
- О количестве и времени обращения к различным ресурсам в ЭИОС;
- О результатах компьютерного тестирования (не только итогового, но и всех попытках);
- О выполнении заданий и полученных оценках (также имеется информация о всех попытках);
- О работе на форумах;
- Об использовании механизма мгновенных сообщений;
- Об участии и результатах взаимного оценивания.

При разработке ЭИОС учитывался опыт разработок направленных на поддержку непрерывного обучения специалистов высокотехнологичных отраслей с учетом жизненных циклов специалиста, образовательных программ и ресурсов, а также создания среды поддержки инновационных проектов [15] и инструментов поддержки и синхронизации жизненных циклов специалиста, образовательных программ и ресурсов [16]. На основе имеющихся наработок и накапливаемых в ЭИОС данных в настоящее время ведется разработка аналитических инструментов с использованием технологий машинного обучения для поддержки персонализации обучения и взаимодействия с работодателями. Разрабатываемые инструменты можно разделить на несколько групп:

1) Инструменты, направленные на совершенствование образовательного контента. Они основываются на использовании или неиспользовании контента, результатах, показанных студентами при текущей и промежуточной аттестации, дополнительно могут использоваться опросы студентов по удовлетворенности контентом. На основании анализа можно выяснить по каким дисциплинам какой контент не вызывает интереса студентов, либо не обеспечивает нужного уровня освоения материала, что послужит основанием для совершенствования контента. Рассмотрение этих данных совместно с другими сведениями о работе студентов позволит фильтровать ситуации, когда проблема возникла по вине студента (он не использует в достаточной степени ЭИОС, не пытается выполнять задания, дополнительной характеристикой может служить посещаемость очных занятий). Подобные вещи являются характеристикой скорее не материала, а самого студента и могут быть использованы для прогнозирования возникновения у него проблем с обучением и служить основанием для принятия деканатом и кафедрой административных и/или воспитательных мер. Также в ряде случаев при оценке материала имеет смысл отфильтровывать низкий интерес со стороны студентов, хорошо знающих предмет. Например, в случае вводного курса по языку программирования студенты, имеющие уверенные знания и навыки по нему, а тем более, имеющие практический опыт работы с использованием этого языка, вряд ли будут много времени уделять изучению базовых основ. Помочь выявить таких студентов может оценивание при начале изучения дисциплины, сопоставление данных об академических успехах по другим дисциплинам и данных портфолио. При наличии таких студентов, особенно если они не единичны, необходимо разработать усложненный вариант траектории изучения дисциплины и соответствующий контент. Основной проблемой при применении подобного инструментария являются не столько его разработка, сколько зависимость эффективности его применения от достаточно детального разбиение контента на элементы и четкого определения, какие компетенции, знания и навыки приобретаются в результате изучения элемента контента. Такое разбиение требует серьезной работы от преподавателя-автора курса.
2) Прогнозирование успешности освоения студентами дисциплин и компетенций на основе анализа их успеваемости по другим дисциплинам и текущих результатов обучения, а также данных портфолио. Для «переросших» стандартную траекторию курса студентов ситуация рассмотрена выше. Также важно выявлять студентов, у которых в силу неуверенных знаний по ранее изученным дисциплинам, а также особенностей индивидуального восприятия материала возникают проблемы. Выходом может быть разработка дополнительного образовательного контента, более просто и понятно излагающего материал, дополнительных упражнений, выдача рекомендаций и предоставление доступа для повторения ранее изученного, но плохо освоенного материала, организация дополнительных занятий или консультаций.
3) Взаимодействие с работодателями, в котором, в свою очередь можно выделить несколько моментов:

- Предоставление сведений об успешности освоения студентами запрашиваемых работодателями компетенций. Интересно, что первыми возможность предоставления такой информации работодателям наладили не вузы, а

онлайн-площадки. Так, в Coursera и UDACITY многие компании платят за данные о студентах с отличными учебными показателями для подбора квалифицированных сотрудников; UDACITY работает с резюме студентов, фактически способствуя их профориентации и трудоустройству.

- Создание инструментов подбора кандидатур по заданным работодателем критериям, причем как выпускников - будущих сотрудников компаний, так и студентов младших курсов для участия в реализации проектов на условиях частичной занятости во время практик и стажировок
- Инструменты поиска работодателя для студентов с учетом предлагаемых ими вакансий и требований к кандидатам.
- Рекомендательные сервисы для студентов по их соответствию требованиям интересующего работодателя с выдачей советов, над совершенствованием каких компетенций следует работать для повышения шансов на трудоустройство.

Помимо сопоставления сведений об учебных и внеучебных достижениях студента с требованиями работодателей, постепенно важным источником информации станут исторические данные об успешном или неуспешном трудоустройстве выпускников к конкретному работодателю (имеют смысл для работодателей, принимающих на работу достаточно большое количество студентов выпускников, либо в тех случаях, когда возможна кластеризация компаний, например, сходные требования компаний, занимающихся разработкой мобильных игр с использованием сходных технологий).

IV. Заключение

Анализ исследований в области взаимодействия университетов и предприятий, заинтересованных в квалифицированных кадрах, показывает необходимость активизации диалога между вузами и работодателями. В соответствии с требованиями ФГОС ВО в настоящее время университеты РФ используют в образовательном процессе ЭИОС которая может стать инструментом активизации диалога, расширит круг привлекаемых работодателей и создаст конкурентную среду взаимного выбора как среди студентов, так и среди работодателей. Для появления в среде таких возможностей, требуется разработка компонентов аналитики больших данных, накапливаемых в ЭИОС. В работе представлена структура ЭИОС Пензенского государственного университета, категории и типы накапливаемых данных, уже реализованные инструменты анализа. На основе имеющихся наработок и накапливаемых в ЭИОС данных в настоящее время ведется разработка аналитических инструментов с использованием технологий машинного обучения для поддержка персонализации обучения и взаимодействия с работодателями.

Список литературы

[1] Денежкина И.Е., Посашков С.А., Щербин К.И. Взаимодействие крупных работодателей с вузами; выигрывают все // Финансы: Теория и Практика, 2016 (https://cyberleninka.ru/article/n/vzaimodeystvie-krupnyh-rabotodateley-s-vuzami-vyigryvayut-vse)

[2] Сабирова Д.К. Работодатели и вузы; взаимодействие и перспективы // Управление, 2014 (https://cyberleninka.ru/article/n/rabotodateli-i-vuzy-vzaimodeystvie-i-perspektivy).

[3] Данилаев Д.П., Маливанов Н.Н. Современные условия и структура взаимодействия вузов, студентов и работодателей // Высшее образование в России, 2017. №6(213).-С.29-35. (https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennye-usloviya-i-struktura-vzaimodeystviya-vuzov-studentov-i-rabotodateley)

[4] Мамедова Г.А., Зейналова Л.А., Меликова Р.Л. Технологии больших данных в электронном образовании // Открытое образование, Том: 21, 2017, №6 -С. 41-48 (https://elibrary.ru/item.asp?id=32286799).

[5] Zhassulan Zhaksylyk Nurlanuly E-Learning: application of big data, artificial intellicence and machine learning // Интернаука, 2018, №18-2 (52) -С.40-42. (https://elibrary.ru/item.asp?id=34902369).

[6] Ben Kei Daniel Big Data and Learning Analytics in Higher Education: Current Theory and Practice Springer, 2016.– 272p. (https://link.springer.com/book/10.1007%2F978-3-319-06520-5)

[7] Go Big: data in education // Education Technology (https://edtechnology.co.uk/Article/go-big-data-in-education/).

[8] Innovative Learning Analytics Research at a Data-Driven HEI Azcona, Davida; Corrigan, Owena ; Scanlon, Philipa and Smeaton, Alan F. Insight Centre for Data Analytics, Dublin City University, Ireland (http://doras.dcu.ie/21885/1/Innovative_Learning_Analytics_Research_at_a_data-driven_HEI.pdf

[9] OU Analyse (https://analyse.kmi.open.ac.uk/)

[10] Jakub Kuzilek, Martin Hlosta & Zdenek Zdrahal Open University Learning Analytics dataset//Scientific Data vol. 4, 2017 (https://www.nature.com/articles/sdata2017171).

[11] Фаткуллин Н.Ю. Балльно-рейтинговая система оценивания обучающихся как источник формирования «больших данных» в учебном процессе// Современная высшая школа: инновационный аспект, 2016,Том:8. №4(34). - С.75-81. (https://elibrary.ru/item.asp?id=27725142)

[12] Морозова И.А., Грязнов С.А. Мысин М.Н. Карты компетенций как эффективный инструмент социально-экономического партнерства и бизнеса в условиях экономики знаний// Аудит и финансовый анализ, 2013. №4 –С.342-344 (https://elibrary.ru/item.asp?id=20173513).

[13] Федяев О. И. Прогнозирование остаточных знаний студентов по отдельным дисциплинам с помощью нейронных сетей// Известия Южного федерального университета. Технические науки 2016 (https://cyberleninka.ru/article/n/prognozirovanie-ostatochnyh-znaniy-studentov-po-otdelnym-distsiplinam-s-pomoschyu-neyronnyh-setey).

[14] Управление высшим учебным заведением // Резник С.Д., Боровская М.А., Васин С.М., Вдовина О.А., Двоеглазов В.В., Егорев С.И., Егоршин А.П., Пономаренко Ю.С., Звонников В.И., Игошина И.А., Каледа В.Н., Логинова Н.В., Мазей Ю.А., Маскаева А.И., Панов И.А., Еремкин А.И., Резник Г.А., Сазыкина О.А., Сёмин А.Н., Филиппов В.М., Филиппов К.Б., Челышкова М.Б., Шестернина О.И., Юсупов М.Л., Кревский И.Г., Антонов А.В., Архипов А.Ю. - Учебник / Москва, 2019. Сер. Менеджмент в высшей школе (Изд. 5-е, перераб. и доп.). ISBN: 978-5-16-014398-9, DOI: 10.12737/textbook_5bd08431c9cab4.82616176

[15] Tatiana Glotova, Mikhail Deev, Igor Krevskiy, Sergey Matukin, Elena Sheremeteva, Yuri Shlenov, Maria Shlenova Models of Supporting Continuing Education of Specialists for High-Tech Sector // Knowledge-Based Software Engineering - 11th Joint Conference, JCKBSE 2014 Volgograd, Russia, September 17–20, 2014 Proceedings. Springer - Communications in Computer and Information Science, Volume 466, 2014, pp 100-112.

[16] Tatiana Glotova, Mikhail Deev, Igor Krevskiy, Sergey Matukin, Vardan Mkrttchian, Elena Sheremeteva Individualized learning trajectories using distance education technologies // Creativity in Intelligent Technologies and Data Science - First conference, CIT&DS 2015, Volgograd, Russia, September 15–17, 2015, Proceedings. Springer - Communications in Computer and Information Science, Volume 535, 2015, pp 778-792.

Факторы, влияющие на механизмы формирования межсубъектных отношений в экономике

М.Ю. Куссый
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского»
г. Симферополь, Россия
mikhailkussy@gmail.com

***Abstract* — The permanently changing economic situation in the world involves finding answers to the questions: what, how and why is it happening in socio-economic systems? The existing methodological approaches do not allow an unambiguous answer to such questions yet. At the same time, at a multidisciplinary level, a significant number of researchers point to the connection between the social and economic problems of mankind. One of the problems that have arisen quite acutely in recent years (taking into account turbulent processes in the global economy) is the identification of factors influencing the mechanisms of the formation of inter-subject relations in the economy. The article discusses three epistemological approaches to the definition of mechanisms for the formation of intersubjective relations in the economy: the author's approach, which determines the expectations and preferences of actors, as well as current institutional constraints and the current dominant technological order as the main factors influencing such mechanisms; V.A. Vittikh's theory of intersubjective management which is based on holonistic communication in the community of actors; the approach of behavioral economics, known as the new paternalism. The importance of taking into account behavioral aspects (primarily the expectations and preferences of economic agents) in the study of processes in socio-economic systems, taking into account the "Verstehen" phenomenon, is shown. The necessity of taking into account the reflexive influence of actual institutional constraints and the current dominant technological order on the processes of formation of intersubjective relations in the economy is argued. According to the results of the analysis, the most significant factors that directly affect the mechanisms of the formation of intersubjective relations in the economy are highlighted. The presented work has a staged, problematic character, is aimed at the deployment of scientific discussion and involves further research and testing on the stated subject matter.**

Ключевые слова — межсубъектные отношения в экономике, актор, гетерогенность и гетероморфность ожиданий и предпочтений акторов, институты, технологии.

I. Введение

Перманентно изменяющаяся экономическая ситуация в мире предполагает нахождение ответов на вопросы: что, как и почему происходит в социально-экономических системах?

Существующие методологические подходы пока не позволяют однозначно ответить на такие вопросы. При этом на междисциплинарном уровне значительное количество исследователей указывают на связь между социальными и экономическими проблемами человечества.

Новое аналитическое направление в экономике, за которым закрепилось название поведенческой (бихевиористской) экономики (behavioral economics), существенно повлияло на векторы развития экономической теории в последние десятилетия и позволило приблизиться к поиску методологически корректных ответов на вопросы, отмеченные в начале введения.

Одной из проблем, решение которой позволяет частично ответить на эти вопросы (с учетом актуальных турбулентных процессов в мировой экономике), является выявление существенных факторов, влияющих на механизмы формирования межсубъектных отношений в экономике.

Разрешение этой проблемы значительно затруднено тем, что исследования в экономике осуществляются в условиях нелинейного развития социально-экономических систем (СЭС), существенной зависимостью протекания процессов в таких системах от вариации начальных условий, наличием альтернативных траекторий эволюции СЭС и возможностью выбора из таких альтернатив в рамках актуальных ограничений технологического (в том числе актуальные технологии формирования межсубъектных отношений), институционального (в том числе актуальные институты формирования межсубъектных отношений), ресурсного и иного характера. При этом и сам выбор, и критерии такого выбора оптимальной траектории эволюции СЭС из множества альтернатив – достаточно непростая задача, которая зачастую не имеет единственного решения, и, как правило, в значительной мере носит характер гетерогенной и гетероморфной субъективности (необходимость учета гетерогенности и гетероморфности в системах обсуждается, в том числе, в [1-4]).

Для объяснения феномена гетерогенной и гетероморфной субъективности в общественных науках применяется немецкий термин «Verstehen», который обозначает субъективное понимание

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-010-00298.

©2019 ИПУСС РАН, СамГТУ, IEEE

существа процесса или явления изнутри – с помощью интуиции или эмпатии (у каждого индивидуума результат их использования проявляется по-разному) в противоположность знаниям, полученным извне – с помощью наблюдений и расчета. В русском языке термин «Verstehen» можно заменить конструкцией «мне понятно, что…». Как пишет М. Блауг, рассматривая Verstehen как феномен, согласно которому общественные науки должны основываться на знании от первого лица, доступному каждому человеческому существу, а не на знании от третьего лица, полученному с помощью измерения результатов экспериментов. Именно наличие Verstehen отличает общественные науки от естественных, в которых наблюдатель не является участником процессов (феномен Verstehen достаточно подробно обсуждается в [5, с.98-104]).

По мнению Р. Л. Хайлбронера проблема понятийного аппарата в экономике заключается, в том числе, и в том, что «невидимая» социополитическая нагрузка <***М. К.:*** *в первую очередь субъективного характера*> лежит на многих экономических терминах [6]. Именно субъективность экономики как сферы деятельности (см. феномен Verstehen), антропогенная природа и междисциплинарность положений экономической теории делает последнюю сложной для полноценного формализованного исследования.

Действительно, все или почти все экономические (финансовые, управленческие и т.п.) решения принимают конкретные субъекты (акторы), исходя из своих индивидуальных ожиданий и предпочтений по поводу будущей динамики развития конкретной СЭС, а также иных индивидуальных особенностей конкретного актора, влияющих на результаты процесса формирования выводов и принятия им решений.

Важность учета влияния субъективизма на теоретические построения в экономике отмечена, в том числе, в [5, с. 655–656].

Именно для того, чтобы снизить влияние субъективизма, который присутствует в результатах экономических исследований, в статье рассмотрены три различных гносеологических подхода к определению механизмов формирования межсубъектных отношений в экономике: подход поведенческой экономики, известный под названием патернализма; эвергетический подход, основанный на холонистической коммуникации в сообществе акторов, и авторский подход, определяющий ожидания и предпочтения акторов, а также актуальные институциональные ограничения и текущий доминирующий технологический уклад в качестве основных факторов влияния на такие механизмы.

II. Некоторые авторские определения

Актор (в некоторых источниках используется термин «экономический агент») – любой субъект социально-экономических отношений, определяемых текущими процессами развития конкретной СЭС, реализующий специфические социально-экономические функции (в рамках функционирования конкретной СЭС с учетом своего индивидуального набора целей по отношению к конкретной СЭС) и существующих ограничений, который своими действиями (или бездействием) может повлиять на процессы принятия и внедрения социально-экономических решений в отдельно взятой СЭС.

В понятие «актор» входит не только конкретный индивидуум, участвующий в социально-экономических процессах, но и совокупность субъектов (начиная от государства и межгосударственных организаций – до группы индивидуумов), объединенных единым набором социально-экономических целей, не противоречащим индивидуальным наборам целей каждого актора, входящего в эту совокупность. В качестве акторов могут выступать также сами СЭС.

В предлагаемом определении актора важно слово «текущими», так как предпочтения и ожидания каждого актора (в [7] предпочтения и ожидания актора именуются «предпонимание») и, следовательно, его цели могут динамически изменяться, что, автоматически изменяет векторы его воздействий на процессы, проходящие в СЭС (как по величине, так и по направленности таких векторов). Кроме того, важно, что акторы, взаимодействуя между собой, вступают в межсубъектные отношения в экономике (МСОЭ), которые достаточно разнообразны по функциональной и векторной направленности и, как правило, не являются однозначными по своему содержанию, а также могут динамично трансформироваться с течением времени.

Ожидания актора – индивидуальное понимание конкретным актором альтернативных возможностей будущей эволюции анализируемой СЭС как результата разнообразных эндогенных и экзогенных воздействий на систему (в том числе – и со стороны актора).

Предпочтения актора – индивидуальные взгляды актора на желаемое для него (в рамках текущего набора целей актора) направление будущей эволюции конкретной СЭС.

Современная экономика, включая почти все процессы, проходящие в ней, – результат разнонаправленности и различий по силе воздействия на СЭС (далее – гетероморфность) ожиданий и предпочтений разных акторов, имеющих разнообразную природу происхождения (далее – гетерогенность), нашедших свое агрегированное итоговое отражение в МСОЭ между акторами. Гетерогенность и гетероморфность у акторов обсуждается, например, в [3, 7-8].

Алгоритм формирования МСЭО представлен на рис. 1 (для простоты – рассмотрен вариант формирования МСЭО для двух акторов A_1 и A_2).

Следует отметить, что алгоритм, представленный на рис.1, в общем случае не является однонаправленным, а имеет рекурсивно-итерационный характер – содержание всех этапов (1-4) не является фиксированным: под воздействием рефлексивных и иных процессов взаимодействия акторов у A_1 и A_2 со временем может измениться содержание и векторная направленность любого из этапов 1-3, что, в свою очередь, может привести к

корректировке МСЭО между A_1 и A_2 (этап 4 алгоритма). Эволюция МСОЭ, в свою очередь, также имеет рекурсивно-итерационный характер и воздействует на процессы трансформации содержания этапов 1-3 алгоритма (см. рис. 1).

Рис. 1. Алгоритм формирования межсубъектных отношений в экономике

Поэтому доминирующий тип МСЭО не только является частью системы институциональных ограничений в экономике, но и, развиваясь с учетом гетроморфности и гетерогенности ожиданий и предпочтений акторов-участников МСЭО, а также эволюции технологий, динамической трансформации системы институциональных ограничений, активно воздействует на процессы трансформации институциональной системы, способствуя тем самым эволюции самой экономики.

Именно наличие МСЭО в СЭС, по мнению автора, является одним из существенных факторов, детерминирующих сложность таких систем.

III. Основные взгляды патернализма на процессы формирования межсубъектных отношений в экономике

В социальной философии под «патернализмом» понимаются любые формы вмешательство в жизнь человека против его воли со стороны третьих лиц (государства, семьи, церкви и т.д.) на том основании, что такое вмешательство улучшает его положение и/или предотвращает нанесение им себе вреда [9]. Подробно различные патерналистские методологические подходы рассмотрены в [10].

По мнению, изложенному в [11], актуальная патерналистская модель покоится на четырех главных постулатах:

1) для решения своих поведенческих проблем люди нуждаются во вмешательстве третьих лиц. Наилучшим кандидатом на эту роль является государство;

2) эксперты могут изучать то влияние, которое в реальной жизни оказывают на благосостояние те или иные акты выбора, и принимать от имени индивидов решения лучше тех, на которые они способны сами;

3) любые стимулирующие схемы, которые возлагают на людей ответственность за последствия их прошлых действий, неэффективны. Вместо них необходимы схемы, которые немедленно вознаграждают или наказывают людей за будущие последствия их текущих действий – последствия, которые сами они неспособны осознать и учесть;

4) с точки зрения политики то, как люди ощущают себя в обществе, важнее того, что они желают, или того, что они делают.

Патернализм совершенно элиминирует в своих теоретических построениях гетерогенность и гетероморфность предпочтений и ожиданий акторов, ограничивая свое внимание лишь на тех из них, которые можно считать «рациональными». В [12] Санштейн и Талер так определяют эту рациональность: 1) считать «рациональными» те предпочтения, которые в данной ситуации выбора демонстрирует большинство людей; 2) считать «рациональными» те предпочтения, которые люди демонстрируют тогда, когда делают свой выбор осознанно; 3) считать «рациональными» предпочтения, соответствующие тому варианту выбора, от которого люди отказываются реже всего, когда он предлагается им в качестве опции «по умолчанию». Ни одно из правил Санштейна-Талера не позволяет сколько-нибудь однозначно выявить «истинные» ожидания и предпочтения акторов, которые, по мнению автора, активно влияют на процессы формирования межсубъектных отношений в экономике. При таких условиях, когда государство вмешивается в жизнь акторов, используя политику «наджа» (подталкивания) и подталкивает акторов к формированию межсубъектных отношений в экономике с учетом понимания «рациональности» акторов в рамках институциональных правил и нормативных стандартов, отражающих в первую очередь интересы государства. Подробнее о политике «наджа» – см., в том числе, в [13].

С позиций современной практики, патернализм существенно ограничивает свободу акторов при формировании межсубъектных отношений в экономике «в пользу дяди» (с позиции феномена «Verstehen» государство, как правило, трактует различные отношенческие ситуации лишь в свою пользу), что, в свою очередь, снижает значение процессов формирования межсубъектных отношений в экономике в ее эволюции. Однако, в соответствии с [7, с. 25]: резервы повышения качества жизни, эффективности экономики и государственного управления следует искать в самих людях, в каждом человеке <***М.К.:*** *акторе*>, в использовании его персональных интеллектуальных и волевых ресурсов.

Следует отметить, что политика «наджа» предполагает использование механизмов контроля исполнения норм действующей институциональной системы в МСЭО в первую очередь на макроуровне, мало затрагивая подобные механизмы на мезо- и микроуровне экономики, что также несколько снижает методологическую ценность патернализма (о различиях в механизмах работы институтов на разных уровнях экономики – макро-, мезо-, микроуровень – см., например, в [14]).

Несомненным является одно: действующие институциональные ограничения являются существенным фактором формирования МСЭО.

IV. Основные взгляды на процессы формирования межсубъектных отношений в экономике теории интерсубъективного управления

В отличие от патернализма в теории интерсубъективного управления (ТИУ) предполагается, что акторы «внутренне» мотивированы к коммуникации и согласованным действиям без непосредственного «наджа» (подталкивания) со стороны государства. При этом акторы группируются в холоны (каждый актор вместе с имеющимися в его распоряжении интеллектуальными, материальными и трудовыми ресурсами образует базовый элемент интерсубъективной системы – холон [15]). Понятие «холон» обозначает целое, являющееся частью другого целого, включающее в себя управляемые актором компоненты для обработки, транспортировки и хранения физических объектов (вещества, энергии) и информации. Являясь независимым и автономным, холон, располагающий развитыми средствами коммуникации, способен взаимодействовать с другими холонами, образуя новые (составные) холоны. Иными словами, интерсубъективная холоническая система строится на принципе «часть – целое», в отличие от систем, организованных на основе отношения «причина – следствие» между элементами [16].

Холоны могут не только объединяться (интегрироваться) в составные холоны, но и, наоборот, распадаться (дезинтегрироваться). Процессы интеграции и дезинтеграции холонов определяют эволюцию интерсубъективной системы, которая должна рассматриваться как система развивающаяся [17], остающаяся всегда открытой и незавершённой. Дело в том, что в процессах осознания и регулирования проблемной ситуации может не только изменяться состав участников (в холоне), но и корректироваться их договорённости, связанные с ценностными приоритетами, целевыми ориентирами и задачами, требующими решения [7, с. 26].

Интерсубъективность понимается в ТИУ как структура индивидуального сознания, отражающая факт существования других акторов и их неоднородности [7, с. 13]. А сама ТИУ предназначена для достижения взаимопонимания неоднородных акторов в процессе принятия совместного решения о том, каким образом будет урегулирована проблемная ситуация; эта теория, разрабатываемая самими акторами, играет роль своеобразной «интеграционной платформы», содействующей сближению их позиций [7, с. 35].

При этом ТИУ формирует следующую цепочку этапов: формирование холонов с целью анализа проблемных ситуаций и поиска путей выхода из них → формирование отношенческих институтов в холонах (в ТИУ – с использованием семантической и нормативной интерсубъективности) → формирование отношенческих технологий в холонах (в ТИУ – с использованием нормативно-правовой онтологии) → формирование технологий принятия решений в холонах (в ТИУ – с использованием операциональной интерсубъективности и онтологии деятельности) → формирование межсубъектных отношений в экономике (в ТИУ используется термин «интерсубъективность»). Все эти этапы (согласно ТИУ) являются необходимыми в процессе формирования МСЭО.

В [18] ТИУ пополнилась новым арбитражно-институциональным субъектом – конвентом, который, в отличие от «наджа» государства в патернализме, обладает некими конструктивными функциями, дополняющими действующую в холонах систему институтов:

1) функция фиксации результатов переговоров и передача поставленных задач системам для их решения. Важно отметить, что системы получают уже готовое задание на исполнение, решая, не что нужно делать, а как это сделать лучше, поскольку системы находятся «вне» проблемной ситуации и обладают опытом выполнения определенных операций, создания каких-то продуктов, которые позволят удовлетворить потребности акторов;

2) конвент информирует ситуативные ассоциации о результатах решения задач в мире систем и отвечает за организацию обратной связи, необходимую для признания работ завершёнными или требующими доработки.

Основные принципы работы конвента кратко формулируются следующим образом [18]:

1) конвент исходит из признания сосуществования людей как величайшего блага человечества.

2) конвент соблюдает позицию нейтралитета: принимает во внимание позиции и ситуативных ассоциаций, и систем.

3) конвент действует оперативно, т.е. его деятельность разворачивается в темпе развития ситуаций.

4) конвент ориентируется на достижение консенсуса в переговорах.

Таким образом, несмотря на достаточно либеральные положения, ТИУ признает необходимость дополнительного субъекта (конвента) в процессах формирования МСЭО. Как на практике такой конвент будет трактовать МСЭО и возникающие при этом конфликты интересов – см. феномен «Verstehen».

Учитывая применение холонистического подхода – в теории интерсубъективного управления МСЭО и институты (не только ограничительная функция институтов, но и созидательное их назначение) рассматриваются лишь на мезоуровне, что несколько сужает область применения этой теории в исследованиях МСЭО.

V. Авторский подход к определению существенных факторов, влияющих на процессы формирования межсубъектных отношений в экономике

Экономика не мыслима в отрыве от людей и социума с его институциональными ограничениями, а также без учета актуального уровня технологического развития.

Рассмотрим синергетическое триединство и взаимовлияние, представленное на рис. 2.

Прокомментируем кратко триаду, представленную на рис. 2:

1) В триаду ресурсы не входят, так как механизмы определения их текущей цены и требуемого количества вырабатываются с учетом имеющихся узлов триады в рамках целей конкретной СЭС. Впрочем, вопросы влияния ресурсного обеспечения на узлы триады – тема отдельного исследования. Поэтому эти вопросы здесь рассматриваться не будут.

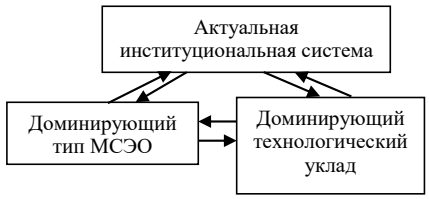


Рис. 2. Триада – институты-технологии-межсубъектные отношения в экономике – в синергетическом триединстве

2) Актуальные ожидания и предпочтения акторов формируют цели и мотивы последних на вступление в МСЭО для достижения акторами своих целей. При этом мотивы акторов являются, в том числе, движителями разработки новых технологий (в рамках ограничений, формируемых актуальной системы институтов). В этом смысле МСЭО могут более динамично видоизменяться и трансформироваться, чем система институтов, которая обладает некоторой инерционностью (про инерционность институтов в экономике см, например, [19, 20]). К тому же часть институтов имеют нормативно-регламентирующий характер: а практика показывает, что нормотворцы «торопятся медленно». Что же касается ресурсного обеспечения в рамках формирующихся МСЭО – то в процессе формирования МСЭО происходит определение их текущей стоимости (цена ресурсов в этом случае – продукт договоренностей в процессе формирования МСЭО) и их количества с учетом дефицита/избытка требуемых ресурсов.

3) Институты – нормы, по которым развиваются МСЭО, но, если эти нормы мешают реализации мотивов ЭА, то формируются новые виды МСЭО (с целью удовлетворения текущих мотивов ЭА), которые способствуют трансформации институтов с целью включения в них этих новых видов МСЭО (примером мотивов такой институциональной трансформации могут служить текущие нефтяные конфликты на Ближнем Востоке и в Венесуэле, являющиеся, в том числе, образчиком формирования новых макроэкономических МСЭО в этих регионах). Институты также можно использовать в решении проблемы дефицита (избытка) и общественно «справедливой» цены ресурсов (например, за счет таможенных пошлин). Так, в обществе формируются «правила» распределения и использования дефицитных (избыточных) ресурсов (например, путем внедрения соответствующей таможенной политики).

4) Технологии (проблему ресурсных ограничений можно разрешить путем внедрения ресурсозаменяющих или ресурсосберегающих технологий, хотя этот тезис мало применим к социальным ресурсам) также развиваются внутри ограничений МСЭО (в рамках целеполагания акторов-участников МСЭО, определяемого гетерогенностью и гетероморфностью ожиданий и предпочтений акторов) и существующей системы институциональных ограничений. При этом технологии могут не только являться средством достижения системных целей СЭС и целей акторов-участников МСЭО, но и мотивом формирования новых видов МСЭО. Если, например, существующие технологии не удовлетворяют по содержанию требованиям акторов-участников сделки – в рамках самой сделки осуществляется разработка новых технологий, соответствующих специфике сделки и ее целям. Но иногда новые технологии (см., например, обсуждение проблем внедрения блокчейн-технологий в [21]) требуют трансформации, как МСЭО, так и актуальной институциональной системы.

Поэтому все узлы этой триады (см. рис. 2) синергетически воздействуют друг на друга, итерационно-рефлексивно взаимно развивая и наполняя друг друга новым актуальным содержанием с учетом гетерогенности и гетероморфности ожиданий и предпочтений акторов (см. комментарии к рис. 1). По мнению автора, именно это синергетическое триединство в его эволюции является важным движителем экономических процессов.

При этом авторский подход (в отличие от патернализма или ТИУ) не накладывает ограничений на область его применения (макро-, мезо- или микроуровень в экономике). Кроме того, авторский подход (в отличие от подходов, рассмотренных выше) утверждает существенность влияния гетерогенности и гетероморфности ожиданий и предпочтений акторов, а также текущего доминирующего технологического уклада на процессы формирования МСЭО.

VI. Заключение

Как утверждается в [7, с. 12]: вырисовывается основополагающая для разрабатываемой теории концепция актора – человека, который, в отличие от субъекта гносеологии, не только познаёт мир, но и творит его.

В рамках этой концепции представляется важной резюмирующая фиксация существенных факторов, влияющих на механизмы формирования МСЭО. Среди них следует выделить следующие: гетерогенность и гетероморфность ожиданий и предпочтений акторов, текущий доминирующий технологический уклад и актуальную институциональную систему, которые не только выполняют функцию ограничений на этапе

формирования МСЭО, но и способствуют эволюции в экономических процессах.

В отличие от патернализма и ТИУ авторский подход не требует учета прямого влияния на МСЭО конвента или государственного «наджа», механизмы воздействий на МСЭО которых описаны выше. Это – достаточно релевантная гипотеза, учитывая, что сейчас, когда проходят процессы перехода от однополярного мира к многополярному (см., например, [22-24]), сопровождающиеся многочисленными столкновениями экономических интересов, вместо международных институтов, таких, например, как Совбез ООН особую актуальность приобретают конкретные межсубъектные отношения (например, в рамках БРИКС). Впрочем, для исключения такого отдельного института, контролирующего исполнение акторами положений действующей институциональной системы, как, например, описанные выше конвент или государственный «надж» из актуальной институциональной системы потребуются дополнительные исследования.

Подобные исследования необходимы, хотя бы потому, что в некоторых работах (см., в том числе, [25]) отмечено конструктивное влияние девиантности и оппортунизма акторов на процессы трансформации действующей институциональной системы (в том числе в части необходимости создания системы мониторинга и контроля исполнения существующих институтов).

Представленная работа носит проблемный характер, направлена на развёртывание научной дискуссии и предполагает дальнейшие исследования и апробацию результатов исследований по заявленной тематике.

Список литературы

[1] Heckman J. J. Micro data, heterogeneity, and the evaluation of public policy: Nobel lecture // Journal of Political Economy. 2001, no. 109. - P. 673-748.

[2] Pennings J.M.E., Gracia P., Irwin S.H. Heterogeneity in economic behavior. 2005 (http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.555.3246&rep=rep1&type=pdf).

[3] Куссый М. Ю. Предпочтения и ожидания экономических агентов как генераторы случайностей в социально-экономических процессах (концепция) // Экономика и управление: теория и практика. Сборник научных трудов. 2018, т. 4, №2. - С. 96-104.

[4] Морен Э. Метод. Природа Природы. - М.: Прогресс-Традиция, 2005. - 464 с.

[5] Блауг М. Методология экономической науки, или Как экономисты объясняют. - М.: НП «Редакция журнала "Вопросы экономики"», 2004. - 416 с.

[6] Heilbroner R.L. Economics as universal science // Social Research, 1991, vol. 58, no. 2. - P. 457-474.

[7] Виттих В.А. Введение в теорию интерсубъективного управления. - Самара: Самарский НЦ РАН, 2013. - 64 с.

[8] Vittikh V.A. Heterogeneous Actor and Everyday Life as Key Concepts of Evergetics / Group Decision and Negotiation. 2014 (https://link.springer.com/article/10.1007/s10726-014-9423-5).

[9] Paternalism // Stanford encyclopedia of philosophy. 2009 (http://plato.stanford.edu/archives/sum2009/entries/paternalism/#1).

[10] Капелюшников Р.И. Поведенческая экономика и новый патернализм: препринт \WP3/2013/03. - М.: Изд. дом Высшей школы экономики,. - 76 с.

[11] Saint-Paul J. The Tyranny of utility: behavioral social science and the role of paternalism. - Princeton: Princeton University Press, 2011. - 176 p.

[12] Sunstein C., Thaler R. Libertarian Paternalism // American Economic Review. 2003, vol. 93, no. 2. - P. 175-179.

[13] Thaler R.H., Sunstein C.R. Nudge: Improving Decisions about Health, Wealth and Happiness. - New Haven and London: Yale University Press, 2008. - 293 p.

[14] Гетеродоксия versus экономический редукционизм: микро-, мезо-, макро-: Сборник трудов / Отв. ред. С.Г. Кирдина-Чэндлер, В.И. Маевский. - М.: ИЭ РАН. 2018. - 291 с.

[15] Виттих В.А. Интерсубъективные системы как объекты постнеклассической науки // Мехатроника, автоматизация, управление. 2012, № 1, - С. 53-55.

[16] Виттих В.А. Организация сложных систем. - Самара: Самарский НЦ РАН, 2010. - 66 с.

[17] Акофф Р.Л. За пределами социализма и капитализма: развивающееся общество // Проблемы управления в социальных системах. 2009, том 1, выпуск 1. - С. 112-140.

[18] Виттих В.А., Моисеева Т.В. Интерсубъективное управление: от теории к практике // Проблемы управления и моделирования в сложных системах: Труды XVII Международной конференции (22-25 июня 2015 г., Самара, Россия). - Самара: Самарский НЦ РАН, 2015. - С. 53-62 (http://csl.isc.irk.ru/BD/Books/PUMSS_2015.pdf).

[19] Журавский М.Ю. О воздействии экономического времени на инвестиционную инерцию // Вестник Томского ГУ. 2006, № 292. - С. 322-327.

[20] Сиднина В.Л. Инерционность как свойство экономической системы: дис. ... д-ра экон. наук : 08.00.01. - Энгельс, 2002 (http://www.dslib.net/econom-teoria/inercionnost-kak-svojstvo-jekonomicheskoj-sistemy.html).

[21] Kussy M.Yu., Pobirchenko V.V., Shutaieva E.A., Kakutich Ye.Yu. Blockchain technologies as a stimulator of institutional transformations of the world financial system // International Journal of Engineering & Technology (UAE). 2018, vol. 7, no. 3.14. - P.354-359.

[22] Калюжный В.Г. Многополярный мир: реальность и перспективы // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: История. Политология. 2010, №7 (78). (https://cyberleninka.ru/article/n/mnogopolyarnyy-mir-realnost-i-perspektivy).

[23] Краснянский Д.Е. Россия в системе многополярного мира // Научный вестник МГТУ ГА. 2015, № 215 (https://cyberleninka.ru/article/n/rossiya-v-sisteme-mnogopolyarnogo-mira).

[24] Романова А.Ю. К вопросу об основных условиях смены миропорядка // Общественные науки: вопросы и тенденции развития: Сборник научных трудов по итогам международной научно-практической конференции (06 ноября 2014 г., Красноярск, Россия). - Красноярск, 2014. - С. 25-26.

[25] Барбашин М.Ю. Теория институционального распада: концептуальный потенциал и методологические рамки // Journal of Institutional Studies. 2016, т. 8, № 1. - С. 36-53.

Моделирование инновационного влияния опорного университета на региональную экономику

Лившиц М.Ю.
Самарский государственный технический университет
Самара, Россия
usat@samgtu.ru

Цапенко М.В.
Самарский национальный исследовательский университет им. академика С.П. Королева (Самарский университет), Институт проблем управления сложными системами РАН
Самара, Россия
tsapenko@ssau.ru

Франк Е.В.
Самарский государственный технический университет
Самара, Россия
evgeny-frank@mail.ru

Тупоносова Е.П.
Самарский государственный технический университет
Самара, Россия
tuponosova.ep@mail.ru

***Abstract* — The article deals with the modeling of the impact of the University innovative activity results on the regional economic system. A widespread class of social-economic system analysis models – production functions was chosen as a constructive mathematical model to assess the degree of influence of the educational organization innovative activity results on the regional economy.**

A two-level system-based model describing the processes of innovative interaction between the regional basic University and the innovative infrastructure of the Russian Federation territorial entity is proposed. The parameters and characteristics of this model are analyzed on the example of interaction of Samara state technical University and the Samara region economic system.

Ключевые слова — инновационный потенциал, университет, региональная экономика, производственная функция, эластичность

I. Введение

В статье рассмотрены результаты моделирования влияния инновационной деятельности университета на региональную экономическую систему. В качестве конструктивных математических моделей, позволяющих оценить степень влияния результатов инновационной деятельности образовательной организации на экономику региона, выбран широко распространённый класс моделей анализа социально-экономических систем – производственные функции.

Предложена двухуровневая системная модель «Университет – Регион», описывающая процессы инновационного взаимодействия между региональным опорным университетом и инновационной инфраструктурой субъекта РФ.

Параметры и характеристики этой модели проанализированы на примере взаимодействия Самарского государственного технического университета (далее по тексту – СамГТУ) с экономической системой Самарской области.

II. Двухуровневая системная модель

Сконструируем двухуровневую системную модель, позволяющую провести конструктивную оценку инновационного влияния результатов деятельности университета на региональную экономику. В основу модельных конструкций положим экономико-математические модели в классе производственных функций (далее по тексту – ПФ) [1 – 3]. Построение этой системной модели включает следующие этапы:

- выбор конкретного вида ПФ;
- определение состава входных и выходных характеристик модели;
- сбор и обработка исходной статистической информации;
- идентификация параметров ПФ;
- оценка качества модельных решений;
- содержательная интерпретация полученных решений.

Реализуем эти этапы исследования.

В качестве основной ПФ системной модели выберем неоднородную мультипликативную ПФ Кобба-Дугласа:

$$Y(t) = A \cdot K(t)^{\alpha} \cdot L(t)^{\beta}, \ \alpha + \beta \neq 1, \qquad (1)$$

где:

Y – выходная характеристика исследуемой системы, определяющая результат её деятельности;

A – масштабный коэффициент;

K – затраты капитальных ресурсов;

L – затраты трудовых ресурсов;

α – параметр эластичности использования капитальных ресурсов;

β – параметр эластичности использования трудовых ресурсов.

Далее ПФ вида (1) будем называть базовой ПФ системной модели.

Все модельные расчёты будем делать как для базовой ПФ, так и для базовой ПФ с учётом влияния научно-технического прогресса (далее по тексту – НТП) в двух

©2019 ИПУСС РАН, СамГТУ, IEEE

вариантах исходной статистики – по сглаженным и несглаженным данным.

Базовая ПФ с учётом влияния НТП имеет вид:

$$Y(t) = A \cdot K(t)^{\alpha} \cdot L(t)^{\beta} \cdot e^{\tau \cdot t}, \ \alpha + \beta \neq 1, \qquad (2)$$

где $e^{\tau \cdot t}$ – экзогенный фактор, определяющий влияние НТП.

Обоснование применимости моделей в классе ПФ при моделировании деятельности образовательной организации и региональной экономики, а также алгоритм идентификации параметров и процедуры оценки качества модельных решений представлены в работах [4 – 7].

III. Входные и выходные характеристики модели

Определим входные и выходные характеристики модели. В качестве входных характеристик модели университета, в соответствии с идеологией двухфакторных ПФ Кобба-Дугласа, возьмём затраты двух базовых *ресурсов*:

- капитальных – затраты на НИОКР и повышение квалификации представителей бизнес-сообщества, включающих бюджет научно-исследовательской части (далее по тексту – НИЧ) и института дополнительного образования университета – K, млн руб.;
- трудовых – численность работников, докторантов и аспирантов, участвовавших в выполнении научных исследований и разработок (далее по тексту – НИОКР), а также в программах повышения квалификации представителей бизнес-сообщества – L, чел.;

Выходными характеристиками модели университета определим:

- количество студентов, участвующих в НИОКР – S, чел.;
- общее число научных публикаций – P, шт.;
- выполнение научно-исследовательских работ (далее по тексту – НИР) по грантам – G, ед.;
- генерация объектов интеллектуальной собственности (патенты) – I, ед.;
- количество технологических и индустриальных партнеров – T, ед.;
- количество защищенных диссертаций сотрудниками университета (с учётом присвоенных учёных званий) – D, ед.;
- количество выпускников программ повышения квалификаций – Q, ед.;
- количество подразделений, занимающихся научной и инновационной деятельностью – C, ед.

Предположим, что эти характеристики университета определяют его инновационный потенциал, который, в свою очередь, оказывает влияние на инновационную систему региональной экономики.

Исходя из сформулированной гипотезы, положим, что выходные характеристики университета – *факторы* – являются входными *ресурсами* региональной экономики, определяющими инновационный аспект взаимодействия.

В качестве выходных характеристик инновационной подсистемы региональной экономики – *факторов* – определим:

- объём инновационных товаров, работ и услуг – Y1, млн руб.;
- используемые передовые производственные технологии – Y2, ед.;
- затраты на технологические инновации – Y3, млн руб.;
- затраты на научные исследования и разработки – Y4, млн руб.;
- генерация объектов интеллектуальной собственности (патенты) – Y5, ед.;
- затраты на информационные и коммуникационные технологии – Y6, млн. руб.;
- инвестиции в основной капитал – Y7, млн. руб.;
- количество организаций, выполняющие научные исследования и разработки – Y8, ед.

С учётом выбранных характеристик (*ресурсов* и *факторов*) двухуровневая системная модель оценки инновационного влияния университета на региональную экономику имеет следующий функциональный вид – рис. 1.

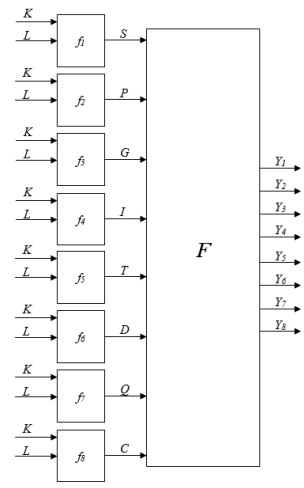


Рис. 1. Функциональный вид двухуровневой системной модели

Как видно из функционального представления модели (рис. 1) влияние университета на инновационную подсистему региональной экономики оценивается по восьми двухфакторным ПФ $f_1 – f_8$, в свою очередь результирующие показатели инновационной подсистемы региональной экономики F моделируются на основе восьми восьмифакторных ПФ с выходными характеристиками $Y_1 – Y_8$.

IV. Исходные данные

Для 18 входных и выходных характеристик (*ресурсов* и *факторов*) двухуровневой системной модели была собрана и обработана исходная статистическая информация по данным регионального опорного университета (СамГТУ) [8] и Территориального органа Федеральной службы государственной статистики по Самарской области [9] на интервале с 2001 по 2017 гг. Исходная статистическая информация была обработана – сглажена методом скользящего среднего.

В качестве примера покажем динамику двух входных характеристик (*ресурсов*) ПФ университета $f_1 – f_8$: K, млн руб. и L, чел. в период с 2001 по 2017 гг. – рис. 2, 3.

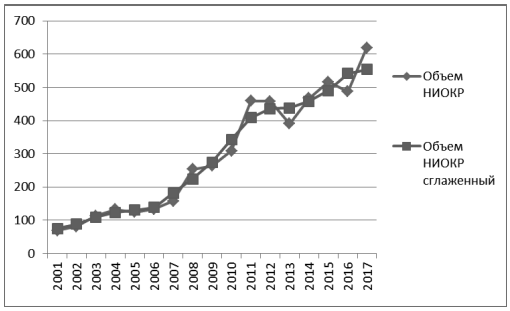


Рис. 2. Затраты на НИОКР и повышение квалификации представителей бизнес-сообщества, включающих бюджет НИЧ и института дополнительного образования СамГТУ (K, млн руб.)

Как видно из данных, представленных на графиках рис. 2, затраты на НИОКР в университете росли до 2011 года, далее с 2012 года тенденция роста сменяется тенденцией спада до 2013 года.

В 2017 году значение анализируемого показателя вырастает на 32.7% относительно 2014 года. В целом за исследуемый период затраты на НИОКР увеличились в 8.9 раза – с 69.2 млн руб. в 2001 году до 619.3 млн руб. в 2017 году, спад анализируемого показателя в 2013 году составил около 15% – с 457.9 млн руб. в 2012 году до 390.3 млн руб. в 2013 году.

На графиках, показанных на рис. 3, представлены данные по динамике трудовых ресурсов университета.

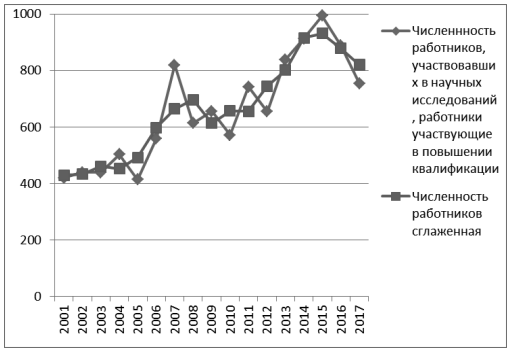


Рис. 3. Численность работников, докторантов и аспирантов, участвовавших в выполнении научных исследований и разработок, а также в программах повышения квалификации представителей бизнес-сообщества (L, чел.)

Как видно из графиков, показанных на рис. 3, численность работников, докторантов и аспирантов, участвовавших в выполнении научных исследований и разработок в университете выросла на интервале с 2001 до 2007 гг. на 95%. В период с 2007 по 2010 гг. наблюдается локальный спад на 30%. В 2017 году значение этого показателя стало в 1.8 раза больше чем в 2001 году.

Аналогичным образом обрабатывались и анализировались статистические данные по остальным 16 характеристикам (*ресурсам* и *факторам*) двухуровневой системной модели.

V. Анализ модельных решений

На основе собранной и обработанной статистической информации были идентифицированы параметры системной модели на основе базовой ПФ вида (1) и базовой ПФ с учётом влияния НТП вида (2) в вариантах исходных и сглаженных статистических данных для каждого вида ПФ.

Таким образом, были найдены параметры 32 ПФ университета и 32 ПФ региональной экономики.

Идентификация параметров ПФ проводилась на основе метода наименьших квадратов [10], оценка качества модельных решений была реализована методами математической статистики [11].

Выборочно приведём результаты моделирования на основе ПФ для модели университета.

В таблицах I, II представлены результаты идентификации параметров ПФ и оценки качества модельных решений:

- параметры эластичности: α – для ресурса K; β – для ресурса L; τ – для НТП;

- DW – статистика Дарбина-Уотсона – характеристика прогностических качеств модели;

- R^2 – коэффициент детерминации – характеристика аппроксимативных свойств модели;

- F-статистика Фишера – определение значимости коэффициента детерминации.

Проанализируем результаты моделирования по выходной характеристике (*фактору*) университета – количество студентов, участвующих в НИОКР – S.

Параметры моделей по несглаженным данным в вариантах неоднородной ПФ Кобба-Дугласа вида (1) и неоднородной ПФ Кобба-Дугласа с учётом влияния НТП вида (2) представлены в таблице I.

ТАБЛИЦА I. Параметры моделей и оценки качества (несглаженные данные)

Параметры модели	Без учёта НТП	С учётом НТП
α	-0.0557	-0.7329
β	0.9981	-0.0531
τ	--	0.1523
DW	0.3157	1.8446
R^2	0.6252	0.8297
F	11.6757	21.1104

Как видно из данных, представленных в таблице I, в процессе подготовки студентов, участвующих в НИОКР, наибольшую эластичность имеют трудовые ресурсы. Полученное модельное решение показывает большую эффективность использования этого ресурса и как следствие его больший вклад в инновационный потенциал университета в разрезе образовательной деятельности. Содержательно полученные результаты определяет ведущую роль научного руководства студентами в процессах НИОКР.

При введении в модель фактора НТП наблюдается отрицательная эффективность использования ресурсов.

Результаты моделирования показаны на графиках, представленных на рис. 4, 5.

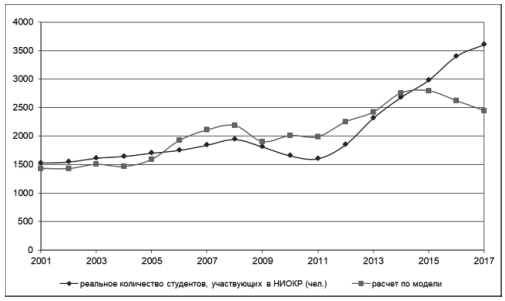


Рис. 4. Результаты моделирования на основе базовой ПФ вида (1)

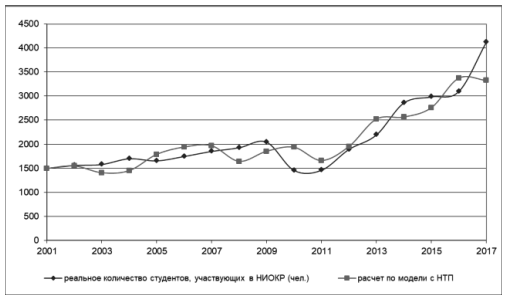


Рис. 5. Результаты моделирования на основе базовой ПФ вида (2) с учётом влияния НТП

Как видно из графиков, показанных на рис. 4, 5 и приведенных в таблице I, модель без учёта влияния НТП имеет худшие аппроксимативные свойства: R^2=0.63 и слабые прогностические характеристики: DW=0.32. Учёт влияния НТП в структуре модели улучшает качество модельных решений: R^2=0.83, DW=1.90.

Выборочно приведём результаты моделирования на основе ПФ для региональной экономики.

В таблице II представлены результаты идентификации параметров ПФ и оценки качества модельных решений.

Так как в базовой ПФ модели региональной экономики восемь входных характеристик – *ресурсов*, то исходная мультипликативная ПФ для моделей области будет иметь вид:

$$Y = A \cdot S^{\alpha} \cdot P^{\beta} \cdot G^{\gamma} \cdot I^{\delta} \cdot T^{\varepsilon} \cdot D^{\eta} \cdot Q^{\lambda} \cdot C^{\theta}, \qquad (3)$$

а функция с учётом влияния НТП примет вид:

$$Y = A \cdot S^{\alpha} \cdot P^{\beta} \cdot G^{\gamma} \cdot I^{\delta} \cdot T^{\varepsilon} \cdot D^{\eta} \cdot Q^{\lambda} \cdot C^{\theta} \cdot e^{\zeta t}. \qquad (4)$$

Структура параметров оценки качества модельных решений аналогичны модели университета.

Проанализируем результаты моделирования по выходной характеристике (*фактору*) региональной экономики – объём инновационных товаров, работ и услуг – Y_1.

Параметры моделей по несглаженным данным в вариантах неоднородной ПФ (3) и неоднородной ПФ с учётом влияния НТП (4) представлены в таблице II.

ТАБЛИЦА II. ПАРАМЕТРЫ МОДЕЛЕЙ И ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА (НЕСГЛАЖЕННЫЕ ДАННЫЕ)

Параметры модели	Без учёта НТП	С учётом НТП
α	0.46057	-0.73059
β	0.49328	-0.12672
γ	1.00100	1.06676
δ	-0.01976	0.10962
ε	-2.40008	-3.74717
η	5.00869	3.57046
λ	0.27926	0.12892
θ	0.83960	1.85137
ζ	--	0.21315
DW	2.30156	2.76933
R^2	0.71884	0.80553
F	2.55666	3.22172

Результаты моделирования показаны на графиках, представленных на рис. 6, 7.

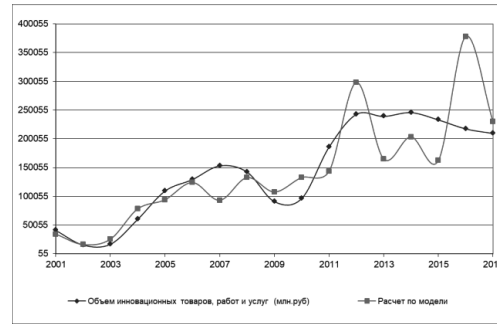


Рис. 6. Результаты моделирования на основе ПФ вида (3)

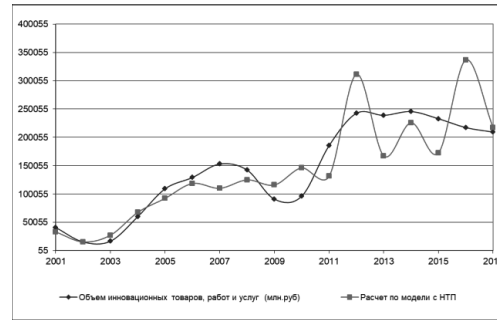


Рис. 7. Результаты моделирования на основе ПФ вида (4) с учётом влияния НТП

Как видно из данных, представленных в таблице II, в модели без учёта влияния НТП наибольшую эффективность имеют два ресурса – число защищённых диссертаций – D (эластичность η=5.01) и выполнение НИР по грантам – G (эластичность γ=1.00).

Следует отметить высокие аппроксимативные: R^2=0.81 и хорошие прогностические свойства: DW=2.77 этих моделей (здесь количественные оценки параметров качества приведены для ПФ с учётом влияния НТП).

Аналогичным образом были идентифицированы параметры и найдены оценки качества для остальных 60 ПФ двухуровневой системной модели.

VI. Заключение

В результате проведённого исследования были получены модельные решения, описывающие процессы инновационного взаимодействия и позволяющие оценить степень влияния результатов деятельности опорного университета на региональную экономику. Степень этого влияния определяется значениями параметров эластичностей соответствующих *ресурсов* и *факторов* в двухуровневой системной модели «Университет – Регион».

При конструировании системной модели были выбраны конкретные виды ПФ, определён состав входных и выходных характеристик модели, собрана и обработана исходная статистическая информация, реализован алгоритм идентификации параметров ПФ методом наименьших квадратов, проведена оценка качества модельных решений, дана содержательная интерпретация полученных результатов.

Модельные решения позволили количественно идентифицированы взаимосвязи между *ресурсами* и *факторами*, определяющими инновационный потенциал.

Базовыми *ресурсами* университета были определены – капитальные и трудовые. Эти ресурсы обеспечивают эффективную реализацию восьми *факторов* инновационного потенциала университета. Количественные оценки степени их влияния на региональную экономику были найдены на основе модельных решений.

В свою очередь *факторы* инновационного потенциала университета являются *ресурсами* для формирования базовых *факторов* инновационного потенциала региона. В системную модель включено восемь этих факторов. Степень их влияния, также, количественно определена на основе модельных решений.

Полученные результаты являются основой для конструирования системы управления инновационным потенциалом в двухуровневой системе «Университет – Регион» и нахождения интегральных обобщенных оценок инновационных потенциалов на каждом из уровней.

Список литературы

[1] Клейнер Г.Б. Производственные функции: теория, методы, применение. – М.: Финансы и статистика, 1986. – 239 с.

[2] Воронкова О.В., Иванилов Ю.П., Колдаева И.Т. Некоторые вопросы теории и использования производственных функций. – М.: ВЦ АН СССР, 1988. – 65 с.

[3] Иванилов Ю.П., Положишников В.Б., Рассадин В.Н. Производственная народнохозяйственная функция. – М.: ВЦ АН СССР, 1983. – 68 с.

[4] Заслонко О.К. Производственная функция общего образования // Экономические науки, №1(74), 2011. 383-387 с.

[5] Pritchett L., Filmer D. (1999), «What education production functions really show: a positive theory of education expenditures», Economics of Education Review, 18, pp. 223–239.

[6] Hodas S. (1993), «Is Water an Input to a Fish? Problems with Production Functions Model in Education» // Education Policy Analysis Archives, 1, 12.

[7] Дилигенский Н.В., Цапенко М.В. Математическое моделирование и обобщённое оценивание эффективности производственно-экономических систем // РАН, СНЦ РАН, ИПУСС Труды VI Международной конференции «Проблемы управления и моделирования в сложных системах». – Самара: СНЦ РАН, 2004. – с. 96–106.

[8] Официальный сайт Самарского государственного технического университета «Самарский Политех, Опорный университет» [Электронный ресурс]. [Режим доступа: https://samgtu.ru/admission].

[9] Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Самарской области [Электронный ресурс]. [Режим доступа: http://samarastat.gks.ru].

[10] Цапенко М.В. Статистическая идентификация макроэкономических характеристик промышленных комплексов // Вестник Самарского Государственного технического университета (научный журнал). Выпуск № 13 – 2001. Серия – «Технические науки». Самара 2001 г. – с. 186–194.

[11] Дилигенский Н.В., Гаврилова А.А., Цапенко М.В. Методы моделирования и управления производственно-экономическими объектами // Методы моделирования и управления производственно-экономическими объектами: учеб. пособие / Н.В. Дилигенский, А.А. Гаврилова, М.В. Цапенко. – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2010. – 136 с.

Сравнительный анализ методов ликвидации накопленного экологического ущерба с учетом правовых и организационных особенностей процесса

Мартыненко Е.Г.
ФГБОУ ВО «СамГТУ»
Самара, Россия
lena030191@yandex.ru

Тупицына О.В.
ФГБОУ ВО «СамГТУ»
Самара, Россия
olgatupicyna@yandex.ru

Смордин Д.В.
ФГБОУ ВО «СамГТУ»
Самара, Россия

Останков Н.А.
ФГБОУ ВО «СамГТУ»
Самара, Россия

***Abstract* — The concept of "object of accumulated environmental damage" in the environmental legal framework of the Russian Federation as a whole is interpreted as violated territories formed as a result of past economic activity, as well as waste disposal facilities and other objects on which activities under the management of the organization were carried out in the past, and on which there were wastes that negatively affect the natural environment. Liquidation of such objects requires a preliminary detailed study to assess their condition and determine the necessary methods and methods of liquidation. Taking into account the change of owners of enterprises, transformation of AED facilities, as well as changes in environmental legislation, the elimination of such facilities is impossible without a well-structured algorithm of decision-making and management of this process. Typically, the particular process is a technology-based manufacturing operations. Thus, the elimination of AED is a complete controlled process.**

Taking into account the different genesis of objects of AED, the paper proposes approaches to their step-by-step assessment, classification and identification. In most cases, the objects of accumulated environmental damage are a complex system of interrelated elements - man-made education and environmental components. Thus, the choice and use of technologies for the elimination of objects of AED is very difficult.

The algorithm of actions and decision-making on the elimination of AED objects is based on the program-target method (PTM). PTM involves the development of an action plan and the implementation of interrelated policy measures aimed at achieving the goal, aimed at eliminating, suppressing, mitigating the problem.

In this paper, a number of AED objects are considered, their classification is proposed, as well as a list and analysis of methods of their elimination for each of the selected characteristic groups. Examines the legal and organizational peculiarities of liquidation of the objects of the AED.

Ключевые слова — накопленный экологический ущерб, оценка состояния, ликвидация негативного исторического наследия, рекультивация..

I. Введение

Ликвидация накопленного экологического ущерба (НЭУ) является одной из наиболее актуальных проблем в области охраны окружающей среды. В своём представлении НЭУ является откликом прошлой хозяйственной деятельности предприятий в отдельности и страны в целом. С учетом смены собственников предприятий, трансформации объектов НЭУ, а также изменения природоохранной законодательной базы, ликвидация подобных объектов невозможна без четко выстроенного алгоритма принятия решений и управления данным процессом [1-2].

Известно, что объекты НЭУ могут быть представлены загрязненными территориями, в том числе бесхозяйными территориями, образовавшиеся в результате прошлой хозяйственной деятельности. Помимо прочего объектами НЭУ выступают объекты размещения отходов, бесхозные объекты капитального строительства, загрязненные земельные участки, вокруг которых сформировалось загрязнение или, которые, сами являются загрязненными и негативно влияют на природную среду [1-3]

Таки образом, учитывая различный генезис объектов НЭУ, необходима разработка подходов к их поэтапной оценке, классификации и идентификации. На первом этапе оценки определяется набор необходимых средств для исследования объектов НЭУ. Последующие этапы дают возможность полностью оценить современное состояние объекта. В результате выявленные особенности позволят определить методы и способы ликвидации объектов НЭУ и полностью управлять данным процессом. Техническая реализация процесса ликвидации объектом НЭУ в обязательном порядке сопряжена с его и правовыми особенностями.

II. Этапы системы идентификации, классификации и оценки состояния объектов НЭУ

Система государственного регулирования в сфере промышленной политики охраны окружающей среды сложилась в нашей стране в конце XX века под воздействием многократных перераспределений природоохранных функций государственного регулирования СССР. Она имела черты командно-административного координирования и характеризовалась неполнотой и раздробленностью системы сбора, хранения, обработки и анализа данных о состоянии промышленности и окружающей среды. В результате не могли быть решены многие управленческие задачи, связанные с развитием промышленности, проведением природоохранных мероприятий и предупреждением ухудшения качества окружающей среды.

©2019 ИПУСС РАН, СамГТУ, IEEE

В годы становления плановой государственной экономики страны основной упор делался на наращивание мощностей по добыче полезных ископаемых, обработке сырья и выпуску конечной продукции. Вопросам экологии практически не уделялось должного внимания. Основной причиной сложившегося подхода являлось отсутствие нормативно-правовой базы в сфере взаимодействия промышленности и окружающей среды.

С появлением главного нормативно-правового акта в области охраны окружающей среды [3], регулирование антропогенного воздействия на окружающую природную среду, возникшего в результате производственной, хозяйственной и иной деятельности стало более конкретизированным. Поправки в настоящий Федеральный закон вносятся регулярно, что, соответственно, сопровождается ужесточением требований природопользования для юридических лиц. Последние из поправок, вносимые в [3], были сопряжены с необходимостью выявления, обследования и ликвидации объектов накопленного экологического вреда. Незадолго до внесения данных поправок в соответствии с пунктом 3 протокола совещания у Председателя Правительства Российской Федерации Д.А.Медведева от 9 января 2013 г. № ДМ-П9-2пр Министерством природных ресурсов и экологии Российской Федерации была разработана федеральная целевая программа «Ликвидация накопленного экологического ущерба» (далее ФЦП) на период 2014 – 2025 годов [4]. Основной задачей ФЦП является экологическая реабилитация нарушенных территорий.

Принцип локализации объектов НУЭ на территории Российской Федерации напрямую зависит от территориального распределения крупных градопромышленных агломераций и промышленного комплекса страны, сопряженных с географическими и природоресурсными особенностями размещения добывающей, обрабатывающей и перерабатывающей промышленности. Идентификация объектов НЭУ проводится в соответствии с требованиями [3], которая основывается на оценке таких важных критериев, как:

- объем (масса) загрязняющих веществ, отходов и их классов опасности;

- площадь территорий и акваторий, на которых расположен НЭУ, категории и видов разрешенного использования земель;

- уровень и объем негативного воздействия на окружающую среду, включая способность загрязняющих веществ к миграции в иные компоненты природной среды, возможность загрязнения водных объектов, возможность возникновения экологических рисков;

- наличие на НЭУ опасных веществ, указанных в международных договорах, стороной которых является Российская Федерация;

- количества населения, проживающего на территории, окружающая среда на которой испытывает негативное воздействие вследствие расположения объекта накопленного вреда окружающей среде;

- количество населения, проживающего на территории, окружающая среда на которой находится под угрозой негативного воздействия вследствие расположения объекта НЭУ.

Путем суммирования результатов, полученных при оценке выше представленных критериев формируется общее представление о влиянии объекта НЭУ на состояние экологической безопасности.

В соответствии с [4] выделяю следующие виды объектов НЭУ образованных на территории Российской Федерации:

- территории, нарушенные в результате прошлой хозяйственной деятельности добывающей и горно-обогатительной промышленности;

- территории, нарушенные нефтесодержащими загрязнениями;

- территории, нарушенные в результате хозяйственной деятельности обрабатывающей (прежде всего, химической) промышленности;

- территорий крупнейших полигонов твердых бытовых отходов, а такте мест несанкционированного размещения отходов;

- территории, нарушенные в связи с прошлой хозяйственной деятельностью в Арктической зоне Российской Федерации и на прибрежных территориях;

- территории, нарушенные в результате доконвенциального уничтожения химического оружия.

Каждый вид объекта НУЭ имеет принципиальные отличия по условиям генезиса, конфигурации, степени опасности, места расположения. Яркими представителями объектов НЭУ, сформированных на территории Самарской области, являются территория бывших химических производств (см. рис. 1), места несанкционированного размещения промышленных и коммунальных отходов (см. рис. 2 - 3).

Отдельными видами объектов НЭУ необходимо выделить объекты размещения нефтесодержащих отходов (далее ОРНО) предприятий нефтегазового комплекса (см. рис. 4). Данные объекты изначально были сформированы в период активной разработке и эксплуатации нефтяных месторождений Самарской области, 50-70 гг. прошлого столетия. Подобные ОРНО были образованы в следствии реорганизации производств, смены собственника и их элементарного упущения из вида подобных объектов при инвентаризации.

Очевидно, что выше перечисленные объекты НЭУ имеют огромный разнородный спектр характеристик. В связи с этим подход к методам ликвидации каждого объекта НЭУ должен быть индивидуальным, охватывающий комплексное решение поставленной задачи.

Рис. 1. Территория ОАО "Средне - Волжский завод химикатов"

Рис. 2. Территория в районе с. п. Рождествено, техногенно деградированная несанкционированным размещением спиртовой барды

Рис. 3. Территория несанционированного размещения твердых коммунальных отходов в районе с. п. Рождествено

Рис. 4. Накопитель застарелых нефтешламов

III. Анализ методов ликвидация объектов НЭУ

После идентификации объектов НЭУ необходимо подобрать метод или совокупность методов для их ликвидации. Как правило, ликвидация объекта НЭУ является сложной системой, учитывающей совокупность множества факторов: категорию земель и вида разрешенного использования на которых расположен объект, современное состояние объекта, учитывающее качественные и количественные показатели, масштаб и степень загрязнения, а также нарушенности экосистемы, наличие или отсутствие вблизи объект НЭУ жилой застройки, особо охраняемых природных территорий, зон санитарной охраны источников питьевого водоснабжения. Таким образом управлению данной системой, выбору того или иного метода предшествует создание алгоритма принятия верных решений. Данный алгоритм имеем общую структуру и включает в себя следующие этапы: подготовительный, исследовательский, технический, технологический, заключительный.

Подготовительный этап главным образом заключается в сборе и анализе имеющихся исходный данных, землеустроительной и разрешительной документации для объекта НЭУ. Как правило, для большинства объектов НЭУ значительная часть архивных материалов отсутствует по ряду причин. В связи с этим весьма проблематично установить первоначального собственника и исходное состояние объекта НЭУ. В качестве одной из главных проблем на первом этапе выступает установление соответствия территории объекта НЭУ имеющейся землеустроительной документации на земельный участок его расположения. В противном случае требуется выполнение межевания земельного участка, постановки на государственный кадастровый учет, перевод или установление категории и вида разрешенного использования земельного участка [5].

После сбора всех необходимых исходных данных осуществляется переход ко второму этапу - исследовательскому. В рамках оценки современного состояния объекта ликвидации на данном этапе выполняется ряд комплексных инженерных изысканий. Данные исследования включают в себя полевые, лабораторный и камеральные работы. Результатом второго этапа является сформированное общее представление о состоянии объекта НЭУ, которое является основой для выполнения технического этапа.

В зависимости от результатов, полученных при выполнении двух предшествующих этапов определяется набор методов по ликвидации объекта НЭУ на техническом этапе. Данный этап включает разработку, согласование и экспертную оценку технической и проектной документации (далее ПД). В отдельных случаях выполняется предпроектная проработка технических решений на вариативной основе. Проектные решения, заложенные в ПД отражают обоснованность и последовательность выполнения работ. В зависимости от вида и состояния объекта НУЭ его ликвидация может включать следующие методы: демонтаж конструкций, экскавацию техногенного образования с вывозом на сторонний специализированный объект или

обезвреживанием на месте, консервацию или рекультивацию нарушенной территории, берегоукрепление прилегающих водоемов, геоинженерную защиту и т.п.

Набор необходимых методов, используемых при ликвидации НЭУ, определяется исходя из необходимости, достаточности их применения, а также наличия соответствующих ресурсов и стоимости реализации проектных решений.

Например, при ликвидации НЭУ, представленного территорией, нарушенной нефтесодержащими загрязнениями можно применить несколько методов:

- обезвреживание техногенного образования на месте с последующей рекультивацией территории;

- экскавация техногенного образования, с последующей утилизацией на стороннем объекте, рекультивация территории;

- консервация территории.

На первый взгляд наиболее приоритетными выступают первые два метода. Однако, при оценке существующих условий применение данных методов невозможно, в связи с отсутствием корректной технологии или стороннего объекта в ареале рассматриваемой территории. В связи с этим наиболее рациональным выступает метод консервации нарушенной территории. Подобный подход применяется при оценке возможности ликвидации других объектов НЭУ.

Результатом данного этапа выступает получение согласования разработанной ПД в органах местного самоуправления, а также положительного заключения Государственной экологической экспертизы (далее ГЭЭ), что является основанием для правомочности выполнения технологического этапа по ликвидации объекта НЭУ. Фактическое выполнение ликвидационных работ должно проводится в строгом соответствии с ПД и заключением ГЭЭ.

На заключительном этапе формируется пакет документов, подтверждающих факт ликвидации объекта НУЭ.

IV. Заключение

Объекты НЭУ представляют собой экологическую опасность как для близ проживающего населения, так и для окружающей природной среды в целом. Ликвидация подобных объектов является сложным процессом, учитывающим правовые и организационный особенности. В связи с этим разработка комплексной системы ликвидации объектов НЭУ, основанной на алгоритме принятия верных решений, является весьма актуальной. Внедрение и применение данной системы в качестве основного "инструмента" позволит выявить основные правовые и организационные проблемы, комплексно оценить фактическое состояние объекта и степень его влияния на окружающую природною среду, а также определить метод или набор методов при ликвидации объектов НЭУ.

Список литературы

[1] Правовые и организационные проблемы рекультивации объектов накопленного вреда окружающей среде: Библиодосье.. -Москва: Управление библиотечных фондов (Парламентская библиотека), февраль 2017 - 46 с.

[2] Пинаев В.Е., Чернышёв Д.А. Ликвидация накопленного экологического ущерба - организационные и правовые аспекты. Монография – М.: Мир науки, 2017 - 136 с.

[3] Федеральный закон "Об охране окружающей среды" от 10.01.2002 N 7-ФЗ.

[4] Федеральная целевая программа «Ликвидация накопленного экологического ущерба» на период 2014 – 2025 годов.

[5] Федеральный закон "Земельный кодекс Российской Федерации" от 25.10.2001 N 136-ФЗ.

Основные проблемы управления проектами и моделирования строительства нефтяных и газовых скважин

Мирский А.В.
Федеральное бюджетное
государственное учреждение
высшего образования
«Самарский государственный
технический университет»
Самара, Россия
andrey.1020@mail.ru

***Abstract* — The article discusses the features of project management, their implementation, objectives and goals that must be considered when drawing up strategic planning at the enterprises of the oil and gas complex. Necessary solutions to the problems of modeling in the construction of wells in the process of engineering will ensure the design flexibility, improve the quality and efficiency of engineering and technological solutions. Creating a competent model takes a significant part of the time, so you need to understand the structure and organization of a long-term project implementation plan.**

Ключевые слова — управление проектом, моделирование, разработка механизмов, регулирование, инжиниринг, инновации, ресурсы, нефтегазовый комплекс

I. Введение

Нефтегазовый комплекс один из самых мощных и технологически оснащенных отраслей промышленности. Однако для существования такой системы необходим грамотный подход к решению управленческих задач на всех стадиях жизненного цикла объектов нефтегазовой отрасли, что и определяет актуальность данной работы [3].

Управление проектом представляет собой комплекс мероприятий по координации человеческих, финансовых, информационных и материальных ресурсов на протяжении всего проектного цикла, направленный на достижение целей проекта. Вся совокупность операций по реализации проекта происходит взаимосвязано во времени и пространстве. Обеспечение такой увязки операций является весьма сложной задачей.

В ходе управления проектами по строительству сложных, насыщенных коммуникациями и оборудованием технологических объектов возникает ряд проблем. Основная их часть связанна с ошибками, допущенными на этапе проектирования. Пересечение конструкций, несоответствие размеров объекта устанавливаемому оборудованию, наложение коммуникаций, недостаток пространства для перемещения грузоподъемной техники, препятствия для доступа обслуживающего персонала.

Успех в будущем требует инновационного подхода к решению текущих задач, что подразумевает оптимизацию существующих процессов и интеграцию в них современных технологий.

Внедрение инноваций часто снижает скорость реализации существующих проектов и откладывает на неопределённый срок начало новых. В то же время, альтернатива — отказ от нововведений — угрожает будущей рентабельности предприятия. Современное моделирование позволяет вносить изменения эффективно: анализировать, оптимизировать и экспериментировать в виртуальной среде, которая способна отразить каждую деталь ваших производственных процессов [4].

Повышение эффективности и качества строительства скважин в разных геолого-технических условиях, а, следовательно, и снижение стоимости строительства скважин остается важной научно-технической проблемой, имеющей большое народно-хозяйственное значение. Актуальность проблемы повышается в связи с разработкой новых нефтегазовых месторождений, залегающих на больших глубинах со сложными горно-геологическими условиями. Одной из важнейших составляющих проблемы повышения эффективности буровых работ является совершенствование процесса углубления скважины. Этой проблеме на протяжении более чем столетней истории вращательного бурения посвящено значительное количество научно-практических работ. В настоящее время актуальные задачи необходимо решать с помощью системно-аналитического подхода (САП), при котором более точно можно исследовать структуру и механизм функционирования объекта или процесса. До сих пор в бурении исследователи чаще всего интуитивно применяли основные принципы системного подхода (СП) при анализе и синтезе объектов и процессов при бурении скважин, что в явном виде, в основном, относилось к процессам управления роторным бурением.

Несмотря на значительные успехи, достигнутые в исследовании процесса разрушения горных пород, механизм разрушения остается дискуссионным, не полностью использованы возможности оптимизации формы породоразрушающей вершины зуба и взаимного расположения зубьев на шарошке.

В основу имеющихся имитационных моделей, позволяющих оценить кинематические и технологические характеристики долот, положены существенные допущения, в связи, с чем необходимы значительные уточнения этих моделей.

©2019 ИПУСС РАН, СамГТУ, IEEE

Требуется дополнительно исследовать влияние гидроимпульсного давления на работу буровых насосов и уточнить выражения для расчета технологически необходимых величин давления на выходе бурового насоса.

Отсутствует методологическая основа построения имитационных моделей характеристик серийных турбобуров и винтовых забойных двигателей (ВЗД), а имеющиеся упрощенные энергетические характеристики малоинформативны для практических расчетов и оптимизации режимов работы гидравлических забойных двигателей (ГЗД).

Практическая значимость исследования обусловлена тем, что до сих пор процесс углубления скважины не оптимизирован, не используются имеющиеся резервы совершенствования конструкций долот, механического привода, технико-технологических характеристик гидравлических забойных двигателей и режимов бурения.

Стоимость бурения скважин может достигать до 75% всех затрат на геологоразведку и добычу. Порой компания должна обеспечивать 6-10 долларов выручки для того, чтобы потратить 1 доллар на бурение скважин.

Опыт показывает, что технологии в одиночку не могут давать гарантий, что проекты в бурении будут выполнены за меньшие деньги и в меньшие сроки, чем было запланировано. Однако было выявлено, что интеграция технических навыков людей и бизнес-процессов использования технологий – ключ к успеху подобных проектов.

Большинство проектной деятельности может быть разбито на фазы (к примеру: определение, разработка, внедрение, анализ) и такие процессы могут изображаться на разных уровнях детализации и разными способами. Например, можно использовать программное обеспечение для изображения процесса и для создания блок-схемы всех рабочих фаз и точек принятия решений. Другой способ – это создание графика Гантта с помощью стандартных программ.

Но главным, все же, является определение целей проекта, оценка технических и коммерческих рисков и возможностей, инициация технических исследований. Важным также представляется определение момента внедрения технологий, которые бы наиболее соответствовали целям проекта и согласовывались с рисками компании.

Значительных улучшений можно добиться, повысив эффективность базовых операций: например, оптимизировав графики технического обслуживания и ремонта оборудования. Благодаря возможности прогнозировать и перераспределять работу, можно сократить время простоя, оптимизировать профилактическое обслуживание и увеличить объем буровых работ.

II. Задачи исследования

Для повышения рентабельности предприятия, эффективности внедрения инновационных методов на всех стадиях жизненного цикла объектов нефтегазовой отрасли, необходимо решить следующие задачи.

1. Создание новых (адаптация действующих) структур.

   а) создание, наряду с традиционными – как правило, функционально ориентированными (производство, планирование, финансирование, контроль, учет, кадры и др.) подразделениями компаний; новых – проектно-ориентированных структурных образований (проект А, проект Б и др.). Новые подразделения могут функционировать как на постоянной, так и на временной – проектной основе;

   б) создание специализированных компаний – профессиональных управляющих проектами, выполняющих функции проект-менеджера для заказчика; в данном случае под заказчиком подразумевается любой из участников проекта, «нанимающий» консультанта.

2. Разработка механизма функционирования.

Наиболее важным вопросом механизма функционирования проектно-ориентированных структур является их статус, т. е. мера ответственности за результаты своей деятельности. Возможны следующие варианты схем, определяющих статус новых структур управления проектом: «основная», «расширенное управление», «под ключ».

Каждая из этих схем имеет, как известно, определенную область применения и определяет меру делегирования заказчиком (инвестором) своих полномочий руководителю проекта (проект-менеджеру).

3. Подготовка кадров.

В связи с тем, что речь идет о создании новой для России системы подготовки профессиональных руководителей проектов всех уровней, следует рассматривать следующие направления работы: обучение в высших учебных заведениях, повышение квалификации, учет психологических аспектов кадрового обеспечения управления проектами.

Повышение квалификации/переподготовка специалистов. Целесообразно организовать целевую переподготовку дипломированных специалистов в специальных учебных центрах – при авторитетных консалтинговых фирмах или профильных высших учебных заведениях. В настоящее время всё большее количество учебных заведений переходит в проектную форму обучения, набирая опыт достойного развития. В этот же период должны быть подготовлены необходимые учебные программы и материалы.

Установлено, что эффективность обучения, в том числе переподготовки специалистов-практиков, значительно повышается, если обучающиеся с самого начала объединены в «команды» с конкретным распределением ролей – так, как делается на практике. С этой точки зрения, предприятия и организации выиграют, если будут и обучать своих работников не поодиночке, а группами, составленными из специалистов тех служб компании, которые в будущем будут управлять проектами.

Учет психологических аспектов кадрового обеспечения управления проектами. Имеется в виду необходимость организации квалифицированной

помощи специалистам, осваивающим проект-менеджмент, в адаптации к условиям работы в «командах», принципиально отличающихся от принятых в командно-административной системе.

4. Правовое регулирование.

В настоящее время действует ряд законодательных и нормативных актов, регламентирующих инвестиционную и, в целом, предпринимательскую деятельность в России. Специалистами признана необходимость разработки законодательных и нормативных документов, эффективно регламентирующих: закупки и поставки, сертификацию и лицензирование профессиональных руководителей проектов, охрану окружающей среды.

5. Финансирование проектов – один из видов инвестиционной деятельности, которая всегда является рисковой. Финансирование проекта должно осуществляться при соблюдении следующих условий:

−динамика инвестиций должна обеспечивать реализацию проекта в соответствии с временными и финансовыми ограничениями;

−снижение затрат финансовых средств и рисков проекта должно обеспечиваться за счет соответствующей структуры и источников финансирования и определенных организационных мер, в том числе: налоговых льгот, гарантий, разнообразных форм участия.

Финансирование проекта включает следующие основные стадии:

1) предварительное изучение жизнеспособности проекта (определение целесообразности проекта по затратам и планируемой прибыли);

2) разработку плана реализации проекта;

3) организацию финансирования, в том числе:

−оценку возможных форм финансирования и выбор конкретной формы;

− определение финансирующих организаций;

− определение структуры источников финансирования;

4) контроль выполнения плана и условий финансирования.

Финансирование проектов может осуществляться следующими способами:

− самофинансирование, т. е. использование в качестве источника финансирования собственных средств инвестора;

− использование заемных и привлекаемых средств.

Система финансирования инвестиционных проектов включает:

− источники финансирования;

− организационные формы финансирования.

5) часть затрат на содержание дирекции строящегося предприятия (глава 10 сводного сметного расчета стоимости строительства);

6) часть накладных расходов генерального подрядчика.

При заключении контракта по «расширенной» схеме заказчик может также направить на оплату услуг проект-менеджера часть прибыли, образующейся по результатам завершения строительной фазы проекта, по фактическим затратам, против сметной стоимости работ.

6. Технология управления. Процесс управления проектами должен быть надлежащим образом информатизирован, поддерживаться современными технологиями, для чего необходимо:

− создать и поддерживать в актуальном состоянии базы и банки данных по всем фазам и этапам жизненного цикла проектов;

− внедрить современные автоматизированные системы планирования и контроля, а также средства обработки и передачи данных.

Следует помнить, что степень сложности (а, значит, и цена) используемой информационной технологии должны соответствовать сложности и размеру проекта. Если это правило нарушить, заказчик понесет необоснованные потери – как в случае неоправданной сложности используемой технологии, так и при недооценке важности этого весьма существенного фактора.

Проектирование, техника и технология строительства нефтяных и газовых скважин постоянно усложняются и совершенствуются, что связано с необходимостью добычи углеводородных ресурсов во все более сложных геологических, климатических условиях, труднодоступных географических районах мира. В настоящее время в сфере проектирования и строительства скважин происходят следующие тенденции:

— углубление инженерной деятельности, формализованной в переход на раздельный сервис;

— изменение устаревших подходов к проектированию и ведению надзора за ходом строительства скважин;

— информатизация процесса проектирования, инженерно - технологической деятельности, контроля и управления ходом буровых работ;

— интеграция различных специалистов (буровиков, геологов, геофизиков и др.) для совместного решения производственных задач.

III. ХАРАКТЕРИСТИКА МОДЕЛИ СКВАЖИНЫ

Скважину можно рассматривать как единую модель сложной системы. Моделирование является эффективным средством анализа, поиска оптимальных решений. Модель позволяет дать количественное и качественное представление о каждом элементе (модуле) системы, обеспечить исследование объекта, выполнить его описание, предсказать поведение, изменение параметров и характеристик в определенном диапазоне условий - это и есть основная задача моделирования. Применительно к бурению целесообразно моделировать отдельную скважину (или группу аналогичных скважин)

как сложную техногенную систему, состоящую из ряда информационных модулей [1, 2].

Инжиниринг с использованием моделирования строительства скважины позволит описывать, исследовать и визуализировать процессы проектирования и строительства, анализировать, прогнозировать их развитие, определять критерии (экстремумы) и параметры оптимизации выполняемых работ. Важнейшим практическим свойством моделирования строительства скважины является гибкость информационной модели, т. е. способность модели к динамичным изменениям на основе поступления новой геологической, технологической, экономической и иной информации. Это свойство моделирования позволяет решить одну из основных проблем классического проектирования — догматизма принятых решений, так как изменение проекта связано с требованиями проведения дополнительных экспертиз, согласований, как правило, формальных, что в условиях необходимости принятия оперативных решений на буровой или в офисе службы Заказчика весьма затруднительно или невозможно. Решение проблемы недостаточной гибкости проектных решений возможно за счёт использования следующих принципов: моделирования, модульности, вариантности, многокритериальности, автоматизации.

Модель скважины становится основным теоретическим «ядром» для выполнения инжиниринговых работ, научных исследований. При этом необходимо отметить, что моделирование строительства скважины в процессе инжиниринга теоретически и эмпирически российскими исследователями не обосновано. Широкое применение идеи инжиниринга нашли в зарубежных информационных технологиях проектирования и сопровождения строительства скважин, например программное обеспечение Landmark (Halliburton) для обеспечения бурения и закачивания скважин, построенное на единой базе данных. Программное обеспечение Landmark позволяет инженерам, геофизикам и подрядчикам обмениваться информацией, визуализировать её, совместно оценивать альтернативы и сотрудничать при разработке наилучших решений. Буровые приложения охватывают практически все аспекты проектирования, строительства и закачивания скважин: от расчёта стоимости работ, прогнозирования и анализа инженерных данных и до создания отчёта о ликвидации скважины.

Главная практическая цель моделирования строительства скважины — оптимизация процесса проектирования и строительства скважины. При этом необходимо отметить, что модель скважины является основной для аналитической и исследовательской работы проектировщиков, технологов и различных междисциплинарных специалистов.

Многолетний опыт моделирования разработки месторождений доказывает, что построение модели является наиболее эффективным средством исследования, анализа, прогнозирования и оптимизации работ. Геолого-технологическое моделирование месторождений — базовая основа для получения необходимых знаний, информации для моделирования строительства скважины с обязательным наличием обратных информационных связей по результатам мониторинга фактически выполненных буровых работ.

Модель строительства скважины создаётся из различных информационных модулей (геологического, наземного, технико-технологического, экономического и др.), позволяющих рассчитывать, описывать, анализировать и прогнозировать технологические процессы и операции, осуществлять изменение параметров во времени в определенном диапазоне условий.

IV. КЛАССИФИКАЦИЯ МОДЕЛЕЙ СКВАЖИН

Предлагается следующая классификация моделей скважин: а) концептуальная; б) статическая; в) динамическая.

1. Концептуальная модель скважины строится в процессе создания интегрированного проекта разработки месторождения на основе информации постоянно действующей геолого-технологической модели месторождения. На основе концептуальной модели скважины разрабатывается техническое задание на проектирование её строительства (реконструкции). Данная модель скважины состоит из следующих основных модулей: геологического, технико-технологического и экономического.

2. Статическая модель скважины описывает начальное (исходное) состояние исследуемой техногенной системы — скважины до начала процесса бурения. Статическое моделирование выполняется для поиска качественных и эффективных инженерно-технологических решений, используемых в проектной документации. Статическая модель скважины строится на основе результатов моделирования, полученных инженерно-технологических решений, формализованных в проектную документацию и рабочие программы. Инженерные (математические) расчёты выполняются на специализированном программном обеспечении. Проектные решения являются теоретической основой для строительства скважин, работы мультидисциплинарной группы специалистов (буровиков, геологов, геофизиков) в процессе инженерно-технологического сопровождения строительства скважин. Проектные решения, основанные на моделировании строительства скважины, должны обеспечить принцип вариантности, а также эффективность и безопасность ведения буровых работ. По установленным пороговым значениям (экстремумам) модели обеспечивается мониторинг строительных (буровых) работ. Статическая модель состоит из ряда модулей: наземного, геологического, технико-технологического и т. д.

3. Динамическая модель скважины описывает состояние техногенной системы — скважины в процессе бурения. Динамическое моделирование скважины выполняется для оптимизации процесса бурения скважины. Оптимизация выполняется через оперативную корректировку рабочих программ на основе специализированной методики. Первичные источники информации на буровой для построения динамической модели: геолого-технологическая станция, телеметрическая станция, сводка супервайзера, результаты лабораторных исследований. Динамическая

модель скважины строится на основе обработанной информации в процессе мониторинга, а именно технико-технологических и геолого-геофизических параметров, поступающих с буровой в режиме реального времени. Состояние динамической модели зависит от времени и изменяется в процессе бурения.

Концептуальная, статическая и динамическая модели строятся в корпоративной информационной системе. Результаты моделирования скважины представляются в виде простых форм: временных графиков, таблиц, схем, модулей 2D и 3D, визуализированных в информационной системе. Каждая из представленных разновидностей скважин, может использоваться для оптимизации постоянно действующей геолого-технологической модели месторождения.

V. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В соответствии с представленными характеристиками моделей скважины, наиболее привлекательной является динамическая. С одной стороны, она пригодна не только для оптимального программирования, но и для оперативного решения задач оптимизации. Последние особенно важны при встрече с непредвиденными ограничениями, когда в создавшейся ситуации необходимо найти оптимальное решение, т.е. наиболее близкое по последствиям к запрограммированному. Оно может при необходимости быть скорректировано в ранее принятых программных параметрах с некоторым отклонением от запрограммированных показателей.

С другой стороны, динамическое программирование позволяет решать задачи, дискретные по самой своей природе, то есть, не преобразованные из соответствующих непрерывных задач. Также данная модель позволяет прогнозировать и предупреждать прихваты бурильного инструмента на основе выбора оптимальных технологических параметров процесса бурения.

Вышеизложенное, несомненно, важно в области бурения наклонно-направленных и горизонтальных скважин на месторождениях и для проектирования строительства скважин в целом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

[1] Тиличенко В.И., Лапидус А.А., Морозенко А.А. Информационное моделирование технологий и бизнес-процессов в строительстве /Научное издание. — М.: Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2008. — 144 с.

[2] Шиповский К.А., Живаева В.В. Моделирование строительства нефтяных и газовых скважин в процессе инжиниринга строительства скважин: статья из журнала Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море , Самара, 2011. - 4 с.

[3] Краюшкина М. В. Методология проектирования в нефтегазовой отрасли и управление проектами: учебное пособие. Ставрополь: СКФУ, 2014. - 124 с.

[4] Цапко К. А. Процессный менеджмент как средство повышения социально-экономического развития строительных компаний // Инженерный вестник Дона, 2016, №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2016/3734.

Технология определения и планирования потребности в персонале определенного профессионального уровня и компетенций

Митрофанова Е.А.
ФГБОУ ВО «Государственный университет управления»
Москва, Россия
ea_mitrofanova@guu.ru

Коновалова В.Г.
ФГБОУ ВО «Государственный университет управления»
Москва, Россия
vg_konovalova@guu.ru

Митрофанова А.Е.
ФГБОУ ВО «Государственный университет управления»
Москва, Россия
ae_mitrofanova@guu.ru

***Abstract* - The paper presents the technology for identifying and planning staffing requirements of a certain professional level and competencies based on an analysis of the activities of each unit (activity) of an enterprise from the point of view of the professional and competence characteristics of each employee in accordance with the proposed system of indicators and scales of their assessment, competence catalog and model professional competence. The proposed technology provides the development and decision-making on the optimization of the staff of the enterprise in the face of uncertainty and limited resources.**

Ключевые слова - кадровые технологии, кадровое планирование, кадровый потенциал, методика, компетентность, профессиональный уровень, функции, результаты труда, затраты труда, трудопотери, программное и информационное обеспечение.

I. Введение

Развитие кадрового потенциала организации в настоящее время является одним из основных условий для получения новых компетенций и их реализации в трудовом процессе [11, 20, 21].

Актуальность и значимость развития кадрового потенциала организации и управления эффективностью его использования заключаются в том, что они способствуют росту результативности труда работников, и, следовательно, эффективности деятельности организации в целом [1, 19].

Важнейшим инструментом повышения эффективности использования кадрового потенциала любой организации являются современные кадровые технологии, и, прежде всего, – технологии кадрового планирования [5, 24, 25, 26,]. Предлагаемая авторами статьи методика (далее методика) определения и планирования потребности в персонале определенного профессионального и компетентностного уровня (далее ПКУ) представляет собой технологию выявления, оценки и обоснования количественной и качественной кадровой потребности организации, основанную на анализе полноты и качества выполнения функциональных обязанностей.

Анализ деятельности структурных подразделений (направлений деятельности) по критериям профессиональной и компетентностной характеристики каждого работника позволяет оценить степень количественной и качественной кадровой обеспеченности организации [9, 12, 26].

Методика, помимо главной задачи – совершенствования кадрового планирования, позволяет решать следующие задачи:

- оценить рациональность и оптимизировать расстановку персонала и функциональное разделение труда в организации;
- обосновать целесообразность повышения квалификации, обучения и профессиональной переподготовки для конкретных работников;
- создать методическую базу для формирования кадрового резерва в организации.

II. Методологические аспекты разработки и реализации методики

Целью методики является оптимизация кадрового потенциала организации на основе:

- определения и анализа количественного (численности) и качественного (показатели ПКУ) кадрового состава организации;
- оценки фактической и прогнозной обеспеченности эффективной реализации должностных функций работниками требуемого ПКУ (динамика дефицита/избытка кадров);
- разработки мероприятий по устранению диспропорций в кадровом обеспечении организации (подбор и прием кадров; подготовка и повышение квалификации, формирование кадрового резерва, анализ и оптимизация распределения должностных функций между работниками, оптимизация структуры организации).

В качестве *методологической базы* использованы следующие положения.

Опираясь на известное определение результата функционирования любой системы [3] для описания деятельности работников организации можно использовать следующую формулу (1):

$$\text{Полнота и качество реализации функции} = \text{Результативность труда} \times \text{Объем затрат труда}. \quad (1)$$

Актуальность принципов личной компетентности и персональной ответственности работника [15, 22], а также сложность измерения трудозатрат [6] обусловливают целесообразность идеи измерить

©2019 ИПУСС РАН, СамГТУ, IEEE

результативность выполнения должностных функций, прежде всего, с помощью экспертной оценки следующих показателей:

- *производительности* – через оценку уровня квалификации (как суммы показателей оценки уровня профессионализма и компетентности), когда отдача на вложенный труд определяется совокупным проявлением профессионализма и компетентности работника [13];
- *объема затрат труда* – через оценку совокупного объема выполнения функции, скорректированного на индекс полноты (степени) реализации функции (*Индекс 1* – косвенная оценка состояния / качества результата деятельности, отсутствие ошибок, переделок, задержки и т.п.) и индекс использования рабочего времени (*Индекс 2* –косвенная оценка трудопотерь).

Далее, с учетом принципа пропорциональности безразмерных (относительных) и физических (прямых) оценок затрат и результатов деятельности возможен выход на натуральные показатели - численность персонала заданного ПКУ (наличная, требуемая, дисбаланс) [16, 17].

Для оценки обеспеченности реализации функций и прогнозной оценки потребности организации в кадрах требуемого ПКУ определены следующие *условия*:

- ПКУ персонала является качественной комплексной характеристикой, определяемой как совокупная степень профессионального уровня (профессиональный опыт, образование, профессиональные знания в определенных областях) и компетентностного уровня (индивидуальные признаки проявления поведенческих индикаторов, характеризующих уровень развития личностно-деловых, коммуникативных и управленческих компетенций) [18, 22];
- определение объема выполнения функций (нормативная степень участия – квалификационное требование должностных инструкций; фактическая степень участия – фактическая реализация профессиональных навыков и компетенций конкретным сотрудником) осуществляется его непосредственным руководителем на основе экспертной оценки, что позволяет перейти к физическим величинам трудозатрат;
- нормативные и персональные показатели по каждому работнику определяются экспертным путем по порядковой шкале;
- трудопотери распределены равномерно по периоду оценки деятельности работника;
- нормативные показатели профессионализма и компетентности определяются по должности и не зависят от состава выполняемых функций, т.е. считаются постоянными.

Поскольку в методике предполагается использовать экспертные оценки показателей (даже для формально инструментальных показателей: возраст, стаж, трудопотери и др.), то способ измерения и шкала формируется специально [4].

При проведении расчетов с применением предлагаемой методики используется *нижеследующая система измерений*.

Все показатели производительности труда работника независимо от их вида – количественные или качественные, - приводятся к качественному виду (порядковые шкалы, с фиксированием позиций – наименованием диапазонов значений показателей), которые оцениваются численной оценкой в заданном интервале действительных чисел. Затем все показатели по направлениям оценки переводятся в баллы, задаваемые, например, в интервале [0;100], т.е. трудоотдача измерена *соотношением* баллов результата к баллам затрат [7].

Среди показателей объема затрат труда работника выделены два способа измерения:

- *оценка объема выполнения функции* – количественный показатель, задаваемый в абсолютной шкале (доля), однако в целях настоящей методике его сразу можно интерпретировать как балльную оценку в интервале [0;100] [10];
- *оценка состояния (качества) выполнения функции и оценка трудопотерь* приводятся к качественному виду (порядковые шкалы, с фиксированием позиций – наименованием диапазонов значений показателей), которые оцениваются численной оценкой в заданном интервале действительных чисел, описывающей индекс степени влияния на объем затрат труда работника, т.е. значения оценки группируются вокруг единицы, задавая своеобразный персональный темп роста / снижения трудозатрат [8].

Таким образом, получаем следующую базовую формулу для оценки результативности деятельности персонала и определении потребности в кадрах определенного ПКУ (2):

$$\text{Результат} = \frac{\text{Производи-}}{\text{тельность}} \times \text{Затраты} \times \text{Индекс1} \times \text{Индекс2} \quad (2)$$

Учитывая определенные выше условия, формула приобретает следующий вид (3):

$$\text{Р} = \text{ПКУ} \times \text{Тр} \quad (3)$$

где Р – результат деятельности работника – степень участия в реализации функций (баллы),

ПКУ – профессиональный и компетентностный уровень работника (баллы),

Тр – объем затрат труда работника (баллы) (4)

$$\text{Тр} = \text{ОФ} \times \text{Кф} \times \text{П} \quad (4)$$

где ОФ – совокупный объем выполнения функции (балл);

Кф – индекс полноты (степени) выполнения функции – косвенная оценка состояния/качества результата деятельности, отсутствие ошибок, переделок, задержки и т.п. (безразмерный),

П – индекс использования рабочего времени - косвенная оценка трудопотерь (безразмерный).

Укрупненно *алгоритм методики* включает в себя следующие шаги [14]:

1) Анализ нормативно-регламентирующей документации организации: схемы организационной структуры, штатного расписания; положений о подразделениях, должностных инструкций, данных о плановой и фактической численности персонала в разрезе категорий, должностей, подразделений.

2) Разработка системы показателей оценки ПКУ персонала организации:

- обоснование состава показателей ПКУ работников для каждой должности / рабочего места; разработка порядковой шкалы оценки ПКУ работников;
- обоснование состава показателей, характеризующих полноту и качество реализации функций по конкретной должности / рабочему месту;
- установление экспертным путем уровней значимости (весовых коэффициентов) показателей оценки ПКУ работников.

3) Установление нормативного (требуемого) уровня показателей ПКУ путем перемножения значения экспертной оценки нормативного уровня показателя ПКУ и уровня значимости по каждому показателю; установление нормативного (требуемого) уровня показателей реализации работниками должностных функций, определяемого аналогичным образом.

4) Оценка фактического (наличного) уровня показателей ПКУ работников путем перемножения значения экспертной оценки фактического уровня показателя ПКУ и уровня его значимости; оценка фактического (наличного) уровня показателей реализации работниками функций, определяемого аналогичным образом.

5) Обработка результатов оценки ПКУ работников и уровня реализации ими должностных функций:

- расчет отклонений суммарных наличного и требуемого уровней ПКУ работников;
- расчет нормативной и фактической степени участия работников в выполнении функций путем перемножения суммарного нормативного / фактического уровня показателей ПКУ и нормативных / фактических показателей реализации работниками должностных функций.

6) Определение потребности в персонале, в том числе:

- текущей потребности в персонале определенного ПКУ, как частного от деления разницы между суммарными фактической и нормативной степенями участия на среднюю по всем работникам нормативную степень участия;
- дополнительной потребности в персонале, вызванной естественными или плановыми причинами, такими как текучесть персонала, кадровая неукомплектованность и т.п., оцениваемой на основе имеющейся статистики труда;
- общей потребности в персонале как суммы текущей и дополнительной потребностей;
- потребности в повышении квалификации, обучении, профессиональной переподготовке персонала - в случае выявления отрицательных отклонений фактического ПКУ по сравнению с нормативным;
- формирование на этой основе плана повышения квалификации, обучения, профессиональной переподготовки персонала;
- потребности в кадровом резерве - в случае выявления положительных отклонений (превышения) фактического ПКУ по сравнению с нормативным.

Данная методика позволяет получить и другие производные характеристики кадрового потенциала организации и ее структурных подразделений.

Схематично рассмотренный выше алгоритм методики представлен на рис. 1.

В рамках реализации методики разработан типовой состав показателей оценки ПКУ сотрудников и показателей полноты и качества реализации функций, экспертным путем установлены уровни значимости отдельных показателей, а также сформирован пакет справочных, оценочных, расчетных и итоговых форм, необходимых для расчетно-аналитических работ по планированию потребности в персонале определенного ПКУ в организации.

С целью информационного обеспечения реализации методики разработан рабочий вариант макета программного обеспечения, который включает 5 электронных таблиц Excel, реализующих определенные шаги предложенного алгоритма расчета потребности в кадрах определенного ПКУ:

- электронная таблица 1 является справочной формой, содержащей информацию о показателях оценки ПКУ работников и показателях полноты и качества реализации функций, уровнях значимости отдельных групп показателей;
- электронная таблица 2 (рис. 2) является оценочной формой, предназначенной для ввода и обработки экспертной информации о нормативном и фактическом уровнях показателей ПКУ и уровне показателей реализации функций по каждому работнику;

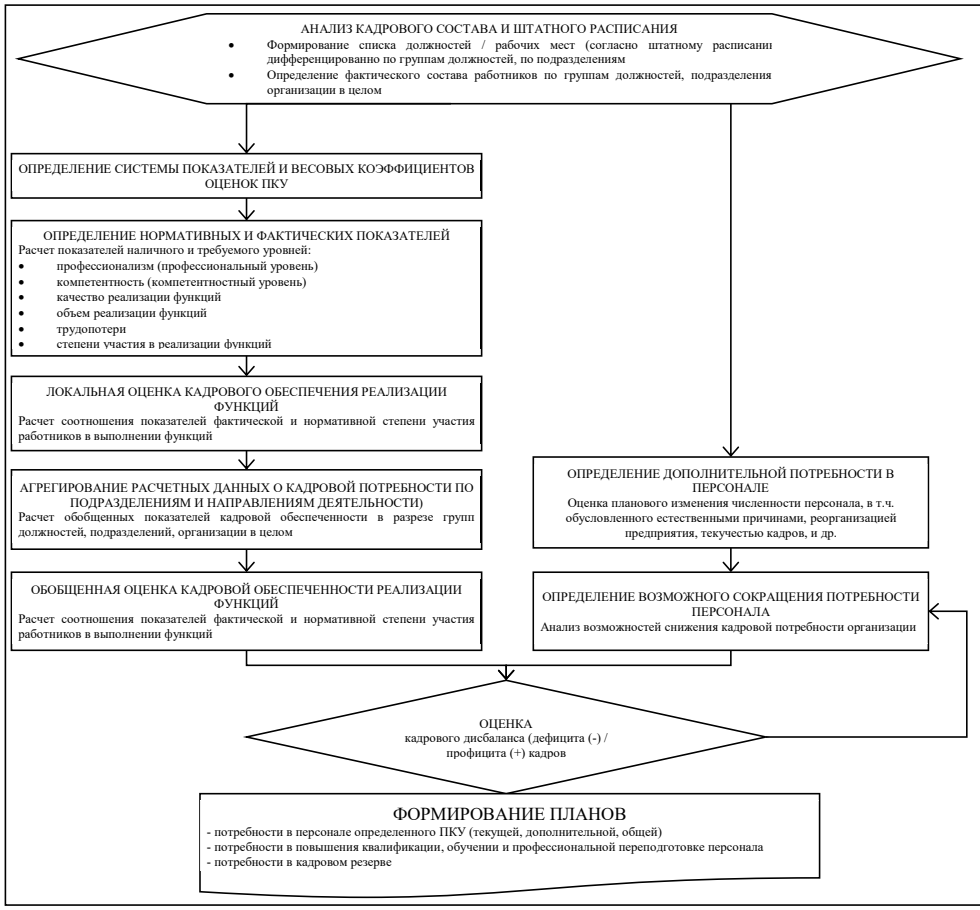


Рис. 1. Алгоритм методики

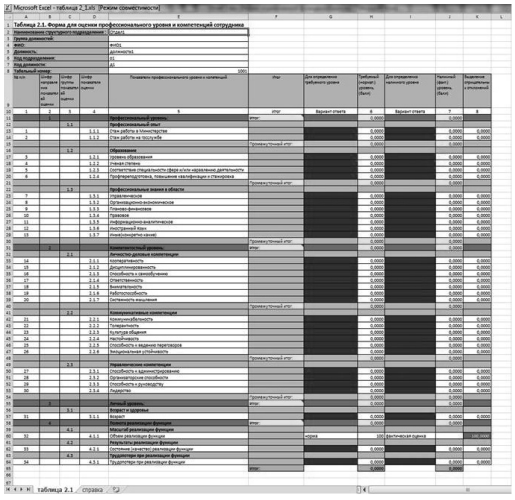


Рис. 2. Электронная таблица 2

- электронная таблица 3 (рис. 3) является расчетной формой, предназначенной для оценки степени фактического участия работников в реализации функций на основании данных, полученных в результате обработки таблицы 2;

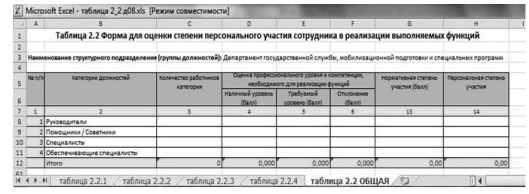


Рис. 3. Электронная таблица 3

- электронная таблица 4 (рис. 4) является расчетной формой, предназначенной для расчета текущей потребности в персонале определенного ПКУ с учетом фактической степени участия работников, определенной в таблице 3;

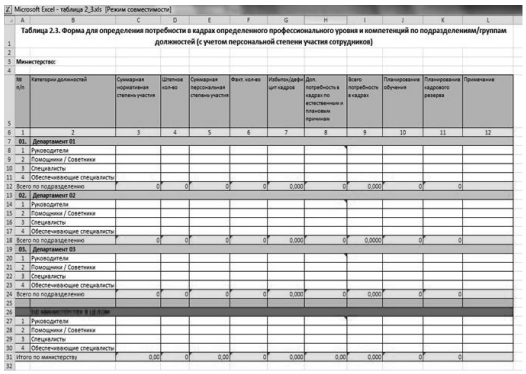


Таблица 2.3. Форма для определения потребности в кадрах определенного профессионального уровня и компетенций по подразделениям/группам должностей (с учетом персональной степени участия сотрудников)

Министерство:

№ п/п	Категории должностей	Суммарная нормативная степень участия	Штатное кол-во	Суммарная персональная степень участия	Факт. кол-во	Избыток/дефицит кадров	Доп. потребность в кадрах по естественным и плановым причинам	Всего потребность в кадрах	Планирование обучения	Планирование кадрового резерва	Примечания
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
01.	Департамент 01										
1	Руководители										
2	Помощники / Советники										
3	Специалисты										
4	Обеспечивающие специалисты										
Всего по подразделению		0	0	0	0	0,000	0	0,000	0	0	
02.	Департамент 02										
1	Руководители										
2	Помощники / Советники										
3	Специалисты										
4	Обеспечивающие специалисты										
Всего по подразделению		0	0	0	0	0,000	0	0,0000	0	0	
03.	Департамент 03										
1	Руководители										
2	Помощники / Советники										
3	Специалисты										
4	Обеспечивающие специалисты										
Всего по подразделению		0	0	0	0	0,000	0	0,000	0	0	
	Руководство в целом										
1	Руководители										
2	Помощники / Советники										
3	Специалисты										
4	Обеспечивающие специалисты										
Итого по министерству		0,00	0	0,00	0	0,000	0,00	0,000	0	0	

Рис. 4. Электронная таблица 4

- электронная таблица 5 (рис. 5) является расчетной формой, предназначенной для планирования потребности в повышении квалификации, обучении и профессиональной переподготовке персонала на основе выявленного в таблице 2 несоответствия ПКУ работников установленным требованиям.

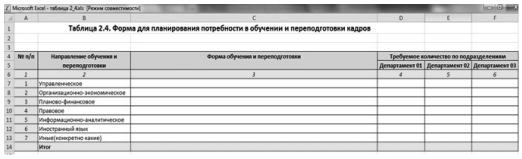


Таблица 2.4. Форма для планирования потребности в обучении и переподготовки кадров

№ п/п	Направление обучения и переподготовки	Форма обучения и переподготовки	Требуемое количество по подразделениям		
			Департамент 01	Департамент 02	Департамент 03
1	2	3	4	5	6
1	Управленческое				
2	Организационно-экономическое				
3	Планово-финансовое				
4	Правовое				
5	Информационно-аналитическое				
6	Иностранный язык				
7	Иные(конкретно какие)				
Итог					

Рис. 5. Электронная таблица 5

III. Заключение

Предлагаемая методика, с одной стороны, позволяет максимально учесть интересы организации в вопросах кадрового планирования, а с другой, – обеспечивает возможность оптимизации кадрового потенциала организации [2].

Методика может использоваться и (с приемлемой степенью достоверности) решать поставленную задачу кадрового планирования в любой организации на основе анализа состояния и перспектив развития кадровой ситуации и с учетом динамики результативности деятельности самих организаций.

Заложенный в основу методики подход обеспечивает единство критериев определения потребности в персонале и при этом нейтрален по отношению к характеру деятельности организации, в силу чего методика может использоваться в организации любой отрасли и сферы деятельности [14].

Эффективность методики обусловлена тем, что в режиме реального функционирования она не требует значительных дополнительных затрат, поскольку базируется на стандартном наборе документов, располагаемых кадровой службой любой организации, а также системе показателей и оценок, традиционно используемой в процессах найма, деловой оценки, профессионального развития персонала, кадрового мониторинга и других кадровых технологий.

Список литературы

[1] Абгарян, А.С., Костикова, О.Н. Кадровое планирование в условиях рыночной экономики / А.С. Абгарян, О.Н. Костикова // Международный студенческий научный вестник. - 2017. - № 2. [Электронный ресурс]. URL: http://eduherald.ru/ru/article/view?id=16873 (дата обращения: 06.03.2019).

[2] Безсмертная, В. В. Стратегии управления кадровым потенциалом/ В. В. Безсмертная - М.:Экономика и управление. - 2016. - № 3. - С. 48-53.

[3] Берглезова, Т.В. Понятие кадрового потенциала и его влияние на эффективность деятельности промышленного предприятия /Т.В. Берглезова// Корпоративный менеджмент [Электронный ресурс]. URL:www.cfin.ru. (дата обращения: 01.02.2019).

[4] Галкина, Ю.Е., Головкин, И.В. Методики оценки кадрового потенциала в современной России / Ю.Е. Галкина, И.В. Головкин, // Экономика и менеджмент инновационных технологий. -2018. - № 10 [Электронный ресурс]. URL: http://ekonomika.snauka.ru/2018/10/16207 (дата обращения: 09.02.2019).

[5] Горемыкин, В.А. Планирование на предприятии / В.А. Горемыкин. - М.: ФИМЕНЬ РИЛАНТ, 2014. - 341с.

[6] Егоров А. Кадровое планирование и мониторинг персонала / А. Егоров // Финансовая Газета. - 2012. - № 28. - С. 21-25

[7] Зенина, Е.А. Кадровое планирование организации: необходимость, тенденции развития, пути совершенствования / Е.А. Зенина // Молодой ученый. - 2016. - №9. - С. 557-558. [Электронный ресурс].- URL: https://moluch.ru/archive/113/28967/ (дата обращения: 06.03.2019).

[8] Кобелева, С.В., Конова, О.Ю., Батракова, А.С. Стратегия развития кадрового потенциала организации / С.В. Кобелева, О.Ю. Конова, А.С. Батракова [Электронный ресурс]. URL https://cyberleninka.ru/article/n/strategiya-razvitiya-kadrovogo-potentsiala-organizatsii (дата обращения: 06.03.2019).

[9] Кибанов, А.Я. Концепция компетентностного подхода в управлении персоналом: Монография [текст] / А.Я. Кибанов, Е.А. Митрофанова, В.Г. Коновалова и др. - М.: НИЦ ИНФРА-М, 2014. - 156 с. - (Научная мысль), ISBN 978-5-16-009530-1

[10] Козак, Н. Н. Кадровое планирование персонала. Библиотека топ-менеджера / Н.Н. Козак. - М.: Издательские решения, 2013. - 858 с.

[11] Коноплёва, Г.И. Понятие кадрового потенциала и стратегия его развития / Г.И. Коноплёва // Альманах.- 2014.- № 2.- С. 86-88

[12] Кузьмина, Н.М. Формирование организационной стратегии управления кадровым потенциалом: компетентностный подход: Монография/ Н.М. Кузьмина, О.В. Толстякова - М.: НИЦ ИНФРА-М, 2015. - 94 с.

[13] Милохина, И.В. Особенности количественной оценки кадрового потенциала предприятия / И.В. Милохина // Альманах. - 2016. - №4. - С. 76-80.

[14] Митрофанова, Е.А., Лукьянова Т.В., Писарева О.М. Планирование потребности в кадрах в государственном органе [Текст] / Е.А. Митрофанова. Т.В. Лукьянова, О.М. Писарева // Кадровик. - 2013. - №1. - С.89-95.

[15] Полищук, М.Л. Роль оценки персонала в формировании кадрового потенциала предприятия/ М.Л. Полищук // Экономика и менеджмент инновационных технологий. -2017. -№ 12 [Электронный ресурс]. URL: http://ekonomika.snauka.ru/2017/12/15647 (дата обращения: 07.02.2019).

[16] Потуданская, В.Ф., Трункина, Л.В. Оценка трудового потенциала персонала предприятия / В.Ф. Потуданская, Л.В. Трункина // Бизнес. Образование. Право. Вестник Волгоградского института бизнеса, 2011. - № 4 (17). - С. 96-101.

[17] Хасанов, И.И. Совершенствование кадрового планирования в организации / И.И. Хасанов [Электронный ресурс]. URL https://cyberleninka.ru/article/v/sovershenstvovanie-kadrovogo-planirovaniya-v-organizatsii (дата обращения: 06.0.2019).

[18] Файрузов, А.Ю., Смирнов, А.А., Лихачев, Л.Е. Развитие кадрового потенциала и эффективность его функционирования / А.Ю. Файрузов, А.А., Смирнов Л.Е. Лихачев // Фундаментальные исследования. - 2016. - № 12-4. - С. 912-917. [Электронный ресурс]. URL: http://fundamental-research.ru/ru/article/view?id=41193 (дата обращения: 06.03.2019).

[19] Щесняк, К.Е. Кадровый потенциал и стратегия предприятия / К.Е. Щесняк. - М.: Изд-во РУДН, 2010. - 162 с.

[20] Bingley P., Westergaard-Nielsen H. (2004) Personnel policy and profit. Journal of Business Research. Vol. 57. Pp. 557–563.

[21] Gianluca, E., Alessandro, M. (2015). Next-generation human resource management: a system for measuring and visualising professional competencies // International Journal of Human Resources Development and Management (IJHRDM), Vol. 15, No. 1, pp.1 – 15.

[22] Iona A., Aickelin U., Battisti G., Celia H., Clegg C., Siebers P., Fu X., Peixoto A. (2008). Enhancing productivity: The role of management practices. Advanced Institute of Management Research (AIM). Working Paper Series 062.

[23] Malik K.P., Malik S. Value Creation Role of Knowledge Management: a Developing Country Perspective // The Electronic Journal of Knowledge Management. 2008. № 6. Issue 1, Pp. 41 – 48.

[24] Nagendra, A. & Deshpande, M.. (2014). Human Resource Information Systems (HRIS) in HR Planning and Development in Mid to Large Sized Organizations. Procedia - Social and Behavioral Sciences. 133. 61–67. 10.1016/j.sbspro.2014.04.169.

[25] Tung, R. L. (2016). New perspectives on human resource management in a global context. Journal of World Business, 51(1), 142–152. http://doi.org/10.1016/j.jwb.2015.10.004

[26] Ubels J., Naa-Aku Acquaye-Baddoo, Fowler A. Capacity Development in Practice. London -Washington, DC, 2010. 361 p.

Проблема управления природопользованием на Таймыре и развитие традиционного хозяйства коренного населения в современных социально-экономических условиях

Михайлов В.В.
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации Российской академии наук
Санкт-Петербург, Россия
mwwcari@gmail.com

Колпащиков Л.А.
Федеральное государственное бюджетное учреждение «Объединенная дирекция заповедников Таймыра»
г. Норильск, Россия
ntnt69@yandex.ru

Мухачев А.Д.
Научно-исследовательский институт сельского хозяйства и экологии Арктики
г. Норильск, Россия
norilskniiks@mail.ru

***Abstract* — The retrospective and modern data on environmental management in Taimyr are presented. A variant of reforming the environmental management system according to the principle of co-management with the division of rights and responsibilities between state structures and the local population is proposed.**

Ключевые слова — Таймыр, промысловое и домашнее оленеводство, коренное население, природопользование, управление

I. Введение

Рассматривая агропромышленный комплекс Крайнего Севера, необходимо особо подчеркнуть, что в настоящее время здесь сельское хозяйство представлено в основном отраслями традиционного природопользования. Аграрная реформа в начале 90-х годов прошлого века привела к развалу плановой системы ведения традиционных отраслей хозяйствования. Нарушение централизованной системы государственного управления, материально-технического и продовольственного снабжения, связей с торгово-заготовительными структурами, торгово-закупочными и перерабатывающими предприятиями, отсутствие финансовой поддержки сельхозпроизводителей со стороны государства, диспаритет цен на сельскохозяйственную и промышленную продукцию, высокие тарифы на транспорт привели отрасли традиционного природопользования к глубокому кризису. Следует также отметить, то, что в ряде районов Арктики разрушение природной среды достигло масштабов экологической катастрофы. Деградация пастбищных территорий в результате антропогенных воздействий привело к нарушению сезонного пастбищеоборота домашних оленей и изменение сложившихся миграционных путей у диких сородичей.

Исторически жизнь малочисленных народов Таймыра всегда была связана с северным оленем. Оленеводы являются основными носителями культуры своего народа. Они устойчиво сохраняют родные языки, национальную одежду, жилье и традиции, а семьи отличаются устойчивостью брака. Отсюда, северное оленеводство следует рассматривать не только как исторически сложившуюся отрасль в северном хозяйстве природопользования, но и как форму сохранения уникальных северных этносов [1, 2].

Особенность ситуации с северным оленем на Таймыре связана с наличием наряду со стадами домашних оленей популяции диких северных оленей, ресурсы которой использовались местным населением. Долгане и ненцы исторически были оленеводами, нганасане – древнейшая народность Таймыра – охотниками на дикаря.

II. Централизованная система управления ресурсами

Дикий северный олень на Енисейском Севере до 1960 г. находился под охраной в связи с низкой численностью. Его ограниченное использование разрешалось только местному аборигенному населению. По данным авиаучетов численность диких оленей в 1959 г. составляла около 110 тыс. голов, к 1969 г. увеличилась до 333 тыс., к 1972 г – до 386 тыс.

Миграции диких северных оленей на Таймыре проходили через пастбища, закрепленные за оленеводческими хозяйствами. В результате воздействия диких лишайниковые пастбища оказались потравленными и выбитыми. Если оленеемкость закрепленных за хозяйствами пастбищ в 1970 г оценивалась в 190 тыс. голов, то к 1980 г. она снизилась до 90 тыс. Одновременное присутствие диких и домашних оленей на пастбищах вызывает трудности в работе оленеводов, нарушение пастбищеоборота, а также прямые потери хозяйств в результате увода домашних оленей дикими сородичами в период осенних миграций.

В 1970 г. на первом Всероссийском совещании по проблеме дикого северного оленя был поставлен вопрос об использовании ресурсов таймырской популяции для повышения социального и экономического прогресса у коренных народов Таймыра [3, 4]. Изъятие оленей планировалось на уровне годового прироста для стабилизации численности популяции на уровне 300-350 тыс. голов. В 1971 г. было организовано государственное

Работа выполнялась при финансовой поддержке WWF России в рамках проекта RU 012718 «Сохранение биоразнообразия северных регионов России для достижения целей Конвенции о биологическом разнообразии путем расширения и усиления сети особо охраняемых природных территорий, адаптированных к изменениям климата» и бюджетной темы 0074-2019-0009.

©2019 ИПУСС РАН, СамГТУ, IEEE

промысловое хозяйство “Таймырский”, специализирующееся на добыче диких оленей, с этого времени началось промышленное освоение ресурсов дикого оленя. С 1978 г. плановым отстрелом диких оленей таймырской популяции стали также заниматься совхозы Таймыра и Эвенкии.

Рассмотрим структурные особенности сформировавшейся в 80-е годы системы управления популяцией диких северных оленей [5, 6]. В терминах теории управления система содержит три контура управления. Первый контур обеспечивает регулирование на популяционном уровне и включает следующие основные компоненты:

1) Объекта управления – популяция диких северных оленей.

2) Блок определения целей управления (Министерство сельского хозяйства и Главохота РСФСР, Межведомственная комиссия по проблеме диких северных оленей).

3) Регулятор системы управления (охотинспекция Главохоты РСФСР, система научной поддержки и мониторинга - НИИСХ Крайнего Севера, СПИИРАН, заповедники и заказники в пределах ареала популяции).

Основные задачи, решаемые блоком научной поддержки и мониторинга - оценка состояния популяции и промысла на основе данных мониторинга и данных о промысловом изъятии оленей, определение промысловой квоты, обеспечивающей достижение цели регулирования популяции. В функции инспекции Главохоты РСФСР входило: распределение промысловой квоты между промысловыми хозяйствами, продажа лицензий индивидуальным охотпользователям, получение данных о фактической величине изъятия животных с учетом пола и возраста.

4) Исполнительный орган – промысловые бригады Госпромхоза «Таймырский» и АПО «Арктика», а также индивидуальные охотпользователи.

Замыкание популяционного контура управления обеспечивалось путем сравнения авиаучетных данных о численности и половозрастной структуре популяции от системы мониторинга с желаемыми показателями. Величина невязки данных характеризует качество регулирования популяции.

Второй контур управления включал в качестве объекта управления промысловые бригады и других охотпользователей, и в качестве регулятора – инспекторов Главохоты и специально созданный в 1980 г. «Северный отряд». Цель управления – обеспечить соответствие фактического ведения промысла животных нормам и правилами охоты. Данные о количестве и половозрастном составе изымаемых животных контролировались непосредственно на промысловых точках, выполнялись периодические облеты охотничьих, рыболовных баз и населенных пунктов для выявления несанкционированного браконьерского отстрела животных. Регулирующее воздействие заключалось в строгом наказании виновных (штрафы, лишение лицензий, конфискация, привлечение к уголовной ответственности). В результате нелицензионный отстрел оленей по экспертным оценкам в 1971-1990 г.г в среднем составлял около 10 тыс. голов (коренным населением региона, поисковыми геолого-разведывательными партиями, удаленными охотничьими и рыбодобывающими бригадами, метеостанциями для собственных нужд).

Третьим является экосистемный уровень регулирования. Укрупненными компонентами системы являются дикие северные олени, их пищевые конкуренты (домашние олени и естественные фитофаги – овцебыки, снежные бараны, гуси, лемминги), хищники (волки, медведи, росомахи), кормовая база, емкость которой зависит от влияния погодно-климатических и техногенных факторов и воздействия травоядных животных. В естественных условиях устанавливается динамическое равновесие между компонентами экосистемы с циклическим изменением биомассы популяций животных и фитомассы кормовых растений.

Для устойчивого получения максимальной продукции промысловой популяции роль ограничивающих природных факторов должна быть снижена или исключена путем соответствующих воздействий на компоненты экосистемы. С этой целью в 1970-1990 гг. были построены переходы через ветки газопроводов на путях миграций северных оленей, построены направляющие изгороди, были введены ограничения на использование гусеничного транспорта в бесснежный период, для снижения численности волка проводился отстрел хищников с вертолетов и др.

Развитие промысловой отрасли благоприятно отразилось на благосостоянии и занятости коренного населения Таймыра. К 1993 году добыча животных составила более 1.3 млн. особей, что превосходило продукцию всех оленеводческих хозяйств Севера Средней Сибири. Аналогов столь крупномасштабного и эффективного использования ресурсов дикого северного оленя не было ни в других районах России, ни за рубежом [6, 7].

Из-за систематического недоиспользования промысловой квоты, численность популяции стабилизировалась лишь к 1985-1990 г. на уровне 590-620 тыс. голов.

Численность домашних оленей в 1966-1976-х годах колебалась на уровне 110-126 тыс. голов. В годы доминирования охоты на диких оленей домашнее оленеводство исчезло на большей части территории Таймыра и Эвенкии. Главную роль сыграл здесь фактор экономический. Оленеводческим совхозам, начавшим массовый отстрел диких оленей, выгоднее было сконцентрировать усилия на развитии отрасли промыслового оленеводства, чем поддерживать оказавшееся в трудном положении домашнее оленеводство. Обе отрасли давали одну и ту же продукцию, но промысел диких оленей был экономически гораздо эффективнее. Затраты на 1 ц мяса здесь были в 2,4 раза меньше, чем в домашнем оленеводстве [8].

Однако именно домашнее оленеводство играет ключевую роль в этно-хозяйственной самобытности и сохранении культурной и национальной обособленности малочисленных групп коренного населения Таймыра. Здесь приоритет остается за домашним оленеводством,

причем экономическая эффективность имеет в этом вопросе второстепенное значение [9]. Кроме того, промысел диких оленей не всегда может быть успешным в связи с непостоянством путей миграций и территориального размещения животных.

Местное население также занималось рыболовством, ловлей куропаток, добычей песцов. Рыбный промысел вели также многочисленные рыболовецкие бригады Госпромхоза. Вывоз рыбы с удаленных точек выполнялся авиатранспортом, транспортные расходы оплачивало государство. Организованный вылов рыбы квотировался. Коренное население облавливало водоемы с учетом традиционных знаний и опыта. На Таймыре было широко развито клеточное звероводство, в котором в качестве корма использовались отходы оленьего промысла.

III. Современное состояние и стремление к наживе

Развал промысловой системы в 1990-х годах и резкое снижение добычи оленей обусловил быстрый рост численности популяции диких оленей, численность которой достигла к 2000 г. 1 млн. голов. Начало XXI века характеризуется качественным изменением ситуация с природопользованием на Таймыре. Получили широкое развитие рыночные отношения, в которых главным критерием успеха в использовании природных ресурсов стала прибыль. Возросло количество охотпользователей разных форм собственности, произошла приватизация лучших охотугодий, практически прекратился контроль за промысловой деятельностью. В условиях резкого имущественного расслоения населения дикий северный олень превратился, с одной стороны, в средство выживания малообеспеченных слоев граждан для решения своей продовольственной проблемы, с другой - средством наживы для различного рода дельцов и предпринимателей. Указанные причины привели к широкомасштабному росту промысловой (браконьерской) нагрузки на таймырскую популяцию диких северных оленей. По экспертной оценке с учетом браконьерской охоты и гибели подранков в ареале популяции изымается ежегодно от 50 до 60 тыс. диких северных оленей, что существенно превышает данные официальных заготовок (25-30 тыс. голов).

Резко возросло негативное воздействие антропогенных и техногенных факторов на популяцию и среду ее обитания. Переходы через вновь проложенные нитки газопроводов не строятся, отсечные изгороди не ремонтируются. Животные скапливаются у искусственных препятствий, попадают в «ловушки» норильской промзоны и в результате теряют упитанность и гибнут в зимний период или становятся легкой добычей браконьеров. Кроме ниток газопроводов и других коммуникаций, отрицательное влияние оказывают заброшенные изгороди в долинах гор Путорана, построенные для содержания домашних оленей. Пастбища вдоль изгородей в период миграций выбиваются. В связи с расширением поисковых геологических работ, безответственностью и равнодушием населения возрастает число пожаров, которые наносят большой ущерб оленьим пастбищам, особенно ягельникам.

Указанные причины привели к падению численности оленей, что зафиксировали все последующие авиаучеты. По учету 2017 г. количество оленей оценивается в 400-420 тыс. особей. Главными причинами спада численности популяции после 2000 г. являются браконьерский промысел и высокая естественная смертность, связанная с ростом численности волка. Ситуация усугубляется снижением продуктивности популяции. Доля телят-сеголеток в популяции диких северных оленей Таймыра в 1969-1993 гг. составляла в среднем 23.5%. В последующие годы произошло снижение этого показателя – 21% в 2000 г., 18.4% в 2009 г., 15.5% в 2017 гг. [9].

Воздействие хищников, промысла и продукционных показателей на баланс численности оленей количественно вполне сопоставимы. Волки изымают из популяции ежегодно около 40 тыс. оленей, промысел – около 50-60 тыс. В связи со снижением продуктивности популяция “недополучила” в 2017 г. около 30 тыс. телят. Пополнение популяции при указанных выше данных о численности и доле в ней телят-сеголеток пополнение составило около 64 тыс. голов. Дисбаланс пополнения-отхода привел к снижению численности популяции в 2017 г. на 25-35 тыс. особей.

Прогнозные расчеты показали, что при существующей, крайне низкой продуктивности популяции (доля телят около 15% от общей численности оленей), высокой естественной смертности животных, истребительном воздействии антропогенных факторов (в основном, беспрецедентном браконьерстве), неизбежно катастрофическое падение численности и разгром популяции. По разным вариантам расчетов, это может наступить уже через 5-7 лет. Популяция сможет сохраниться в форме разрозненных мелких группировок, охота на которых экономически не выгодна.

В 1980-1992 гг. количество домашних оленей составляло около 70-75 тыс. голов, из которых около 40 тыс. выпасалось на левобережье Енисея, около 30 тыс. – в бассейне реки Хатанга. К 2000 г. численность домашних оленей снизилась до 40 тыс. голов - около 30 тыс. на левобережье Енисея, 10 тыс. в бассейне р. Хатанга [8]. В 2017 г. по статистическим данным количество домашних оленей в Таймырском Долгано-Ненецком муниципальном районе достигло 130 тыс. голов, однако почти все поголовье было сосредоточено на левобережье Енисея. В других частях Таймыра домашнее оленеводство продолжает находиться в стадии глубокого кризиса. Продукция рыбного промысла является здесь основным источником питания местных жителей. Добыча песца и клеточное звероводство не ведутся ввиду крайне низких закупочных цен на шкурки.

IV.

IV. Реформирование системы управления ресурсами

На наш взгляд, в современной ситуации, оптимальным является совместное рациональное использование таймырской популяции диких северных оленей со сложившимися очагами оленеводства вне зоны «дикаря» на левобережье Енисейского залива и на Восточном Таймыре - в низовьях р. Хатанга. Домашний северный олень является основой сохранения северных этносов, дикий северный олень, будучи основным промысловым видом аборигенов Севера, укрепляет их

социально-экономическое положение. В связи с этим, несмотря на проблемы, возникающие в домашнем оленеводстве при наличии диких сородичей, эти формы северного оленя могут сосуществовать и рационально использоваться [6, 11].

Дикие северные олени Таймыра – мигрирующий вид. Летом олени выпасаются в тундрах Таймыра, доходя до побережья Карского моря, зимние пастбища находятся в горах Путорана и районах южных притоков Хатанги в лесотундре. Для диких северных оленей важно сохранение сложившихся миграционных путей. Если пути будут перекрыты искусственными препятствиями (нефте- и газопроводы), то популяция погибнет. Строительство П-образных переходов не решает задачи, так как олени весьма пугливы и неохотно проходят под трубами, опасаясь шума. В поисках переходов животные концентрируются вдоль трубопроводов, вытаптывают и выедают корма, становятся легкой добычей браконьеров и хищников. Наиболее эффективным способом решения задачи сохранения миграционных путей является закапывание трубопроводов в землю в коридорах миграционных потоков северных оленей. Метод апробирован на Аляске при прокладке нефтепровода. Важным условием является сохранение традиционных районов отела, путем создания там зон покоя.

Выполнение этих требований является важнейшим условием, которое должно учитываться при планировании работы энергетических и горнодобывающих компаний на Таймыре.

Второе необходимое условие устойчивого использования ресурсов популяции диких северных оленей в современных экономических условиях – это восстановление контроля за промысловой деятельностью охотпользователей.

Современная охотничье-промысловая система является децентрализованной и включает многочисленные фермерские хозяйства, общины, промысловые бригады и индивидуальных охотников. В этих условиях немногочисленный штат охотинспекторов принципиально не может эффективно контролировать деятельность охотпользователей. В результате промысел ведется с нарушением объемов добычи, сроков и правил охоты. Фактическое количество изымаемых промыслом оленей не контролируется. Оценка изъятия по количеству выданных лицензий без отчетов об их использовании и в отсутствие данных о добычи оленей коренным населением фальсифицирует саму идею контроля со стороны органов госохотинспекции.

Как и промысловая система, так и система контроля также должна быть децентрализованной. Надзор за промысловой и хозяйственной деятельностью должен осуществляться как органами охотинспекции, так и самим населением, которое в наибольшей степени заинтересовано в рациональном, неистощительном использовании ресурсов диких северных оленей [2, 6].

Элементарной единицей жизнеобеспечения коренных жителей являются общины и фермерские хозяйства. Общины и фермерские хозяйства входят в Ассоциацию коренных народов Таймыра (в дальнейшем – Ассоциация) коллективный орган, представляющий интересы всего коренного населения, и решающий задачи, связанные с жизнеобеспечением жителей. Ассоциация может определять формы участия коренных жителей в контроле охотничье-промысловой деятельности (включая распределение квот между хозяйствами, контролирование количества фактически добытых оленей, локальный мониторинг и охрану среды обитания) на Таймыре. В рамках деятельности ассоциации может быть введена единая система цен на продукцию промысла для защиты фермеров от произвола перекупщиков или организованы свои подразделения по маркетингу, первичной переработке, транспортировке и сбыту продукции.

Права и ответственность Ассоциации при этом должны быть законодательно оформлены.

Структура системы управления популяцией диких северных оленей в современных экономических условиях также должна быть трехконтурной. Первый контур управления сходен с представленным выше. В его состав входят: объект управления – популяция диких северных оленей, блок определения целей – Министерство природных ресурсов и экологии Красноярского края, Ассоциация коренных малочисленных народов Таймыра, регулятор системы – охотинспекция с блоком научной поддержки и мониторинга, исполнительный орган – Ассоциация с входящими в нее фермерскими, родовыми хозяйствами и ТТП, ведущими промысел дикого оленя в соответствие с выделенной квотой. Замыкание контура управления осуществляется путем сравнения данных мониторинга о численности и половозрастной структуры популяции по результатам авиаучетов с желаемыми показателями.

Во втором контуре управления основную роль играет децентрализованная система контроля и управления Ассоциации на уровне входящих в нее хозяйств. Контролирующая роль органов охотинспекции в этих условиях может ограничиться выборочными проверками хозяйств и проверками по указаниям Ассоциации, если последняя не в состоянии урегулировать конфликт своими силами. Мониторинговые функции Ассоциации могут распространяться и на охотпользователей, не являющихся членами Ассоциации, однако реальный контроль здесь должен осуществляться охотинспекцией.

В децентрализованной промысловой системе, при передаче части контролирующих функций членам Ассоциации, возрастает образовательская и просветительская роль сотрудников Департамента охотресурсов среди населения в отношении мониторинга, рационального использования и охраны биологических природных ресурсов с использованием как новых информационных технологий и научных знаний, так и знаний, основанных на опыте и традиционных системах природопользования коренного населения Севера. Так, весьма затратной (по транспортным расходам) для научных организаций, но вполне доступной для кочующего сельского населения была бы работа по оценке запасов кормовых ресурсов в фиксированных точках территории для расшифровки космоснимков. Следует, однако, учитывать, что экологический мониторинг, ведущийся коренными жителями имеет локальный характер и ограничен в использовании инструментальных средств. Для оценки таких показателей, как общая численность популяции или оленеемкость ареала необходимо применение современных аэрокосмических средств и ГИС-технологий.

В третьем экосистемном контуре управления существенно изменилась роль отдельных компонентов. В первую очередь это касается популяции волка, который становится важнейшим фактором элиминации оленей. Второй важный фактор – кормовая база. Геоботанические исследования свидетельствуют об интенсивной делихенизации переходных пастбищ на Западном и Центральном Таймыре [12]. Данные об оленеемкости зимних пастбищ на территории Эвенкии отсутствуют. В этих условиях должны быть восстановлены действовавшие в советское время элементы управления экосистемного уровня - ограничение численности волка, строительство переходов через нитки газопровода, строительство и ремонт направляющих изгородей. Актуальной является задача инвентаризации пастбищ (с учетом выгоревших участков) и оценка оленеемкости на базе современных средств дистанционного зондирования и при широком участии сельского населения.

При реализации децентрализованной системы охотконтроля может быть использован опыт совместного управления популяциями карибу региональными властями и группами коренного населения на Севере Канады и на Аляске [13, 14]. Совместное управление (ко-менеджмент) предполагает участие общин в принятии решений по карибу и их использованию, включая охрану карибу и местообитаний, распределение квот и мониторинг среды с использований традиционных знаний. Федеральное правительство занимается управлением и восстановлением популяций из списка “угрожаемых видов”, а также популяциями, ареал которых выходит за пределы национальных границ.

Особенность ситуации с организацией системы управления и контроля на базе ко-менеджмента состоит в том, что в канадской модели арктической экономики детально отработаны вопросы аборигенного предпринимательства и экономического саморазвития местных сообществ, в то время, как патерналистской российской модели главную роль в регулировании природопользования играли государственные органы и отсутствует опыт управления охотничьими ресурсами с участием общественных организаций [15]. В связи с этим, конкретные формы взаимодействия государственных органов и Ассоциации с распределением прав и ответственности должны находиться и апробироваться в процессе формирования обновленной системы охотконтроля.

В целях устойчивого развития домашнего оленеводства на левобережье Енисея необходимо, чтобы поголовье оленей соответствовало кормовой емкости пастбищ. Существующее поголовье домашних оленей в данном районе – 126 тыс. голов, явно не соответствует оленеемкости пастбищ. В связи с этим на данной территории необходимо провести землеустроительные работы по оценке кормовой емкости пастбищ северных оленей.

На Восточном Таймыре в низовьях реки Хатанга целесообразно создать территорию традиционного природопользования (ТТП). Под этим термином понимается территории, на которых исторически сложились способы освоения коренными малочисленными народами окружающей природной среды на основе долговременного, экологически сбалансированного использования возобновляемых природных ресурсов без подрыва способности к устойчивому воспроизводству и снижения биоразнообразия [4]. Предложенная территория традиционного природопользования является районом компактного проживания одного из пяти коренных малочисленных народов Таймырского Долгано-Ненецкого муниципального района – долган.

Условия на Восточном Таймыре, где планируется создание ТТП, позволяют развивать домашнее оленеводство, вести организованный промысел диких северных оленей, добычу пушнины, рыбную ловлю, сбор дикоросов [6]. При этом промысел диких северных оленей должен вестись в соответствие с квотой, выделенной Ассоциацией, а добыча рыбы, куропаток, зайцев – с использований традиционных знаний и технологий ведения хозяйства жителей ТТП. Со стороны государственных органов необходима финансовая поддержка для развития традиционных отраслей хозяйства коренных малочисленных народов Севера, которая может осуществляться за счет средств бюджета округа в рамках специальной целевой программы.

V. Заключение

В заключении следует отметить, что коренные малочисленные народы Таймыра (ненцы, долганы, энцы, нганасаны, эвенки, эвены) в своей жизнедеятельности представляют единство с окружающей средой, с кормящим ландшафтом. Будучи территориально и экономически связанными с биогеоценозом, аборигены становятся его частью, то есть социобиогеоценозом. Это позволяет им сохранять и развивать устойчивую культуру экологически адаптированного хозяйствования. Разведение домашних северных оленей и промысел диких северных оленей создают аборигенам сферу приложения исторически сложившихся навыков, формируют их жизнеобеспечение, определяют их социально-экономическое положение, гарантируют сохранность уникальных этносов. Отсюда этносоциальный аспект сохранения и развития домашнего оленеводства, оптимизация промысла диких северных оленей по своей значимости представляется на начало XXI века и на перспективу первостепенно важным. При этом мы должны помнить, что с каждым годом возрастает экономическое значение северных оленей.

Возникает вопрос: может ли нынешнее поколение аборигенов жить без оленей и обходится без оленеводства? Да, может. Но в этом случае малочисленнее аборигены Таймыра и других регионов Крайнего Севера растворятся среди основного населения России с неизбежной потерей языка, культуры, традиции. Народ как этническая единица исчезнет и никогда не возродится. Вот почему сохранение традиционных отраслей Севера жизненно необходимы для сохранения коренных народностей. Для сохранения традиционных отраслей хозяйствования в современных социально-экономических условиях необходима разработка и реализация системы управления природопользованием построенной на основе как научных, так и традиционных знаний коренных народов Севера.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

[1] Мухачев А.Д., Лайшев К.А. Мир оленевода. Новосибирск, 2001. 324 с.

[2] Клоков К.Б., Шустров Д.Н. Традиционное оленеводческо-промысловое хозяйство Таймыра. М.: Наука, 1999. 124 с.

[3] Павлов Б.М., Савельев В.Д., Куксов В.А. Рациональное использование ресурсов диких северных оленей таймырской популяции. Метод. Рекомендации. Новосибирск: СО ВАСХНИЛ, 1976. 40 с.

[4] Сыроечковский Е. Е. Северный олень. М: Агропромиздат, 1986. 283 с.

[5] Михайлов В.В., Колпащиков Л.А. К вопросу управления таймырской популяцией диких северных оленей // Север и рынок: формирование экономического порядка, 2014. 3(40). С. 156-162.

[6] Колпащиков Л.А., Михайлов В.В., Мухачев А.Д. Экосистема “северные-олени-пастбища-человек”. СПб.: Политех, 2011. 336 с.

[7] Kolpaschikov L.A., Mikhailov V.V., Russell D. The role of harvest, predators, and socio-political enviroment in the dynamics of the Taimyr wild reindeer herd with some lessons for North America // Ecology and Society, 2015, 20 (1),

[8] Карелов А.М., Драган А.В. Сравнительная оценка эффективности домашнего и дикого оленеводства Енисейского Севера // Сборник трудов «Дикий северный олень». 1983. С. 16-29.

[9] Клоков К.Б., Хрущев С.А. Оленеводческое хозяйство коренных народов Севера России: информационно-аналитический обзор. Т. 1. СПб.: ВВМ, 2004. 182 с.

[10] Бондарь М.Г., Колпащиков Л.А. Роль особо охраняемых природных территорий в сохранении таймырской популяции диких северных оленей // Материалы Международной конференции «Живая природа Арктики: сохранение биоразнообразия, оценка состояния экосистем» (Архангельск, 30 октября-3 ноября 2017 г.). Архангельск, 2017. С. 34-36.

[11] Klein, D. R., and L. A. Kolpaschikov. 1991. Current status of the Soviet Union’s largest caribou herd. Pages 251-255 in C. E. Butler and S. P. Mahoney, editors. 4th North American Caribou Workshop, St. John's Newfoundland, October 31-November 3, 1989 Proceedings. Newfoundland and Labrador Wildlife Division, St. John’s, Newfoundland, Canada.

[12] Пикулева И.Н., Жиганова Е.С. Динамика лишайниковых пастбищ в Таймырском автономном округе. Материалы Международной научно-практической конференции «Биологические ресурсы Таймыра и перспективы их использования». СПб.: Астерион. 2003. С. 129-139.

[13] Russell D. E., and B. Ulvevadat. Conclusion. Pages 151-158 in B. Ulvevadet and K. Klokov, editors. Family-based reindeer herding and hunting economies, and the status and management of wild reindeer/caribou populations. Arctic Council. Centre for Sami Studies, 2004. University of Tromsø, Norway.

[14] Nuttall, M., F. Berkes, B. Forbes, G. Kofinas,T. Vlassova, and G. Wenzel 2012. Climate change impacts on indigenous peoples of the Russian North. In C. J. Cleveland, editor. Encyclopedia of earth. Environmental Information Coalition, National Council for Science and the Environment, Washington, D.C., USA. [online] URL: http://www.eoearth.org/view/article/151245/

[15] Pelyasov A. Northern Futurology: The Next 20 Years. Northern Sustainabilities, vol. 2, 2014 IASSA. Pr. George Canadian. May 22-26-2014/ 8 Int. Congress of Arctic Soc. Sciences (IC ASS-VIII).

Управление страховыми тарифами в сельскохозяйственном страховании в зависимости от охвата страхового поля

Моисеев А.В.
Пензенский государственный университет
Пенза, Россия
moigus@mail.ru

Киндаев А.Ю.
Пензенский государственный технологический университет
Пенза, Россия
ale-kindaev@yandex.ru

***Abstract* — Insurance is a powerful tool for smoothing losses arising in the course of economic activity. A key element of the review process is to determine the insurance risk insurance for different approaches formation of the insurance premium. Naturally, the more appropriate approach is to determine the risk-based insurance model, with subsequent correction results. In the previous works as authors the simulation model of process of insurance of a grain yield of cultures is constructed. The assumption that insurance captured all agricultural producers of some compact area was significant assumption of model. Today agricultural insurance captured not all agricultural producers in this connection consideration of influence of coverage of the insurance field on change of insurance tariffs is relevant. In work influence of number of the insured agricultural producer's grain on insurance tariffs in agricultural insurance is shown. The research is conducted with use of the simulation model developed by authors where special attention is paid to economic feasibility of insurance of producers for the purpose of minimization of risks at cultivation of grain crops. Consideration of the matters is relevant in terms of elaboration of state policy of support of agricultural producers. The support measures directed to compensation of the insurance premiums paid by producers of agricultural products to insurance companies is the most effective for support of agricultural producers, accepted in many countries of the world, unlike direct compensations for the lost harvest. Further researches will be directed to studying of impact of increase in production efficiency of insurance companies, grain on change of the price policy.**

Ключевые слова — управление, риск, имитационное моделирование, страхование, сельское хозяйство.

I. Введение

Ключевой информацией для страховой компании при формировании страховых тарифов являются данные страховой статистики. Если данные о результатах страхования за предыдущие периоды отсутствуют или ограничены то прибегают к математическому моделированию риска. В работе [1] разработана имитационная модель расчёта рисков в агрострахования учитывающая такие особенности, как системность погодных рисков, асимметрия информации. В настоящей работе рассматривается влияние изменения числа желающих страховать риски выращивания зерновых на страховые тарифы.

Важность развития страхования в сельском хозяйстве для обеспечения продовольственной безопасности и экономического развития регионов рассматривается в работах [2,3,4]. При рассмотрении результатов моделирования на основе имитационной модели [1] существенным предположением являлось полный охват сельскохозяйственных предприятий страхованием. Данное предположение было продиктовано развитием государственных программ субсидирования страхования в сельском хозяйстве и увеличением доли тех производителей, которые участвуют в страховании [10]. Однако в 2017 г. введена единая субсидия, в которую включены расходы бюджета на сельскохозяйственное страхование. Реализация принципа софинансирования привела к сокращению общей величины господдержки страхования почти на треть, что снизило ее эффективность. В этих условиях считать возможным стопроцентный охват страхового поля нереально [5].

II. Кластеризация муниципальных образований

Как правило, границы субъектов страны зачастую не совпадают с границами природно-климатических зон. В силу огромной территории страны, регионы имеют разную территорию, различающуюся как по площади, так и по экономико-географическим характеристикам. Даже в рамках одного субъекта условия для выращивания сельскохозяйственных культур могут сильно отличаться друг от друга [8,11], поэтому применение тарифной политики применительно к административно-территориальной единицы становится затруднительным.

Для выявления однородных муниципальных образований четырех областей Поволжья (Пензенской, Самарской, Саратовской и Ульяновской) проведен кластерный анализ по таким культурам как: пшеница яровая, пшеница озимая, рожь озимая и ячмень яровой, за период с 1985 по 2017 годы. Результаты представлены на рис. 1–4.

В результате проведения кластерного анализа по каждой из четырех культур на уровне max 0,8d образовались два кластера. Цветом выделены кластеры с высокой урожайностью, белым цветом – кластеры с невысокой урожайностью. Для более наглядного представления результатов исследования, полученные данные сведены в таблицу I. В результате в кластер с высокой урожайностью по четырём культурам были определены 13 муниципальных образований Саратовской области, 3 муниципальных образования Самарской области, 9 муниципальных образований Ульяновской области и 11 муниципальных образований Пензенской области. В кластер с низкой урожайностью по четырём культурам были определены 10 муниципальных образований Саратовской области, 3

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-10-00859

©2019 ИПУСС РАН, СамГТУ, IEEE

муниципальных образования Самарской области, 4 муниципальных образования Ульяновской области и 3 муниципальных образования Пензенской области. Высокие урожайности по озимым культурам и невысокие по яровым культурам отмечаются в 6 муниципальных образованиях Саратовской области, 2 муниципальных образованиях Самарской области и одном муниципальном образовании Пензенской области. Высокие урожайности по яровым культурам и невысокие по озимым культурам отмечаются в одном муниципальном образовании Ульяновской области и 2 муниципальных образованиях Пензенской области.

ТАБЛИЦА I. РЕЗУЛЬТАТЫ КЛАСТЕРИЗАЦИИ МУНИЦИПАЛЬНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ ИССЛЕДУЕМЫХ ОБЛАСТЕЙ

Район	Пш. оз.	Пш. яр.	Яч. яр.	Рожь оз.	Район	Пш. оз.	Пш. яр.	Яч. яр.	Рожь оз.
Аркадакский	в	в	в	в	Приволжский	в	н	в	н
Балашовский	в	в	в	в	Сергиевский	в	н	в	в
Романовский	в	в	в	в	Ставропольский	в	в	в	в
Ртищевский	в	в	в	в	Сызранский	в	в	в	в
Самойловский	в	в	в	в	Хворостянский	н	н	в	в
Турковский	в	в	в	в	Челно-Вершинский	в	н	в	в
Аткарский	в	в	в	в	Шенталинский	в	н	в	в
Екатериновский	в	в	в	в	Шигонский	в	в	в	н
Калининский	в	в	в	в	Барышский	н	н	н	н
Петровский	в	в	в	в	Вешкаймский	в	в	в	в
Базарнокарабулакский	в	в	в	в	Инзенский	н	н	н	н
Балтайский	н	н	н	н	Карсунский	н	в	в	в
Вольский	в	н	н	н	Кузоватовский	н	в	в	в
Воскресенский	в	н	н	в	Майнский	в	в	в	в
Новобурасский	в	в	в	в	Мелекесский	в	в	в	в
Хвалынский	в	в	в	в	Николаевский	н	н	в	н
Саратовский	в	н	н	в	Новомалыклинский	в	в	в	в
Татищевский	в	в	в	н	Новоспасский	н	в	в	в
Лысогорский	в	н	н	в	Павловский	н	н	н	н
Красноармейский	н	н	н	н	Радищевский	в	н	в	н
Балаковский	в	н	в	в	Сенгилеевский	н	в	в	н
Духовницкий	н	н	н	в	Старокулаткинский	н	н	в	н
Ивантеевский	н	н	н	в	Старомайнский	в	в	в	в
Марксовский	н	н	н	в	Сурский	в	в	в	в
Пугачевский	в	н	в	в	Тереньгульский	н	н	в	н
Ершовский	н	н	н	н	Ульяновский	в	в	в	в
Краснокутский	в	н	н	в	Цильнинский	в	в	в	в
Краснопартизанский	н	н	в	н	Чердаклинский	в	в	в	в
Ровенский	н	н	н	н	Базарносызганский	н	н	н	н
Советский	в	н	н	в	Башмаковский	в	в	в	в
Федоровский	в	н	н	в	Бековский	в	в	в	в
Энгельсский	н	н	н	в	Белинский	в	в	в	в
Ал.Гайский	н	н	н	н	Бессоновский	в	в	в	н
Дергачевский	н	н	н	н	Вадинский	н	н	в	н
Новоузенский	н	н	н	н	Городищенский	н	н	в	н
Озинский	н	н	н	н	Земетчинский	в	в	в	н
Перелюбский	н	н	н	н	Иссинский	в	в	в	н
Питерский	н	н	н	н	Каменский	в	в	в	в
Алексеевский	н	н	н	н	Камешкирский	н	н	в	в
Безенчукский	в	н	в	в	Колышлейский	в	в	в	в
Богатовский	в	н	н	в	Кузнецкий	н	в	в	н
Большеглушицкий	н	н	н	в	Лопатинский	н	н	в	н
Большечерниговский	н	н	н	н	Лунинский	в	в	в	в
Борский	в	н	н	н	М.Сердобинский	н	н	в	н
Волжский	в	н	н	в	Мокшанский	в	в	в	в
Елховский	в	н	в	н	Наровчатский	в	н	н	в
Исаклинский	в	н	в	в	Неверкинский	н	н	н	н
Камышлинский	н	н	в	н	Нижнеломовский	в	н	н	н
Кинельский	в	н	в	в	Никольский	н	н	н	н
Кинель-Черкасский	в	в	в	в	Пачелмский	н	в	в	н
Клявлинский	н	н	в	в	Пензенский	в	в	в	в
Кошкинский	в	н	в	в	Сердобский	в	в	в	в
Красноармейский	в	н	в	в	Сосновоборский	н	н	н	н
Красноярский	в	н	в	в	Спасский	в	в	в	в
Нефтегорский	н	н	н	в	Тамалинский	в	в	в	в
Пестравский	н	н	н	н	Шемышейский	н	н	в	н
Похвистневский	в	н	в	в					

[a]где «в» – кластер с высокой урожайностью, «н» – кластер с низкой урожайностью.

Рис. 1. Кластеризация муниципальных образований за ряд лет. Пшеница озимая

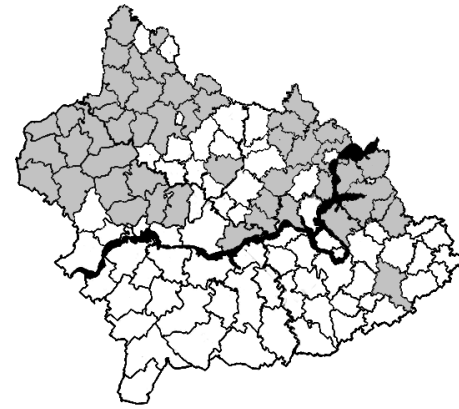


Рис. 2. Кластеризация муниципальных образований за ряд лет. Пшеница яровая

Рис. 3. Кластеризация муниципальных образований за ряд лет. Ячмень яровой

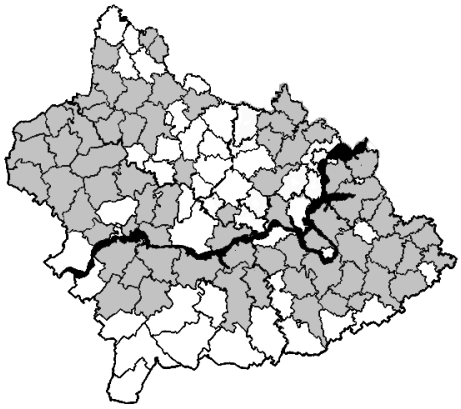


Рис. 4. Кластеризация муниципальных образований за ряд лет. Рожь озимая

III. АЛГОРИТМ ИДЕНТИФИКАЦИИ РИСКА

Стандартные процедуры генерации случайных чисел без труда позволяют получить набор не коррелируемых нормально распределенных случайных величин. Однако, в нашем случае имеет место быть случайный вектор **X** имеющий нормальный закон распределения с матрицей корреляций отличной от единичной. Данный факт изучен в [6,8]. Рассмотрим алгоритм генерации такого вектора.

Рассмотрим случайный вектор, распределенный по нормальному закону $\mathbf{X} = (X_1, X_2, \ldots, X_N)^T$. Именно такую величину можно рассматривать в качестве модели урожайности культуры в организациях, расположенных в определенной области. Для дальнейшего рассмотрения удобнее перейти к нормированной случайной величине

$$Y_i = \frac{X_i - E(X_i)}{\sigma(X_i)},\ i = 1,\ldots,N\ , \qquad (1)$$

где $E(X)$ – математическое ожидание, а $\sigma(X)$ стандартное отклонение.

Ковариационная матрица $\Sigma_{\mathbf{X}} = E(\mathbf{X} - E(\mathbf{X}))(\mathbf{X} - E(\mathbf{X}))^T$ не является диагональной, поэтому матрица $\Sigma_{\mathbf{Y}} = E(\mathbf{Y}\mathbf{Y}^T)$ (корреляционная матрица случайного вектора **X**) не является единичной. Рассмотрим линейное преобразование **Y**=**T**·**Z**, где **T** – не вырожденная матрица $N \times N$. В этом случае **Z**=$\mathbf{T}^{-1}$·**Y**. Будем искать такую матрицу **T**, что $\mathbf{Z}\mathbf{Z}^T = \mathbf{T}^{-1}\Sigma_{\mathbf{Y}}(\mathbf{T}^{-1})^T$ есть диагональная матрица. В этом случае можно утверждать, что **Z** есть случайный вектор, состоящий из некоррелированных, нормально распределенных компонент.

Сформулированная выше задача является задачей диагонализации матрицы $\Sigma_{\mathbf{Y}}$. Для решения поставленной задачи следует найти собственные вектора корреляционной матрицы, из которых, как столбцов, составлена матрица **T**. Собственные значения определяют дисперсию вектора **Z**.

Таким образом, получаем следующую схему генерации случайного нормального вектора с наперёд заданной матрицей парных корреляций:

1) задать положительно определенную, симметричную матрицу парных корреляций Σ размера $N \times N$;
2) вычислить собственные значения $\lambda_i,\ i = 1,\ldots,N$. В силу симметричности матрицы Σ и её положительной определённости данная задача имеет решение, причём $\lambda_i > 0$;
3) для каждого собственного значения λ_i определить собственный вектор;
4) из собственных векторов, как из столбцов составить матрицу **T**;
5) сгенерировать нормальные независимые случайные величины $Z_i,\ i = 1,\ldots,N$, такие что $E(Z_i) = 0\ \ \forall i = 1,\ldots,N$ и $D(Z_i) = \lambda_i$;
6) осуществить линейное преобразование $\mathbf{Y} = \mathbf{T} \cdot \mathbf{Z}$.

В результате реализации алгоритма получим вектор из N случайных компонент, имеющих нулевое математическое ожидание и единичную дисперсию с заданной матрицей корреляций. Выполняя преобразование, обратное (1), получим желаемый вектор $\mathbf{X} = (X_1, X_2, \ldots, X_N)^T$.

Использование возможности генерации случайного вектора с заданной матрицей парных корреляций позволяет реализовать расчет результатов страхования в сельском хозяйстве [7]. Входными параметрами моделирования выступают страховые тарифы, в зависимости от которых определяется финансовый результат страховой компании, а также результат сельскохозяйственного производителя. Средние значения урожайности, цен, посевных площадей определены на основе статистических данных [8,9].

IV. ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РИСКА

Рассмотрим реализацию сформулированного выше алгоритма применительно к сельскому хозяйству, а именно выращиванию пшеницы яровой. Рассмотрим 27-мерную случайную величину с нулевым математическим ожиданием и единичной дисперсией. Выполним генерацию 250 значений с использованием пакета *MATLAB*. На основе эмпирических данных об урожайности пшеницы яровой за период с 1985 по 2017 годы по районам Пензенской области, была получена оценка корреляционной матрицы, которая была взята за исходные данные. Используя данную матрицу, получены 250 возможных итогов урожайности следующего года. После чего, были рассчитаны результаты страхования пшеницы яровой для различных значений ставки формирования страховых взносов.

На рис. 5 представлены модельные результаты прибыли/убытков по районам Пензенской области с учетом государственной поддержки.

Рис. 5. Распределение смоделированных средних значений прибыли/убытков районов Пензенской области с учетом государственной поддержки в млн.руб.

Из рис. 5. следует, что государственная поддержка способствует уменьшению убытка и увеличению прибыли у районов, также в двух районах убыток сменился на прибыль. Из этого следует, что заинтересованность в страховании в основном имеют хозяйства районов со средней урожайностью (попадающие в кластер с высокой урожайностью, но ниже средней по кластеру, и попадающие в кластер с низкой урожайностью, но выше средней по кластеру). Данный факт существенно влияет на формирование страховых тарифов. Рассмотрение различных групп хозяйств по Пензенской области и по четырем областям Поволжья показало существенный разброс размеров тарифных ставок, обеспечивающих 95% безубыточность страхования. По отдельно взятой Пензенской области модельное значение тарифа по некоторым зерновым культурам было выше 35% (не приемлемый уровень для сельхозпроизводителей). Если рассматривать хозяйства всех четырёх областей, то разброс получается от 10% до 18%.

V. Заключение

Результаты имитационного моделирования по Пензенской области на основе статистических данных, представленных в [7], позволяют сказать, что страховой тариф возможно снизить, это делает привлекательным страхование для большего числа участников рынка, однако, увеличение охвата рынка по сниженным тарифам приводит к катастрофическим убыткам в неурожайный год. Статистический анализ урожайности зерновых культур четырех областей Поволжья (Пензенской, Самарской, Саратовской и Ульяновской) за период с 1985 год по 2017 год показал, что неурожайный год достаточно редкое явление (раз в 9-10 лет). Таким образом, вполне может быть ситуация, при которой будет ощущение финансовой и страховой защищенности с последующим кризисом для страховых компаний, работающих по сниженным тарифам.

Одной из возможностей преодоление проблемы является финансовое участие правительства в программах сельскохозяйственного страхования в растениеводстве, что позволит поддержать доходность отрасли, что в свою очередь повысит ее инвестиционную привлекательность и предотвратит отток ресурсов из нее в долгосрочной перспективе, а также будет способствовать ослаблению социальной, политической и межнациональной напряженности в обществе. Кроме того, само по себе сельскохозяйственное страхование без поддержки со стороны государства не способно обеспечить адекватную защиту сельхозпроизводителей.

Список литературы

[1] Moiseev A.V., Kindaev A.Yu. Simulation of insurance risks // Journal of Applied Engineering Science. 2015. T. 13. № 4. C. 257-264.

[2] Ifft, J., Kuethe, T. and Morehart, M. Does federal crop insurance lead to higher farm debt use? Evidence from the Agricultural Resource Management Survey (ARMS). // Agricultural Finance Review. 2015, Vol. 75 Iss 3 pp. 349 – 367.

[3] Juyun Y. The Optimization Path and the Integration Mechanism of Agricultural Insurance in the Charge of Government. // Agriculture and Agricultural Science Procedia. 2010, Vol. 1, pp. 258-261.

[4] Pavlov A., Kindaev A., Vinnikova I., Kuznetsova E. Crop insurance as a means of increasing efficiency of agricultural production in Russia // International Journal of Environmental and Science Education. 2016. T. 11. № 18. C. 11863-11868.

[5] Perez-Blanco, C.D., Delacamara, G., Gomez, C.M. Revealing the willingness to pay for income insurance in agriculture. // Journal of Risk Research. 2015. DOI: 10.1080/13669877.2015.1042505

[6] Qiujie Zheng, H. Holly Wang & Qing Hua Shi. Estimating bivariate yield distributions and crop insurance premiums using nonparametric methods, Applied Economics. 2014. 46:18. 2108-2118

[7] Киндаев А.Ю., Моисеев А.В. Моделирование страхования в сельском хозяйстве с учетом коррелированности результатов по региону // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. 2015. №3. С.175-181.

[8] Киндаев А.Ю., Моисеев А.В. Статистический анализ урожайности зерновых с целью моделирования процесса страхования сельскохозяйственных // Актуальные проблемы современных общественных наук: диалог общества и власти: материалы IV Междунар. науч.-практич. Интернет-конф. – Уфа: БАГСУ. 2014. С.41-47.

[9] Киндаев А.Ю., Моисеев А.В. Анализ результатов управления рисками неурожая методами страхования / А.Ю. Киндаев, А.В. Моисеев // Приложение математики в экономических и технических исследованиях. – 2015. – № 1(5). – С. 59-64.

[10] Страхование урожая сельскохозяйственных культур и посадок многолетних насаждений с государственной поддержкой: актуарная экспертиза / В.Н. Баскаков, Е.К. Крылова, А.В. Селиванова и др.; по ред. д.ф.-м.н., проф. В.Н. Баскакова. М.: Янус-К, 2016. – 320 с.

[11] Киндаев А.Ю., Павлов А.Ю., Моисеев А.В. Специализация размещения сельскохозяйственных культур в Пензенской области с учетом экономико-географического положения района. – Пенза: ПензГТУ, 2016. – 130 с.

Интерсубъективное управление: модель проблемной ситуации

Моисеева Т.В.
Институт проблем управления сложными системами РАН
Самара, Россия
mtv-2002@yandex.ru

***Abstract* — Problem situation modeling in intersubjective management plays an important role in promoting a new theory, because the organization of the way out of a problem situation searching requires some formalization. It would help to use modern information and communication tools in order to optimize decision-making processes by the community of actors. Intersubjective management is aimed at managing the interaction of heterogeneous actors who find themselves in a problem situation where they don't see the way out. Behavior of a group of actors is in many respects similar to the behavior of a team of people (agents) united for the organization of collective activities. Therefore, while constructing a model of problem situation, an analogy was drawn between the work of the team of agents and the behavior of the actors community.**

Ключевые слова — интерсубъективное управление, проблемная ситуация, гетерогенные акторы, модель проблемной ситуации, команда

I. Введение

Интерсубъективное управление [1] направлено на управление взаимодействием неоднородных акторов, оказавшихся в проблемной ситуации, из которой они ищут выход. Поведение группы акторов во многом аналогично поведению команды людей (агентов), объединившихся для организации коллективной деятельности.

Основные характеристики команды, отличающие ее от других групповых форм, определенные в [2], включают в себя единство цели членов команды, их совместную автономную деятельность, основанную на непротиворечивости интересов, коллективную и взаимную ответственность за результаты солидарной деятельности, устойчивость команды, базирующуюся на оправдываемости взаимных ожиданий агентов, а также взаимодополняемость ролей и выполняемых функций, дающих синергетический эффект от взаимодействия членов команды.

Ключевые характеристики интерсубъективного сообщества определим как общую проблемную ситуацию, в которой оказались акторы, осознание ими невозможности найти выход самостоятельно, не прибегая к помощи сообщества, ответственность за результаты принимаемых решений, основанную на необходимости найти выход, неоднородность акторов.

Наиболее важные отличия принятия решения при интерсубъективном управлении от традиционного управления, применяемого при регулировании деятельности людей в команде, заключаются в том, что акторы принимают решение, что нужно делать (а не как это сделать) (табл. 1).

ТАБЛИЦА I. Отличия принятия решения при традиционном и интерсубъективном управлении

Характеристика	Вид управления	
	Традиционное управление	***Интерсубъективное управление***
Кто определяет цель совместной деятельности	Руководитель	Акторы
Главная цель	Минимизация ресурсов	Поиск выхода из проблемной ситуации
Стимулирование и мотивация	Наличие управляющего воздействия	Внутренняя мотивация
Что делать?	Известно, что нужно делать. Необходимо решить, как это сделать	Неизвестно, что нужно делать
Преимущественно используемые знания	Формальные знания	Знания, основанные на понимании

Сравним работу сообщества гетерогенных акторов по поиску выхода из проблемной ситуации с деятельностью команды работающих людей. В [3] был дан ответ на вопрос, какая команда и в каких условиях может оказаться лучше – та, которая содержит группу узких специалистов, каждый из которых осуществляет деятельность только в определенной области, или специалистов широкого профиля, способных выполнять различные работы, возможно, и хуже профессионалов в соответствующей области, но более широкого спектра. Для определения «оптимального» соотношения между средней квалификацией, гетерогенностью и «специализированностью» команды рассматривались две команды. В первой неоднородность квалификаций и уровень специализации был достаточно высок, каждый агент умел хорошо исполнять только один вид работ. Во второй агенты могли выполнять разные работы. Средний уровень профессионализма и квалификации агентов были выбраны одинаковые. Набор и объем работ, выполняемых командой, был фиксирован. С учетом предположения, что каждый агент может выполнять любой объем работ, было доказано, что иметь «узких» специалистов, покрывающих весь спектр решаемых командой задач, при одной и той же средней квалификации команды более выгодно, чем формировать команду из специалистов широкого профиля, но более низкой квалификации. Сочтем это доказательство косвенным подтверждением того, что формирование сообщества гетерогенных (а не однородных) акторов является оптимальной структурой для поиска выхода из проблемной ситуации.

Сообщество акторов – это тоже команда, члены которой могут самостоятельно принимать решения о том, какую работу и в каком объеме им нужно

©2019 ИПУСС РАН, СамГТУ, IEEE

выполнить, поэтому несмотря на кардинальные отличия, связанные с причиной формирования в первом случае команды людей, действующих сообща, и во втором - группы акторов, для моделирования проблемной ситуации воспользуемся подходами, применяемыми при построении моделей команд.

II. Интерсубъективное управление разрешением проблемной ситуации

Специфика интерсубъективного управления связана с управлением взаимодействием неоднородных акторов A_n, n = (1, 2, …, N), оказавшихся в проблемной ситуации PS, из которой они ищут выход. Осознавший себя в проблемной ситуации актор в большинстве случаев сталкивается с необходимостью привлечения ресурсов других людей R_l, l=(1, 2, …, L) для ее разрешения, иначе, если бы собственных ресурсов оказалось достаточно, выход из ситуации он нашел бы самостоятельно. Аккумуляция усилий акторов при их объединении в сообщество может дать синергетический эффект от взаимодействия гетерогенных акторов.

Обладая некоторыми персональными знаниями и имея определенное предпонимание ситуации, акторы объединяются на принципах самоорганизации во временные сообщества G_i (G_i= (A1, …, An), где i=(1, …, I)), которые существуют, пока проблемная ситуация актуальна, и распадаются по мере ее разрешения. По сути такое сообщество можно назвать «творческой командой» (в терминологии Новикова Д.А.), которая включает в себя людей «с самыми разнообразными познаниями и навыками, как правило, для достижения разового результата» [2, с. 20].

Далее в ходе ведения переговоров акторы стараются постичь смысл, который вкладывают прочие акторы в видение проблемной ситуации. Поскольку собственных знаний им оказалось недостаточно для разрешения ситуации, они осознают необходимость рассмотреть ситуацию с разных позиций и точек зрения, на которых стоят другие участники проблемной ситуации, причем принятие решения «большинством голосов» их не устраивает. Изначально мнения акторов могут оказаться разнонаправленными, хотя некоторые решения разных акторов, имеющих свои мысли, мнения, цели и ресурсы, могут совпасть, или один актор может поддерживать несколько решений.

В начале процесса обсуждения каждый актор A_n одобряет некоторое множество решений $B_n = (b_1, b_2 …, b_l)$. Результатом коммуникаций в поисках смысла ситуации является выстраивание единого смыслового пространства, разделяемого всеми акторами. Особенно важен всесторонний анализ и выявления разных смыслов, которые вкладывают неоднородные акторы в понятие одной и той же проблемной ситуации, поскольку их попытки разрешить ее могут потерпеть неудачу, если гетерогенные участники вкладывают различные смыслы в ситуацию (а, следовательно, по-разному формулируют для себя проблему, которую нужно будет решать) и в результате не смогут прийти к единому решению, подходящему для всех. Совместное урегулирование проблемной ситуации становится возможным благодаря тому, что акторы стремятся к принятию решения путем консенсуса, понимая, что иначе решение может быть не найдено вообще. В проблемных случаях поведение разных субъектов становится похожим, они ведут себя более согласованно, и, как следствие, скорее «сговариваются» и быстрее достигают намечаемых целей [3]. Благодаря феномену конвергентности (т.е. обеспечению необходимых условий устойчивой сходимости информационных процессов к намечаемым целям) в ходе обсуждения видимые акторами смыслы и решения начинают сходиться. Акторы стремятся к схождению, поскольку разрешение проблемы жизненно важно для каждого из них, а собственных ресурсов (в том числе, и интеллектуальных) им не хватает. Внутреннее стимулирование и мотивация к разрешению ситуации подталкивают акторов к получению решения.

Обсуждение продолжается, если $B_1 \cap B_2 \cap … \cap B_n = Ø$.

Как только $B_1 \cap B_2 \cap … \cap B_n \neq Ø$, это значит, что акторы пришли к консенсусу и нашли общее, удовлетворяющее всех решение, или инновационную идею, $b_{итог} = B_1 \cap B_2 \cap … \cap B_n$ [4].

То, что интерсубъективное управления является ad-hoc теорией, учитывающей уникальность ситуации, развивающейся в реальном масштабе времени, которая разрабатывается и применяется самими акторами, оказавшимися именно в этой проблемной ситуации, усугубляет ситуацию тем, что однажды выстроенная модель проблемной ситуации не может быть повторно использована, хотя подобная ситуация и может повториться впоследствии, но в ней окажутся другие люди, в другое время, в других условиях.

III. Работа агентов в команде и моделирование проблемной ситуации

Процесс формирования команды состоит из трех итерационно выполняемых этапов, взаимосвязанных друг с другом: формирования ее состава, распределения функций (ролей) и распределения объемов работ [5].

Традиционная задача, связанная с распределением работ в команде выглядит следующим образом. Команда представляет собой множество агентов A_n, n = (1, 2, …, N), которые могут выполнять некоторые функции. Известен суммарный объем работ R, который требуется выполнить ($R \geq 0$). Каждый i-тый агент характеризуется эффективностью его деятельности r_i, которая отражает тип агента, или его возможности по выполнению работы. Необходимо распределить работы между агентами.

Возможны два варианта постановки задачи.

При дискретной постановке объем работ, который может выполнять i-тый агент, фиксирован, и, следовательно, если агент работает, то переменная x_i принимает значение 1, а если не работает, то 0. Суммарный объем работ не превышает возможности всех агентов по выполнению производственных задач. Общим недостатком дискретных задач является то, что лишь малая их часть имеет эффективные (полиномиальной сложности) методы решения.

При непрерывной постановке i-тый агент может выполнить любой объем работ, не превышающий d_i.

Второй вариант, при котором объем работ агентов не фиксирован, более близок задаче выполнения различных активностей акторами при поиске выхода из проблемной ситуации. Обозначив объем работ, выполняемый i-тым агентом, через x_i, можно сформулировать непрерывную задачу, целевой функцией которой будет являться минимизация суммарных затрат.

$$\sum_{i \in N} r_i x_i \to \min, x_i \in [0; d_i]$$

$$\sum_{i \in N} x_i \geq R$$

При выполнении условия

$$\sum_{i \in N} d_i \geq R$$

данная задача имеет простое решение.

Отметим, что $r_i x_i$ - это, по сути, вклад каждого агента i в общее дело, когда он может выполнить работу в объеме x_i, пропорционально своему типу r_i (квалификации, производственной возможности и пр.). Причем в реальной ситуации, а не в ее модели, придется учитывать и такие негативные факторы, как нежелание агента выполнять какую-то работу, сопротивление изменениям или что-то еще.

Агентов в [2] рекомендуется расположить в порядке возрастания себестоимостей их работ и последовательно максимально загружать до тех пор, пока не будет распределен весь объем работ R.

Если известны функции затрат агентов $c_i(x_i , r_i)$, то задача минимизации суммарных затрат

$$\sum_{i \in N} c_i(x_i, r_i) \to \min, x_i \in [0; d_i]$$

при ограничении

$$\sum_{i \in N} x_i \geq R$$

является типовой задачей условной оптимизации [6, 7].

Такое распределение работ логично при совместной работе людей в команде, направленной на реализацию некоторого проекта, в традиционных организационных структурах, когда обязанности распределяет руководитель, находящийся на более высоком уровне иерархической лестницы, чем исполнители. В современной математической экономике и исследовании операций [8, 9, 10] накоплен существенный опыт постановки и решения задач эффективного формирования и функционирования команд, в основном, направленных на оптимизацию распределения ресурсов для выполнения определенной работы. Вид и объем работ, количество ресурсов разного вида, а также количество агентов и их квалификации обычно известны заранее.

При разрешении проблемных ситуаций акторами складывается иная ситуация. Сообщество формируется, основываясь на принципе лоурархии, а не иерархии. Какое решение будет способствовать выходу из сложившейся ситуации, заранее не известно. Даже если имеющиеся в распоряжении каждого актора ресурсы изначально могут быть «посчитаны», то в процессе поиска решения, если актор сочтет, что ресурсов его собственных, сложенных с ресурсами других акторов, недостаточно, он постарается изыскать дополнительные возможности привлечения средств. Совместная деятельность такой группы направлена в первую очередь не на оптимизацию (что в подавляющем большинстве случаев равносильно минимизации) ресурсов, а на получение решения практически «любой ценой», когда акторы готовы вкладывать ресурсы по мере необходимости.

В проблемной ситуации акторы An, n = (1, 2, …, N) стремятся найти решение, используя собственные ресурсы и привлекая, при необходимости, дополнительные, и совместно выполняя объем работ R по поиску выхода из нее, ограниченный только их физическими возможностями и наличием ресурсов.

Усилия каждого актора – это выполняемый им объем работ x_i.

Гетерогенные акторы отличаются производительностью r_i, $i \in N$.

В отличие от модели поведения агентов в модели поведения акторов, направленного на разрешение проблемной ситуации, усилия каждого актора $r_i x_i$, а также их суммарные усилия $\sum r_i x_i$ не будут стремиться к минимуму. Объем работ, выполняемых актором, может быть ограничен наличием ресурсов определенного вида у данного актора и его желанием вложить определенную часть имеющегося ресурса. Причем величину вкладываемого ресурса актор не всегда будет стремиться минимизировать. Высокая внутренняя мотивация к разрешению проблемной ситуации способствует тому, что актор старается приложить максимум усилий, чтобы разрешить ее.

Поведение сообщества акторов аналогично поведению команды людей, определяемой как группа людей с непротивоположными интересами, принимающих решение совместно для получения некоторого выигрыша (в терминологии Маршака-Раднера) [11-14]. В неоднородных командах члены команды выполняют различные функции, причем каждый член команды в общем случае характеризуется определенными эффективностями реализации тех или иных функций. Акторы, объединившиеся для поиска выхода из общей проблемной ситуации, также гетерогенны, что определяется их ценностными установками, воспитанием, образованием и пр. Залогом успешного результата поиска выхода из проблемной ситуации является неоднородность группы акторов, позволяющая посмотреть на ситуацию с разных точек зрения и применить разнородные опыт, интуицию, навыки и умения людей [15, 16, 17].

Успешная деятельность команды A_n, n = (1, 2, …, N), состоящей из N агентов, требует осуществления множества Fm, m = (1, 2, ..., *M*) различных функций, которые могут выполняться разными агентами по-разному с эффективностью $r_{ij} \geq 0$ (эффективность выполнения i-тым агентом j-той функции, $i \in N$, $j \in M$).

Если за выполнение j-той функции устанавливается вознаграждение Q_j, $j \in M$, а затраты на выполнение этой функции i-тым агентом - s_{ij}, то выигрыш i-того агента определяется разностью между вознаграждением за выполнение выбранной им функции j и затратами на выполнение этой функции s_{ij}:

$$q_j - s_{ij},\ i, j \in N.$$

Для того чтобы i-тому агенту было выгодно выбирать i-тую функцию (а не любую другую), необходимо и достаточно выполнения следующего условия:

$$q_j - s_{ij} > q_j - s_{ij}$$

$$i, j \in \mathrm{N}.$$

Суммарное вознаграждение агентов Q:

$$Q = \sum_{i=1}^{n} q_i$$

Задача представителей высших уровней иерархии (начальников) заключается в минимизации суммарного вознаграждения членов команды, выполняющей некоторую работу, Q:

$$Q = \sum_{i=1}^{n} q_i \to \min$$

При поиске выхода из проблемной ситуации акторами каждый из них также оценивает свои затраты на выполнение различных функций, которые он на себя возлагает, и получаемую выгоду, и, возможно, в некоторых случаях пытается максимизировать собственный выигрыш. Однако если актор понимает, что только он может реализовать данную функцию, а без ее исполнения решение не может быть найдено, то максимизация выигрыша отходит на второй план, потому что если цель не будет достигнута (выход не найден), выигрыш каждого члена интерсубъективного сообщества окажется равен нулю.

Поэтому акторы могут стремиться соблюдать условие

$$q_j - s_{ij} > q_j - s_{ij}$$

$$i, j \in N$$

только до тех пор, пока обсуждение не зайдет в тупик. Затем рациональные акторы могут счесть своим выигрышем достижение поставленной цели (т.е. разрешение проблемной ситуации) в целом, а не экономию отдельных видов ресурсов.

Потенциальные возможности команды по выполнению заданного набора функций есть матрица $r = \| r_i^{\ j} \|$.

Потенциальные возможности сообщества акторов, оказавшихся в одной проблемной ситуации, также можно определить набором $r_i^{\ j} \geq 0$, представляющим собой матрицу $r = \| r_i^{\ j} \|$, причем, чем разнообразнее элементы матрицы $r_i^{\ j}$, тем выше вероятность найти удовлетворяющее всех решение $b_{итог} = B_1 \cap B_2 \cap \ldots \cap B_n$ (где B_n – это возможные способы решения проблемы, принимаемые n-тым актором).

IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Моделирование проблемной ситуации при интерсубъективном управлении играет важную роль в продвижении новой теории, поскольку для организации процесса поиска выхода из проблемной ситуации необходима формализация, которая позволит применить современные инфокоммуникационные средства для оптимизации взаимодействия и принятия решения сообществом акторов. Сложность формализации связана с тем, что решения акторов опираются на слабо формализованные интуитивные знания, базирующиеся на понимании, которые необходимо систематизировать для построения сначала персональных онтологий, а затем – единой интерсубъективной онтологии проблемной ситуации. К тому же особое значение имеет совокупность ценностных характеристик, которыми обладает каждый участник проблемной ситуации, а не его обезличенная проекция.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

[1] Vittikh V.A. Introduction to the Theory of Intersubjective Management // Group Decision and Negotiation, 2015. 24(1). –p. 67–95.

[2] Новиков Д.А. Математические модели формирования и функционирования команд. - М.: Издательство физикоматематической литературы, 2008. – 184 с.

[3] Райков А.Н. Конвергентное управление и поддержка решений. - М.: Издательство ИКАР, 2009. - 245 с.

[4] Моисеева Т.В., Поляева Н.Ю. Моделирование проблемной ситуации в теории интерсубъективного управления // Вестник Дагестанского технического университета. Технические науки, 2018. № 45(1). – с. 160-171.

[5] Новиков Д.А. Модели формирования и функционирования неоднородных команд // Управление большими системами. 2007. № 18. –с.73–90 .

[6] Рыков А.С. Модели и методы системного анализа: принятие решений и оптимизация. – М.: МИСИС, 2005.

[7] Поляк Б.Т. Введение в оптимизацию. – М.: Наука, 1983.

[8] Бурков В.Н., Горгидзе И.А., Ловецкий С.Е. Прикладные задачи теории графов. – Тбилиси: Мецниереба, 1974.

[9] Вагнер Г. Основы исследования операций. – М.: Мир, 1972.Том 1 – 3.

[10] Вентцель Е.С. Исследование операций. – М.: Советское радио, 1972.

[11] Marshak J. Elements for the theory of teams // Management Science, 1955. № 1. -p. 127 – 137.

[12] Marshak J., Radner R. Economic theory of teams. – New Haven – London: Yale Univ. Press, 1976.

[13] Groves T., Radner R. The allocation of resources in a team // Journal of Economic Theory, 1972. № 4(2). -p. 415 – 441.

[14] Radner R. Team decision problems // The Annals of Mathematical Statistics, 1962.

[15] Моисеева Т.В., Мятишкин Ю.В. Взаимодействие участников проблемной ситуации // EKONOMICKÉ TRENDY, 2017. No3. - с.38-42.

[16] Мятишкин Ю.В. Средства достижения консенсуса в широких группах людей, объединенных общей проблемной // Проблемы управления и моделирования в сложных системах: Труды XIX Международной конференции. - Самара: ООО «Офорт», 2017. - с.338-345.

[17] Арпентьева, М.Р., Моисеева, Т.В. Переговоры в теории интерсубъективного управления // Онтология проектирования, 2017. No1(23). – с.102-114.

Применение интерсубъективного подхода при управлении общим имуществом

Моисеева Т.В.
Институт проблем управления сложными системами РАН
Самара, Россия
mtv-2002@yandex.ru

Мятишкин Ю.В.
Институт проблем управления сложными системами РАН
Самара, Россия
myat2008@mail.ru

***Abstract* — The article is devoted to the description of economic relations transformation approach aimed at reducing the level of paternalism in modern society. For this purpose the example of transformation of management of the common property of modern building is used. The aim of fulfilled work is to increase the economic efficiency of the social economy by expanding the methods of intersubjective management. The main difference of the proposed approach includes the formation of a self-organizing group system of economic management at the level of consumption and the development of common resources.**

Ключевые слова — интерсубъективное управление, патернализм, управление общим имуществом, поведенческая экономика, подталкивание, ЖКХ.

I. Введение

Интерсубъективное управление разрешением проблемной ситуации групповым способом подразумевает полную самостоятельность членов группы, их заинтересованность в разрешении проблемы и высокий уровень вовлеченности участников в разрешение проблемы [1]. В современном российском обществе можно встретить такие примеры коллективного взаимодействия, однако в силу исторически сложившегося формата общественных отношений доминируют патерналистские способы разрешения совместных проблем. Граждане со своими трудностями отдают предпочтение обращаться к властям, начальству, выбранному представителю, а не решать их на местном уровне сообща, согласуя свои действия с ответственными лицами [2, 3].

Авторитарное управление имеет ряд недостатков: от некачественных постановки задачи хозяйственной деятельности и последующего низкого уровня выполнения работ до коррупции и прямого воровства общественных средств. Поэтому наделение граждан большей самостоятельностью является особо важной задачей современного развития общественной экономики.

Для реализации данного децентрализованного подхода необходимо привнесение новых правил во взаимодействие управленцев и общества. Нужны промежуточные методы организации общественных отношений, лежащие между полной самостоятельностью людей и централизованным управлением общественными ресурсами.

В свою очередь, для управления разрешением проблемных ситуаций совместными усилиями участников с применением интерсубъективного подхода необходима системная поддержка в виде правил и норм внутри группы, основным предназначением которой является обслуживание экономических отношений в процессе поиска способов решения проблем и обеспечения администрирования процесса их разрешения.

Интерсубъективное управление может осуществляться и без структурной поддержки, но наличие постоянной системы обеспечения управления разрешением проблемных ситуаций призвано повысить эффективность работы самоорганизующихся групп. Можно ожидать, что в разных сферах общественной экономики эта формализация отношений будет иметь свою специфику, но везде должны присутствовать общие принципы выстраивания отношений между участниками [4].

Особый интерес представляет возможность реализации механизмов децентрализации управления в такой важной сфере как содержание и развитие общего имущества многоквартирных домов. Без вовлечения совладельцев в ведение общедомового хозяйства и применения интерсубъективного управления невозможно полноценно организовать содержание ЖКХ, так как проблемы, связанные с общим имуществом, возникают у его пользователей, осознающих проблемную ситуацию и находящихся в ней, а организацией их разрешения обычно занимаются лица, познающие проблемную ситуацию, но отвлеченные от потребления данного общего имущества [1].

II. Недостатки проявлений патернализма на примере ЖКХ

Когда мы говорим об организации хозяйства многоквартирного дома, то подразумеваем управление общедомовым имуществом. Управление общим имуществом может осуществляться только тремя способами [5]:

- насильственным — силой государственной власти осуществляется принуждение к вложениям: налогообложение, принудительный труд, принудительные материальные затраты;
- коммерческим — передается в частную собственность общественный объект, в него вкладывает средства инвестор, и далее предоставляет право пользования за деньги, возвращая себе понесенные издержки;
- кооперативным — члены сообщества по взаимному согласию вкладывают средства в развитие общего имущества и далее пользуются им согласно ими же принятым правилам.

©2019 ИПУСС РАН, СамГТУ, IEEE

Очевидно, что гармоничное общество сочетает все три метода управления общим. Однако в России и на остальном постсоветском пространстве сегодня имеет место быть сильный крен в сторону первого способа и практически полностью отсутствует третий. Это, как уже было отмечено выше, связано с патерналистскими стереотипами, доминирующими в современном российском обществе.

Сегодня управление общим имуществом МКД осуществляется преимущественно принудительным способом. Уклонение от уплаты квартплаты преследуется санкциями со стороны государства.

За разрешением проблем пользователи жилья обращаются к администратору, собирающему деньги (УК, ТСЖ) [2, 6, 7, 8]. В случае возникновения личных или общедомовых проблем стереотип поведения современных людей — это обращение к администрации, а не к сообществу совладельцев. Отсутствие централизованной помощи или низкое её качество определяют желание сменить администратора или примириться с потерей, но не решить проблему сообща кооперативным методом, отказавшись от методов прежнего администрирования.

При этом законодательство не запрещает вести хозяйственные отношения кооперативным способом, а, наоборот, предписывает. Можно увидеть всестороннее содействие этому со стороны власти: субсидирование общедомового и иного общего имущества на условиях общественного софинансирования, предоставление грантов на развитие местного самоуправления и прочее. Но граждане в большинстве своем предпочитают разрешать свои проблемные ситуации, полагаясь на далеко не эффективную систему централизованного управления. Это можно объяснить почти полным отсутствием социальных навыков [3] и неготовностью брать на себя ответственность за общее имущество.

Суть патернализма (заинтересованность населения в нем) заключается в перекладывании гражданами своих и общественных проблем на государство или местного администратора, и дальнейшие спекуляции на необходимости смены того или иного госслужащего или, вообще, всей власти, чтобы получить разрешение своих проблем силами государственных структур [9].

Расширение принципа разрешения гражданами общественных проблем средствами государства означает увеличение приемов принудительного управления, то есть повышения налогов и прямого употребления власти (принуждения) к управлению людьми. Разрешение общественных проблем требует вложений. Если люди избегают негосударственных методов вложения в общее, то это означает, что они должны примириться с силовым изъятием у них экономических ресурсов (денег, времени).

Это, в свою очередь, ведет к увеличению недовольства властью в обществе. Помимо сокращения денежных средств граждан и уменьшения свободы, недовольство вызывают некачественные хозяйственные решения администраторов. Это обусловлено тем, что находясь рядом с проблемной ситуацией, а не внутри нее, представители власти не могут в полной мере осознать суть возникшей задачи.

Потакание патерналистским общественным настроениям, принятие на себя повышенных общественных обязательств представителями власти ведет к экономической слабости и политической непривлекательности общества, усилению диктатуры с ростом расходов на сверхкрупные проекты, оторванные от реальных бытовых жизненных интересов людей.

Государству не по силам взять на себя ответственность за все локальные общественные проблемы. Её необходимо вернуть гражданам, содействуя становлению кооперации и местного самоуправления. Передача ответственности исключительно бизнесу (по второму методу управления общим) влечет за собой рост цен и снижение покупательной способности населения [10], что в свою очередь также не способствует увеличению общего блага.

III. Формирование самоорганизации в обществе

Кооперация — это добровольная организация, в которой участники принимают на себя ответственность за разрешение собственной проблемной ситуации и действуют сообща [11]. Наличие УК, ТСЖ, соответствующего госаппарата обеспечивают привлекательность для населения в решении проблем граждан привлекая данные структуры. искусственно лишать население такой возможности деструктивно.

Для появления реальной самоорганизации в сообществе жильцов-совладельцев нужна серьезная общая проблема, выходящая за рамки обычных повседневных трудностей: техногенная катастрофа, нападки властей, крушение государства и пр. ... Это не лучший способ формирования самоуправления. К тому же, после разрешения данных крупных проблем общество снова вернется к своему привычному состоянию с вертикальной интеграцией управления.

Таким образом, наиболее оптимальным является промежуточный вариант, занимающий среднее положение между самоуправлением и автократией — некое управляемое самоуправление. Его суть заключается в государственной поддержке принятия решений общим собранием совладельцев МКД в виде помощи в его подготовке и дальнейшем групповом принятии.

По закону и логике хозяйственных отношений высшим органом управления общим имуществом МКД является общее собрание совладельцев. Это значит, что организация им принятия решения – это главный законный инструмент управления общим имуществом.

Принятие решения общим собранием — это взятие участниками на себя ответственности. Совладельцы сопротивляются данному методу управления, желая возложить на власти ответственность за общее имущество.

Чтобы преодолеть это сопротивление граждан, городской (государственной) администрации целесообразно участвовать в подготовке проектов решений для принятия их совладельцами МКД. Таким образом, произойдет разделение ответственности между местной администрацией и гражданами. То есть часть ответственности за состояние домов, а вслед за ними и

микрорайонов, будет, таким образом, с власти снято и переложено на кооперацию граждан.

Участие госструктур в подготовке и принятии решений общими собраниями потребует повышения квалификации чиновников. Стремление граждан переложить с себя ответственность может усилить манипуляции со стороны населения по отношению к госслужащим, которые не способны разбираться во всех сферах хозяйства. Потому сразу с момента формирования изменений в системе управление общим имуществом, подготовку проектов решений можно реализовать на коммерческой основе. На бизнес таким способом возлагаются оплачиваемые собственниками риски по достижению общим собранием совладельцев МКД консенсуса по техническим вопросам.

В связке бизнеса и власти общественные представители сообществ собственников (администраторы) многоквартирных домов организовывают бизнесу общественную поддержку, выполняя социальные функции по объединению людей на разрешение общих проблемных ситуаций, и тоже должны получать оплату за успешно выполненную работу по концентрации ресурсов.

Оплата выполнения описанных выше социальных и хозяйственных функций, в конечном счете, должна производиться гражданами напрямую, но на первых порах целесообразно ее субсидировать, чтобы инициировать общественное самоуправление.

Непосредственную работу по развитию данных отношений целесообразно осуществлять на площадках территориального общественного самоуправления (ТОС) [12] посредством заключения соответствующего договора «О помощи в принятии решений общим собранием совладельцев МКД». Таким образом, совладельцы совместно с ТОС будут формировать заказ для исполнителей работ (УК, ТСЖ).

Это определит разделение функций управления общим имуществом и его непосредственного обслуживания, что, в свою очередь, снизит объем злоупотреблений общественными средствами. Можно данный принцип принять законодательно, но эффективнее самоуправление будет развиваться на договорной основе. Заключение договора сформирует согласие граждан выполнять принятые правила и понимание их сути.

Управляющие компании и ТСЖ не заинтересованы в кооперировании совладельцев МКД, так как те, в свою очередь, смогут повысить требования по обслуживанию дома и прозрачности расходования денег. Получив в руки функции сбора денег, принятия решения о том, на что их тратить, а также исполнителя работ, обслуживающие организации не заинтересованы в общественном контроле за их деятельностью.

Чтобы победить нерациональное использование средств совладельцев МКД, необходимо разделение функций концентрации денежных средств, управления общим имуществом и выполнения работ.

Управление общим имуществом целесообразно осуществлять через регулярную организацию принятия решений общим собранием совладельцев МКД. Через этот механизм местная всласть сможет участвовать в подготовке проектов принимаемых решений и осуществлять таким способом управление экономикой домов, приняв тем самым на себя часть ответственности за разрешение местных общественных проблем, и удерживая под контролем экономику на местном уровне. Этот метод обеспечит применение получившего широкую мировую известность управленческого подхода «подталкивания», описанного Р. Таллером в книге о поведенческой экономике [13].

IV. Формирование интерсубъективного управления общим имуществом МКД

Осознание того, что бюджет ограничен, и что власти могут помочь только в определенном объеме, вынудит граждан решать свои совместные проблемы более самостоятельно, повысив расходы времени, денег и материальных ресурсов на общее имущество. При этом ТОС будет оставаться площадкой для соглашения о разделении ответственности между самоуправлением и городской администрацией.

Таким образом можно сформировать среду для интерсубъективного управления общим имуществом МКД. Оно, как уже было отмечено, базируется на управлении разрешением проблемной ситуации сообща [1]. Формирование соответствующей культурной среды из самостоятельных людей, позволит добиться существенного повышения качества обслуживания и развития общедомового имущества за счет целенаправленного сбора и расходования средств и повышения качества принимаемых решений.

Оплата организаторов принятия коллективных решений собственниками обеспечит первоочередное удовлетворение интересов собственников. Участие в оплате работы старших по дому бюджетными деньгами будет в высокой степени удовлетворять интересы городских властей.

Организация информирования соседей, осуществление обмена сведениями, принятия текущих решений, модерирование взаимодействия сообщества жильцов, принятие внутридомовых правил и реализация их выполнения, разрешение хозяйственных споров и конфликтов, юридическое сопровождение — все это входит в системное обеспечение самоуправления. Качество его работы и величина издержек на содержание зависит от уровня развития культуры внутри группы, образованности участников [14, 15] и их платежеспособности.

Оно способно развиваться, повышая качество социальных отношений в сообществе. Это в свою очередь обеспечивает рост уровня жизни в плане улучшения отношений между людьми.

Сбор сведений о проблемах общего имущества, извещение об этом соседей и организация принятия решений общего собрания о планах их разрешения — основная зона ответственности совета дома и его председателя.

Старший по дому не может брать на себя ответственность за содержание общего имущества МКД, так как у него нет средств на это [6]. Он может только организовать принятие решений и собрать ресурсы участников сообщества совладельцев МКД. Это его

сфера ответственности и оплачиваемая совладельцами работа.

Помощь со стороны государства в осуществлении данной деятельности позволит облегчить принятие гражданами ответственности за общее имущество. С другой стороны, взаимодействие представителей домов и властей на площадке ТОС обеспечит дополнительное повышение качества использования собранных общественных средств и бюджетных расходов и повысит тем самым доверие к власти.

В случае осуществления планирования хозяйственной деятельности в доме через принятие общедомовых решений, потребуется достижение консенсуса между соседями. Это легче всего сделать, если на повестку общих собраний будут выдвигаться наиболее важные для всех совладельцев проблемы. Иначе организаторы не смогут заработать на принятии решений собраниями. Таким образом, данная система обеспечивает первоочередное финансирование наиболее важных для совладельцев проблем, а не тех, которые больше приглянулись председателю ТСЖ, директору УК и старшему по дому.

Взаимодействие жильцов в рамках договора с ТОС «О помощи в организации принятия решений общим собранием совладельцев МКД» позволить сделать подконтрольными ТСЖ и УК со стороны совладельцев, иметь влияние на них, быстрее и качественнее решать общедомовые проблемы.

V. Заключение

Данные принципы находят поддержку у многих совладельцев МКД. Однако приходится преодолевать консервативное сопротивление как со стороны рядовых собственников, так и старших по дому. Необходимость принятия ответственности за общее имущество МКД, недобросовестность как доверенных лиц, так и рядовых пользователей общего имущества, являются камнем преткновения на пути освоения принципов самоуправления. Помощь государства в преодолении патернализма способна существенно облегчить переход на самоуправление общедомовым имуществом.

На примере ЖКХ наглядно проявляется консервативная патерналистская культура постсоветского общества. Освоение навыков самоуправления позволит сделать российскую экономику более децентрализованной, а значит способной быстрее и эффективнее разрешать местные проблемные ситуации.

Освоение коллективистских технологий интерсубъективного управления хозяйством призвано повысить его эффективность за счет более точного понимания решаемых проблем и наиболее актуального расходования имеющихся ресурсов.

Список литературы

[1] Vittikh Vladimir A. Introduction to the Theory of Intersubjective Management. // Group Decision and Negotiation. 2015. Vol. 24. No. 1. P.67-95.

[2] Моисеева Т.В. Проблемы интерсубъективного управления инновационным развитием социотехнических объектов. // Вестник СамГТУ. Серия "Технические науки". - 2017. - № 3(55). - С. 16-31.

[3] Устинов А.В., Тинус Н.Н. Теоретические и практические трудности территориального общественного самоуправления в россии управление городом: теория и практика // Институт муниципального развития и социальных технологий (Белгород) Номер: 4 (31) Год: 2018 Страницы: 27-36

[4] Арпентьева, М.Р., Моисеева, Т.В. Переговоры в теории интерсубъективного управления // Онтология проектирования. – 2017. - No1(23).– С.102-114.

[5] Остром. Э. Управление общим. Эволюция институций коллективного действия //; пер. с англ. Т. Монтян. — К., 2013. — 400 с.

[6] Моисеева Т.В., Мятишкин Ю.В. Разделение ответственности в интерсубъективных сообществах. // Инновации в жизнь. 2017. №1.

[7] Моисеева Т.В., Мятишкин Ю. В. Принятие ответственности в интерсубъективных сообществах // XXVI российская научно-техническая конференция профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов ПГУТИ, 2019.

[8] Л.А. Петрова О культуре совместного проживания под одной крышей управление городом: теория и практика // Институт муниципального развития и социальных технологий (Белгород) ISSN: 2218-533XНомер: 2 (17) Год: 2015 Страницы: 32-36

[9] Райзберг Б.А., Лозовский Л.Ш., Стародубцева Е.Б.. Современный экономический словарь. // 2-е изд., испр. М.: ИНФРА-М. 479 с.. 1999.

[10] Хазин. Новая экономика
https://www.youtube.com/watch?v=te0Fqv2B96U&t=2s

[11] Новая философская энциклопедия: В 4 тт. // М.: Мысль. Под редакцией В. С. Стёпина. 2001.

[12] Федеральный закон от 06.10.2003 N 131-ФЗ (ред. от 06.02.2019) "Об общих принципах организации местного самоуправления в Российской Федерации". Статья 27.

[13] Талер Р. Новая поведенческая экономика: почему люди нарушают правила традиционной экономики и как на это заработать. // М.: Изд-во «Э», 2017. — 368 с

[14] Мятишкин, Ю.В. Средства достижения консенсуса в широких группах людей, объединенных общей проблемной ситуацией // Проблемы управления и моделирования в сложных системах: Труды XIX Международной конференции. - Самара: ООО «Офорт», 2017. - С.338-345.

[15] Моисеева Т.В., Мятишкин Ю.В. Взаимодействие участников проблемной ситуации. // EKONOMICKÉ TRENDY. – 2017. - No3. - С.38-42.

Понятие изобретения в семиотике техники

Нестеров А.Ю.
Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева
г. Самара, Россия
aynesterow@yandex.ru

Демина А.И.
Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева
г. Самара, Россия
ademina83@gmail.com

***Abstract* — The purpose of the article is to give a general definition of the concept "invention" in the framework of semiotics of technology. The invention is understood as the embodiment of the new, the shift of the border of the conceivable and / or possible for the subject. The method used in the work is semiotic modeling in the sense of Ch.S. Pierce and W.W. Morris, allowing to express the process of the invention as a form of interaction of quality, relationship and expression, or semantic, syntactic and pragmatic rules. The result of the work is an expression of the process of the invention in the transcendental-semiotic scheme of knowledge, which includes nine types of rules, each of which allows for a shift of the boundary.**

Ключевые слова — изобретение, открытие, новое, семиотика техники, «трёхакт», рецептивный семиозис, проективный семиозис, Ч.М. Пирс, Ч.У. Моррис, П.К. Энгельмейер, И.И. Лапшин, Фр. Дессауэр

I. Введение

Деятельность человека, особенно научная, направлена на создание нового: новых объектов, новых форм языка и мышления, новых теорий и фантасмов. Особенность человека XX и XXI вв.– настойчивое стремление к преодолению границ действительного, возможного и мыслимого. В общем виде мы определяем путь осуществления нового как сдвиг границ. Чтобы понять, каким образом сдвигаются границы, какие типы правил задействованы в этом процессе или, другими словами, каково содержание понятий открытия и изобретения, необходимо принять некоторый набор предпосылок, задающих базовые процессы научного познания и технической деятельности.

Процесс создания нового на рубеже XIX-XX вв. перемещается из сферы теории познания в область внимания частных наук, представители которых формулируют общие принципы научного и технического творчества. Именно в этот период становится очевидной необходимость построения общей теории творчества. Попытки такого рода делаются в первую очередь в психологии, однако они не выходят за пределы рассмотрения частных вопросов (исследования отдельных аспектов художественного, научного, технического творчества, решения задач развития творческой личности). Наибольшая степень обобщения достигается в рамках философии техники, в работах П.К. Энгельмейера, И.И. Лапшина, Фр. Дессауэра.

Цель данной статьи – дать общее определение понятию «изобретение» в рамках семиотики техники. Применяемый в работе метод – семиотическое моделирование в смысле Ч.С. Пирса и Ч.У. Морриса, позволяющий выразить процесс изобретения как форму взаимодействия качества, отношения и выражения или семантических, синтаксических и прагматических правил.

Первая часть статьи представляет собой краткий исторический обзор того, как в истории философии и в психологической науке формулируется ответ на вопрос о содержании понятия изобретения. Вторая часть представляет анализ противопоставления «открытия» и «изобретения» у И. Канта, П.К. Энгельмейера, Ф. Дессауэра, И.И. Лапшина. В третьей части представлены результаты работы – выражение процесса изобретения в трансцендентально-семиотической схеме познания.

II. Открытие и изобретение: от Лейбнице-Вольфовской метафизики к философии техники

Теория познания определяется напряжением между крайними проявлениями реализма (убеждённости в существовании реальности самой по себе, к которой человек обладает эпистемическим доступом) и конструктивизма (убеждённости в том, что человек конструирует реальность сам). Исторически и логически противопоставление этих позиций снимается критической философией (трансцендентализмом и трансцендентальной семиотикой), исходящей из того, что реальность сама по себе есть, человек обладает возможностью её познавать, однако способы и формы познания разных людей, народов, наций, эпох различаются (по историческим, экономическим, биологическим и т.д. основаниям), сохраняя тем не менее отчётливую самотождественную структуру самого акта познания. Структура познания позволяет замещать единую реальность множественностью действительностей, обусловленных культурой и техникой. Новое, возникающее в человеческой деятельности, – это сдвиг границы действительного (трансформация той или иной формы культуры) относительно реального, сущего как оно есть само по себе.

Жёсткое разделение «открытия» и «изобретения» характерно для философского мышления XVIII в., во многом наследующего Лейбнице-Вольфовскому рационализму. Действительно, если формы мышления неизменны и существование какой-либо реальной вещи задаётся непротиворечивостью вывода из очевидных предпосылок, тогда открыть – значит применить к реальности аппарат формальной логики или следующий (пусть и смутно) логике аппарат чувственного восприятия. Реальное неисчерпаемо, поскольку человеческое, включая способность использовать логику и восприятие, по определению конечно относительно реального как «божественного» или «природного». Изобрести – значит перекомбинировать те или иные правила мышления и восприятия. В этом смысле И. Кант

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-00-00760 КОМФИ.

©2019 ИПУСС РАН, СамГТУ, IEEE

говорит, что Америка открывается, а порох изобретается: «Изобрести что-то – совсем не то, что открыть. Ибо то, что открывают, предполагается уже до того существовавшим, оно только не было известным» [1, С. 253-254].

В позитивистских моделях начала XX в., следующих (пусть и неявно) критической философии, возникает иная модель. «Открытие есть изобретение мысли» [2, С. 7] – это один из классических тезисов основателя философии техники П.К. Энгельмейера. «Собственно открытие заключается только в мысли, которая эту вещь характеризует, иначе сказать, субстратом которой является данная вещь» [2, С. 57]. Возможность открыть Америку возникает тогда, когда комбинаторным путём возникает мысль о том, что открытие Америки возможно, что есть нечто в географическом смысле в качестве «Америки», что можно обнаружить с помощью органов чувств путём перемещения в пространстве. «Открытие», таким образом, оказывается следствием «изобретения». Этот тезис определяет возникновение и развёртывание философии техники XX в. «Изобретение есть исток техники» [3, С. 96]; если проследить ступени и формы осуществления изобретения, если построить модель возникновения нового технического объекта, то появится возможность очертить границы той или иной среды, той или иной формы, той или иной ступени процесса изобретения и научиться этим процессом управлять.

Появившиеся в этот же период многочисленные психологические исследования творчества (ученых-естествоиспытателей Г. Гельмгольца, И.М. Сеченова, А. Эйнштейна, М. Планка, А. Пуанкаре, Ж. Адамара, а также психологов Фр. Гальтона, М. Кеттела, Т. Рибо, Гр. Уоллеса и др.) также обнаруживают тенденцию к сближению понятий открытия и изобретения. Понятие изобретения расширяется до мышления в целом. Рибо, например, отмечает: «Изобретение и в искусстве, и в науке является лишь частным случаем. В практической жизни, в изобретениях механических, военных, промышленных и коммерческих, в религиозных, общественных и политических институтах человеческий ум проявил столько же воображения, сколько и в любой другой области»[4, С. 5].

Несмотря на то, что в течение XX в. появляется значительное количество работ, посвященных самым разным психологическим аспектам творчества, сколько-нибудь приемлемой общей теории творчества в рамках психологии построено не было. Интерес представляют историко-типологические обобщения советского ученого М.Г. Ярошевского, который выделяет три основных подхода к изучению научного творчества, соответствующие трем условным направлениям в психологической науке:

1) «психология переживания»: представители данного подхода исходят из предпосылки, что психологическая реальность начинается и заканчивается в сфере сознательных и бессознательных явлений, присущих переживающему субъекту, центральной категорией в изучении творчества оказывается понятие интуиции, наиболее разработанная теория творчества представлена в гештальтизме;

2) «психология поведения»: акцент делается на объективные действия, которые совершает организм, справляясь с проблемными ситуациями; в центре – применение приемов формализации творческого процесса, направление – бихевиоризм;

3) «психология культуры»: ставит психологические аспекты субъекта в зависимость от надличностного, существующего на объективных основаниях – социальных, национальных, исторических – мира культуры; основное отличие – включение процесса научного творчества в предметно-исторический контекст; направление – от младогербартианцев через Л.С. Выготского, С.Л. Рубинштейна к работам советских психологов 60-80-хх гг. XX в.[5].

Все эти направления, как показывает Ярошевский, объединены общими объяснительными схемами и исследовательскими программами психологии конца XIX в., а именно моделью биодетерминизма, пришедшей на смену механодетерминизму XVII века, пониманием организма как устройства, способного перестраиваться с целью эффективной адаптации к изменчивой среде. Несмотря на разницу в подходах и терминологическом аппарате (понятие о пробах и ошибках, инсайте, катарсисе, и др.), большинство психологических теорий вплоть до настоящего времени придерживается общей ориентации на определенный способ детерминистского объяснения того, как возникают психические продукты, которых не было в прежнем опыте индивида, то есть не выводит «психологическую мысль за пределы принципа гомеостатической регуляции (психические акты служат достижению равновесия между организмом и средой), открытие которого имело революционное значение для биологии, но не проливало свет на культурно-историческую детерминацию сознания, тем более творческого» [6, С. 19.].Современные исследования психологии творчества, переместившиеся в область нейробиологии (см., например, [7; 8; 9; 10]), остаются в рамках биодетерминистской парадигмы.

Вслед за Ярошевским, который констатировал необходимость междисциплинарного подхода к проблемам творчества [6, С. 20], следует признать невозможность построения адекватной теории творчества в рамках какой-либо частной науки.

III. Методология: «трёхакт» и трёхступенчатая модель познания

Изобретение – это процесс, начинающийся с возникновения новой мысли, продолжающийся выражением этой мысли в конструкции, плане, чертеже и т.п. и завершающийся созданием доступного восприятию нового объекта. П.К. Энгельмейер описывает его в качестве «трёхакта»: мысль, конструкция, воплощение [2, С. 103]. Немецкий классик философии техники Ф. Дессауэр описывает его как последовательную реализацию трёх формообразующих способностей человека: homo investigator формулирует идею, homo inventor создаёт конструкцию, homo faber обеспечивает обработку и конкретное воплощение [3, С. 86-89]. В свете истории теории познания и онтологии эта появившаяся в контексте философии техники в первой половине XX века модель процесса изобретения как технического действия не является чем-то радикально новым. Классическая реалистская теория

познания исходит из трёхступенчатой модели репрезентации сущего, разделяющей чувственное восприятие, рассудок и разум. Прагматистская версия этой модели предложена в онтологии Ч.С. Пирса, разделяющей первичность (качество), вторичность (отношение) и третичность (выражение) [11, С. 174-194]. Новизна концепции «трёхакта» как процесса изобретения связана с изменением вектора репрезентации: если классическая теория познания исходит из задачи анализа форм действительности, как они даны в представлении, то философия техники исходит из задачи создания форм действительности, как они могут быть получены из представления (см. подробнее [12]). Классическая репрезентация носит рецептивный, субъективирующий характер, техническая репрезентация, наоборот, – проективный, объективирующий.

IV. Результаты: трансцендентально-семиотическая схема изобретения

Задача семиотической философии техники заключается в том, чтобы выразить ступени изобретения как технического действия в широком смысле слова на языке семиотики, продемонстрировать неснимаемую сложность последовательного ряда проективных процессов, требующего как философского, так и научного анализа. Здесь в целом нам видятся два пути: схематический и полный. Схематический путь связан с тем, что разум, рассудок и восприятие в виде мысли, конструкции и объекта прямо соотносятся с третичностью, вторичностью и первичностью Ч.С. Пирса. Это означает, что мысль, продукт разума, выражается прагматическим правилом, то есть правилом, в соответствии с которым нечто является или не является знаком для того или иного интерпретатора. Конструкция, продукт рассудка, выражается синтаксическим правилом, то есть правилом образования или преобразования корректных последовательностей знаков, предложений. Объект, продукт чувственного восприятия, выражается семантическим правилом, то есть правилом обозначения, применения знака для демонстрации того или иного не являющегося знаком предмета. Схематический путь как средство упрощения описания может быть удобен в учебных или ознакомительных целях, однако при профессиональном применении он вводит в заблуждение.

Полный путь семиотического выражения процесса изобретения как технического действия связан с тем, что каждая ступень «трёхакта» как в рецептивном, так и в проективном направлении репрезентации моделируется посредством первичности, вторичности и третичности, анализируется через сумму качеств, отношений и выражений. И разум, и рассудок, и восприятие, будучи ступенями и познания, и технической деятельности должны рассматриваться в виде самостоятельных сред семиозиса, то есть через взаимодействие прагматики, синтаксиса и семантики в конкретном материально выраженном субстрате. Если ограничиться схематическим путём, то необходимо будет признать, что новое как сдвиг границ действительного относительно реального для разума – это только новые интерпретанты, новые навыки распознавания знаков, для рассудка – это только новые правила комбинирования знаков, для восприятия – только новые объекты. Однако таким образом возникнет фактически ложная модель, редуцирующая понятие прогресса до технологического изобретения. Если идти полным путём, то окажется, что в слое разума (как пространстве рефлексии и воображения) возможны новые навыки, новая комбинаторика и новые объекты, то же будет верно и для рассудка, и для восприятия. Полный путь чрезвычайно сложен, однако он объясняет возможность изобретения и прогресса для областей знания, не затрагивающих проективное техническое действие напрямую, таких как философия, история, логика, теория литературы, теория культуры в целом и т.п.

В семиотическом смысле полное изобретение подразумевает трансформацию прагматического, синтаксического и семантического правил семиозиса в среде разума, затем соответствующую ей трансформацию в среде рассудка, а затем – в среде чувственного восприятия, то есть ситуацию, когда новый навык распознавания чего-либо в качестве знака влечёт трансформацию всех форм всех ступеней технического действия и завершается новым объектом. Примером такого рода полного изобретения являются результаты физики и химии, приведшие к созданию радио, ядерной бомбы, технологий дистанционного зондирования, в настоящее время полные изобретения наиболее ярко представлены в сфере материаловедения, в исследованиях наноструктуры вещества и создании на их основе новых материалов с заданными свойствами. Примеров неполных изобретений – миллионы и десятки миллионов, по сути дела каждый акт человеческой деятельности сопровождается изобретением той или иной степени полноты.

V. Заключение

Однако не менее важно, что путь полного семиотического представления изобретения позволяет говорить о прогрессе в философском познании. Русский философ И.И. Лапшин писал, что философия – это наука, и прогресс в ней, безусловно, есть. Он связывал формы прогресса с афоризмом, диалогом и системой [13, С. 163-165]. Действительно, если философия – это нацеленная на последовательный анализ и синтез «рефлексивная метамировоззренческая теория» [14], позволяющая сдвигать границы представимого, то формы её осуществления как в индивидуальном, так и в общественном сознании вынуждены развиваться. Если на начальных стадиях удивление или страдание (как два традиционных истока рефлексии) возбуждаются мудрым словом и раскрываются в беседах и молитвах, то зрелое размышление предполагает системную теорию с внятной онтологией, прозрачной метафизикой и реальной областью применения в виде науки и техники. В условиях перехода от второй искусственной природы к третьей системная рефлексия сдвигает границу мыслимого до идеи (цифровой) среды как формы осуществления философского знания. Такое положение дел позволяет надеяться на изобретение новой «философии», на новый синтез научных, технологических и социальных сторон прогрессирующей человеческой деятельности.

Лейтмотив нового синтеза можно выразить словами И.И. Лапшина: «Философское творчество есть

одушевлённая пафосом бескорыстная пытливость человеческого духа в стремлении к установке наиболее адекватного действительности понятия о мире явлений и предвосхищению наиболее высокого и действенного социального идеала путём достижения наивысшей полноты, широты и глубины знаний, образующих органическое единство и выраженных в ясной и внушительной форме» [13, С. 297-298].

В начале XXI в. человечество продолжает трансформировать среду обитания, превращая её в третью искусственную природу. Вторая природа, выраженная в промышленном производстве и капиталистическом способе ведения хозяйственной деятельности, замещается цифровой экономикой: автономными интеллектуальными агентами в качестве акторов хозяйственной деятельности, автоматизированными самонастраивающимися алгоритмами взаимодействия производителя и потребителя и т.п. На наших глазах возникает принципиально новый по своему содержанию тип технико-экономического баланса (см. [15]), роль человека в котором еще только предстоит осмыслить. Вопрос заключается в том, в какой мере цифровая экономика влияет на содержание и объём понятий открытия и изобретения, на способы и нормы их применения в научно-технической деятельности и следующей за ней философской рефлексии. Это вопрос отдельного серьёзного исследования. Важно, что средствами семиотики техники его можно осмысленно задать и построить программу исследований.

Список литературы

[1] Кант И. Антропология с прагматической точки зрения / Собрание сочинений в 8 томах. Т.7. М., 1994.

[2] Энгельмейер П.К. Теория творчества. М., 2010.

[3] Дессауэр Ф. Спор о технике. Самара, 2017.

[4] Адамар Ж. Исследование психологии процесса изобретения в области математики. М., 1970.

[5] Ярошевский М.Г. О трех способах интерпретации научного творчества // Научное творчество. Под ред. С.Р. Микулинского, М.Г. Ярошевского. М.: Наука, 1969. – С. 95 - 142.

[6] Ярошевский М.Г. Психология творчества и творчество в психологии // Вопросы психологии, №6, 1985. – С.14-26.

[7] Beaty R.E., Benedek M., Wilkins R.W., Jauk E., Fink A., Silvia P.J., Hodges D.A., Koschutnig K., Neubauer A.C. Creativity and the default network: A functional connectivity analysis of the creative brain at rest. Neuropsychologia Volume 64, November 2014, Pages 92-98. https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2014.09.019.

[8] Belfi A.M., Vessel E.A., Brielmann A., Isik A.I., Chatterjee A., Leder H., Pelli D.G., Starr G. G. Dynamics of aesthetic experience are reflected in the default-mode network. NeuroImage Volume 188, March 2019, Pages 584-597. https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2018.12.017.

[9] Marron T.R., Lerner Y., Berant E., Kinreich S., Shapira-Lichter I., Hendler T., Faust M. Chain free association, creativity, and the default mode network. Neuropsychologia Volume 118, Part A, September 2018, Pages 40-58. https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2018.03.018.

[10] Liu Z., Zhang J., Xie X., Rolls E.T., Sun J., Zhang K., Jiao Z., Chen Q., Zhang J., Qiu J., Feng J. Neural and genetic determinants of creativity. NeuroImage Volume 174, 1 July 2018, Pages 164-176. https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2018.02.067

[11] Пирс Ч.С. Рассуждение и логика вещей. Лекции для Кембриджских конференций 1898 года. М., 2005.

[12] Нестеров А.Ю. Эпистемологические и онтологические проблемы философии техники: "четвёртое царство" Ф. Дессауэра // Онтология проектирования, 2016. Т.6. №3(21).– С. 377 - 389.

[13] Лапшин И.И. Философия изобретения и изобретение в философии. М., 1999.

[14] Горан В.П. Философия. Что это такое? // Философия науки, 1996. №1 (2).

[15] Горбунов Д.В., Нестеров А.Ю. Технологическое будущее России: вызов «третьей природы» // Вестник Самарского университета. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение, 2017. Т. 16. № 4. – С. 60-71. DOI: 10.18287/2541-7533-2017-16-4-60-71.

Применение интеллектуальных технологий в решении проблем инновационных проектов

Никулина Н.О.
Уфимский государственный авиационный технический университет
Уфа, Россия
nikulinano@outlook.com

Малахова А.И.
Уфимский государственный авиационный технический университет
Уфа, Россия
aimalakhova@gmail.com

Иванова И.Ф.
ПАО «ОДК-Уфимское моторостроительное производственное объединение»
Уфа, Россия
ivanovaif@yandex.ru

***Abstract* — While managing an innovative project the actual task is to provide timely the necessary decision making support to all it participants. A purpose of the research is to develop methodological and theoretical principals of innovative project management in conditions of uncertainty and risk based on ontological analysis and knowledge processing, as well as development of the new intelligent methods and tools to decision making support in problem situations. A unified approach to innovative projects management based on system integration of innovative project management ontology and decision making support ontology is proposed. Innovative project management ontology includes concepts corresponding to different phases of the project life cycle, different groups of project management processes, as well as to different subjects and knowledge areas of the project management. A result of the research is the integrated decision making support ontology in innovative project management, which displays the concepts of project management processes and its individuals for forming the various situations descriptions which require decision making.**

Ключевые слова — интеллектуальные технологии, инновационный проект, поддержка принятия решений, проблемная ситуация, онтология.

I. Введение

Государственная политика Российской Федерации в последние годы направлена на развитие инновационного потенциала всех сфер экономической деятельности. Особенно это касается наукоемких отраслей промышленного производства, которые испытывают потребность в использовании новейших технологий, оборудования и материалов. На данный момент действует целый ряд законов и постановлений правительства, направленных на стимулирование инновационной деятельности, под которой понимается «совокупность научной, технологической, организационной, финансовой и коммерческой видов деятельности, направленных на реализацию инновационных проектов, а также на создание инновационной инфраструктуры и обеспечение ее деятельности« [1]. Однако практика их реализации свидетельствует о том, что они недостаточно взаимосвязаны между собой.

В соответствии с проектом Федерального закона «О научной, научно-технической и инновационной деятельности в Российской Федерации» основными целями государственного стимулирования инновационной деятельности в Российской Федерации является обеспечение долгосрочного устойчивого развития государства, формирование экономики знаний в Российской Федерации, развитие и эффективное использование инновационного потенциала, а также материальных и финансовых ресурсов, направляемых на создание наукоемких технологий, товаров (работ, услуг), выпуск наукоемкой, конкурентоспособной продукции». Активная инновационная деятельность необходима и для успешного выполнения программ импортозамещения, обеспечения независимости отечественных компаний от иностранных поставщиков материалов, комплектующих и оборудования в случае обострения политических и экономических разногласий.

В этих условиях государство целенаправленно принимает меры, способствующие развитию приоритетных направлений науки и техники. К таким направлениям относятся, в том числе, информационно-телекоммуникационные системы, энергоэффективность и энергосбережение, перспективные виды вооружения, военной и специальной техники [2]. Дальнейшее развитие приоритетных направлений науки и техники должны поддерживать критические технологии, имеющие широкий потенциальный круг конкурентоспособных инновационных приложений в разных отраслях экономики. В свою очередь, развитие критических технологий может осуществляться только в рамках реализации инновационных проектов, поскольку именно инновационные проекты выполняются в тесном взаимодействии науки, экономики и производства.

Для повышения эффективности выполнения проектов разработаны и успешно применяются в различном сочетании множество решений – от основополагающих методов проектного менеджмента до методов математического моделирования и принятия решений [3]. Тем не менее, хорошо известна статистика выполнения проектов, которая в различных предметных областях имеет схожие результаты. По данным за 2018 год согласно опросу более 4000 респондентов, 69% проектов достигли заявленных целей, 57% проектов выполнены в рамках бюджета, 52% проектов выполнены в срок, 52% проектов столкнулись с «расползанием содержания», 15% проектов провалились полностью [4, 5]. При этом 58% организаций в полной мере осознают ценность проектного менеджмента, 93% организаций используют стандартизированные практики в управлении проектами. Тем не менее, судя по результатам выполнения проектов, использования только лишь стандартов и методов проектного

Исследования выполнены при финансовой поддержке гранта Российского фонда фундаментальных исследований № 18-00-00345 (18-00-00238) «Методы и модели поддержки принятия решений при управлении инновационными проектами на основе инженерии знаний».

©2019 ИПУСС РАН, СамГТУ, IEEE

управления недостаточно для достижения поставленных целей. Таким образом, будущее за целым набором подходов – организации, использующие более одного формализованного подхода к управлению проектами и комбинирующие различные техники, показывают лучшие результаты.

Следовательно, нужно в первую очередь искать причинно-следственные связи, приводящие к неудачам проектов на различных стадиях их жизненного цикла, и устранять вероятные проблемы еще до их возникновения. Для решения этих задач как нельзя лучше подходят методы интеллектуального анализа данных и управления знаниями, позволяющие на основе прошлого опыта выполнения удачных и неудачных проектов прогнозировать и направлять ход реализации текущих проектов.

В статье рассматривается возможность использования интеллектуальных технологий управления знаниями для повышения эффективности выполнения инновационных проектов, выполняемых с целью технологического перевооружения одного из ведущих промышленных предприятий России.

II. ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ИННОВАЦИОННЫМИ ПРОЕКТАМИ

Наиболее общими признаками классификации инновационных проектов, как и любых других, являются их масштаб, сложность и предметная область, в которой они реализуются. При увеличении масштаба и сложности проекта увеличивается и сложность принятия решений, причем зачастую эта зависимость не является линейной и пропорциональной. Известно, что с увеличением числа участников проекта и информационных связей между ними сложность решения задач существенно возрастает. К наиболее сложным можно отнести инновационный проект, выполняющийся на крупном производственном предприятии. При включении в число участников проекта представителей государственных структур (министерств, ведомств, органов государственной власти и управления, государственных контролирующих организаций) с одной стороны, возрастает мера ответственности руководителя проекта за соблюдение основных ограничений проекта, с другой стороны - существенно удлиняется цепочка принятия решений и повышается степень неопределенности как в оценке текущей ситуации, так и в прогнозировании последствий принимаемых решений. Такие проекты обычно являются составными частями государственной программы, реализуемой в течение длительного времени, а чем протяженнее проект, тем более непредсказуемой становится среда его реализации. Это связано с высокой изменчивостью внешней среды проекта, обусловленной возможным изменением государственной политики, внешнеполитической ситуации, приоритетов финансирования, а также появлением новых технологий.

Одним из примеров инновационных проектов, реализуемых в производственной среде, может служить проект «Реконструкция и техническое перевооружение производственной базы ПАО «ОДК-УМПО» для производства компонентов и агрегатов вертолетных двигателей типа ТВ3-117 и ВК-2500» [6], который является одним из этапов большой Программы по организации серийного производства вертолетных двигателей на территории Российской Федерации.

Программой предусмотрена реконструкция существующих зданий и сооружений на площади более 30 тыс. кв.м, прокладка новых и модернизация существующих инженерных сетей, замена и приобретение нового высокотехнологичного оборудования, формирование четырех производственно-технологических центров (ПТЦ) с инженерно-техническим обеспечением и освоение на новых площадях производства компонентов вертолетных двигателей ВК-2500 с выходом на проектную мощность 350 комплектов в год. В общей сложности в ПТЦ, спроектированных с учётом лучших мировых стандартов и практик, в том числе с применением принципов бережливого производства, будет работать около 700 сотрудников. Центры планируется оснастить 310 единицами современного высокотехнологичного оборудования, в том числе 89 – с числовым программным управлением. Совокупный объём инвестиций в создание четырёх ПТЦ составляет более 7 млрд. рублей [7].

Все это безусловно позволяет отнести выполняющуюся в течение 5 лет программу по созданию серийного производства вертолетных двигателей к крупному инновационному проекту. Основные проблемы управления инновационными проектами вытекают из самой их сути – уникальности результатов и/или способов выполнения задач. Высокая степень неопределенности при оценке текущей ситуации, как правило, сжатые сроки, устанавливаемые на уровне Правительства или профильного министерства, и зависимость от множества смежных участников-кооперантов вынуждают руководителя проекта принимать срочные решения, часто основанные лишь на опыте реализации предыдущих проектов (не всегда схожих по своей сути) и приводящие к серьезным нежелательным последствиям. Исходя из этого, следует обратить особое внимание на оказание информационной, а иногда и интеллектуальной поддержки принятия решений для должностных лиц, занимающих различные ступени в иерархической организационной структуре управления проектом, от руководителя проекта до куратора или управляющего директора, в зависимости от сложности проблемы и степени нежелательных последствий в случае неверного решения.

III. ВИДЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ, ОКАЗЫВАЕМЫЕ НА РАЗНЫХ УРОВНЯХ ОРГАНИЗАЦИОННОЙ СТРУКТУРЫ

Прежде всего, для организации информационной поддержки необходимо обеспечить сбор и классификацию данных о проблемных ситуациях, которые связаны, прежде всего, с организационными, производственными и финансово-экономическими рисками. Риски, относящиеся к любому из этих трех классов, наиболее сильно влияют на выполнение работ по проекту и, следовательно, имеют наивысший приоритет при выделении ресурсов на мероприятия по их предупреждению и предотвращению. Например, в ПАО «ОДК-УМПО» на стадии инициации проекта (и в дальнейшем при его актуализации на всех остальных стадиях жизненного цикла) рассматривается около 20 наиболее часто идентифицируемых рисков, характерных для инновационного проекта [8]. Описание рисков сведено в таблицу 1, фрагмент которой представлен ниже. Для более точной оценки каждый риск получает

количественную экспертную оценку по методу *Failure Mode and Effect Analysis* (*FMEA)* в соответствии с (1):

$$K_p = K_n * K_н * K_o, \quad (1)$$

где K_p – коэффициент риска; K_n – коэффициент тяжести последствий отказов; $K_н$ – коэффициент, учитывающий вероятность, с которой отказ не может быть обнаружен до возникновения последствий; K_o – коэффициент, учитывающий вероятность отказа.

ТАБЛИЦА I. ИДЕНТИФИКАЦИЯ И КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА РИСКОВ ПРОЕКТА

№п\п	Риски	Возможная причина отказа	Возможное последствие отказа	K_n	Меры по обнаружению	$K_н$	Меры по предупреждению	K_o	K_p	Группа рисков
1.	Увеличение затрат на проект	Неверная оценка объемов и структуры инвестиций	Увеличение периода окупаемости, уменьшение доходности проекта	6	Мониторинг бюджета проекта	4	Стоимостной контроль выполнения программы	6	144	фин-экон.
2.	Задержка выполнения этапов	Нарушение сроков выполнения работ, несвоевременное финансирование	Ухудшение показателей эффективности, срыв сроков и неисполнение обязательств	8	Мониторинг плана-графика реализации проекта	4	Применение внутренней системы организационного контроля	5	160	произв.
3.	Отсутствие квалифицированных кадров	Ошибки в расчетах потребности в персонале, его квалификации	Ухудшение качества выполнения отдельных операций	8	Анализ наличия квалифицированных кадров	3	Предпроектная оценка квалификации и численности персонала	5	120	организ.
								K_p	424	
Уровень риска = K_p/ $K_{p\,max}$ = 424/3000*100=14.13%										

Количественные оценки позволяют ранжировать риски по степени их негативного воздействия на проект. Риски с наивысшим приоритетом регулярно отслеживаются с целью своевременного реагирования при изменении степени угрозы, проводятся целенаправленные мероприятия по предупреждению дефектов, которые приводят к предотвращению причин отказов, снижению вероятности появления отказа, снижению влияния первопричины на появление отказа и тяжесть его последствий, повышению вероятности обнаружения отказа. Каждый коэффициент, приведенный в (1), оценивается по десятибалльной шкале, затем определяется величина суммарного риска. Уровень риска определяется как отношение полученной величины к максимальной величине суммарного риска. Так, в табл. 1 уровень риска составил 14,13%, что является допустимым для проекта, поскольку благоприятный уровень риска для России составляет не более 25%. Следует заметить, что риски являются типовыми для группы проектов (продуктовые проекты, проекты по созданию центров специализации, проекты реконструкции и технического перевооружения, проекты в сфере информационных технологий и др.), что дает возможность распространить их и на другие инновационные проекты, выполняемые в производственной среде на различных предприятиях.

В «ОДК-УМПО» проводится большая работа по упорядочению информации не только о возможных рисках, но и о проблемных ситуациях. Так, определены 3 уровня проблем, соответствующих уровням, которые занимают лица, обладающие полномочиями в принятии решений, в организационной структуре проекта. Уровень проблемы, который оценивает руководитель проекта, свидетельствует о необходимой срочности принимаемых мер. Фиксируется и статус решения проблемы, благодаря чему можно отслеживать ее жизненный цикл. На данном этапе описание возникающих проблемных ситуаций и фиксация решений, принимаемых на Проектных комитетах или координационных совещаниях на уровне куратора проекта, управляющего директора или генерального директора корпорации, выполняется в слабоструктурированном неформализованном виде, например, может представлять собой таблицу, ячейки которой заполняются администратором проекта и согласовываются руководителем проекта (табл. 2).

ТАБЛИЦА II. ОПИСАНИЕ ПРОБЛЕМНЫХ СИТУАЦИЙ В ПРОЕКТЕ

Уровень проблемы	Описание проблемы	Дата регистрации	Предложение по решению	Должностное лицо (ЛПР)	Срок решения	Статус решения
2	Отсутствие уточненного плана производства, что не позволяет планировать приобретение материалов и покупных полуфабрикатов для запуска материальной части в производства	20.01.19	Уточнить план производства на год и текущий квартал.	Директор по производству, Директор по продажам	31.01.19	2
2	Риск срыва сроков поставки оборудования со стороны поставщика, что может повлиять на срок ввода объекта в эксплуатацию	20.01.19	Направление специалистов на завод-изготовитель оборудования для инспектирования его производства	Технический директор	15.02.19	1

Подобная таблица формируется в рамках презентации для Проектного комитета или совещания. К ней имеет доступ ограниченное число лиц: команда проекта и участники проектного комитета или Координационного совета, на котором рассматривается проблема. Члены проектной команды, непосредственно не принимающие участия в совещании, не имеют доступа к этой информации, что затрудняет взаимодействие участников проекта и мешает давать адекватную оценку сложившейся ситуации. Руководителям других проектов и их командам подобная информация также была бы очень полезной в случае возникновения похожей проблемы, если бы они имели к ней доступ. Таким образом, обеспечение

слаженного взаимодействия множества участников проекта представляет собой отдельную и далеко не тривиальную задачу. В ходе выполнения инновационного проекта лицу, принимающему решения (ЛПР), необходимо оказывать все виды поддержки принятия решений – информационную, вычислительно-аналитическую, интеллектуальную. И если с первыми двумя видами довольно успешно справляются системы управления проектами, предоставляя в наглядном виде графики и отчеты, свидетельствующие о ходе выполнения проектных работ, то для принятия решений в проблемных ситуациях необходимы более сложные алгоритмы, основанные на знаниях и опыте не только ЛПР, ведущих текущий проект, но и ЛПР других проектов, реализованных в смежных областях.

В ходе анализа выполнения инновационного проекта была выявлена одна из основных проблем, с которыми сталкиваются все без исключения ЛПР, исполняющие роль руководителя проекта на любом уровне организационной структуры. Эта проблема связана с подбором и назначением исполнителей, обладающих не только определенными профессиональными знаниями и навыками, но и качествами, необходимыми для работы в команде. При этом наиболее сложной ситуация представляется для ЛПР, который одновременно является исполнителем, ответственным за получение одного из результатов проекта или завершение какого-либо этапа, и руководителем, который должен правильно определить исполнителей вверенного ему комплекса задач проекта. Хорошо известно, что далеко не всегда в одном человеке сочетаются качества хорошего руководителя и профессионала в предметной области. В этом случае обобщенные знания и опыт помогут избежать ошибок или хотя бы снизить негативные последствия.

IV. Интеграция онтологии поддержки принятия решений и онтологии управления инновационным проектом

Знания – это закономерности предметной области (принципы, связи, законы), полученные в результате практической деятельности и профессионального опыта, позволяющие специалистам ставить и решать задачи в этой области [12]. Одной из ключевых задач при формировании баз знаний является структурирование и представление полученных знаний. Знания могут быть извлечены из множества разнородных источников: нормативных и регламентирующих документов различного уровня, проектной документации, баз данных, а также получены вербально от лиц, имеющих достаточный опыт практической деятельности в области инновационного и проектного менеджмента и выступающих в качестве экспертов предметной области. Эффективным средством интеграции знаний является онтологический инжиниринг, который позволяет создать абстрактную модель предметной области, описывающую систему понятий предметной области и отношений между ними. Разработанная в результате онтология является удобным способом создания унифицированной, детальной и непротиворечивой терминологии с учетом контекста предметной области. Специфика реализации инновационного проекта требует представления различных областей знаний, необходимых для успешного управления проектом [9], что подразумевает возможность существования нескольких онтологий, представляющих концептуализацию содержания конкретного проекта, а также областей знаний проектного менеджмента (управление расписанием проекта, стоимостью, сроками выполнения, качеством, ресурсами и др.). С целью обеспечения объективного представления знаний, а также отображения понятий из одной области знаний в другую при формировании правил принятия решений выполняется объединение онтологии задач, моделей и методов поддержки принятия решений и онтологии проектного менеджмента в интегрированную онтологию. Фрагмент разработанной онтологии представлен на рис. 1.

Описание онтологии производится на языке *OWL DL (Web Ontology Language based on Description Logic*). Разработка онтологий ведется в онтологическом редакторе *Protégé* 5.2.0 [11]. Объединение онтологий осуществляется с применением встроенной функции объединения онтологий *merge ontologies*, которая предусматривает реализацию операции объединения эквивалентных классов, сущностей и синонимов (в рассматриваемом контексте предметной области), с участием экспертов. В результате в семантической сети интегрированной онтологии отображаются объектные отношения между классами объектов из онтологии управления разрабатываемым инновационным проектом и онтологии задач, моделей и методов принятия решений.

Исходя из предложенного подхода интегрированная онтология управления знаниями *Onto* может быть описана как набор объединенных онтологий (2):

$$Onto = < O^{DM}, O^{PM}, Inf^{F} >, \quad (2)$$

Основой построения онтологии управления инновационными проектами O^{PM} являются понятия из области управления проектами, полученные в соответствии с Руководством к своду знаний по управлению проектами (*A Guide to the Project Management Body of Knowledge – PMBoK).* В зависимости от специфики конкретного инновационного проекта и предметной области онтология подлежит последующему наполнению и корректировке.

Так, в соответствии с предложенным подходом управление рисками проекта включает в себя процессы, связанные с осуществлением планирования управления рисками, идентификацией, анализом, планированием реагирования, а также с контролем рисков в проекте [9]. Целями управления рисками проекта являются повышение вероятности возникновения и усиление воздействия благоприятных событий и снижение вероятности возникновения и ослабление воздействия неблагоприятных событий в ходе реализации проекта.

Модель машины вывода Inf^{F} выполняет функцию активации сущностей и отношений, описывающих конкретную задачу, то есть организации динамической компоненты базы знаний.

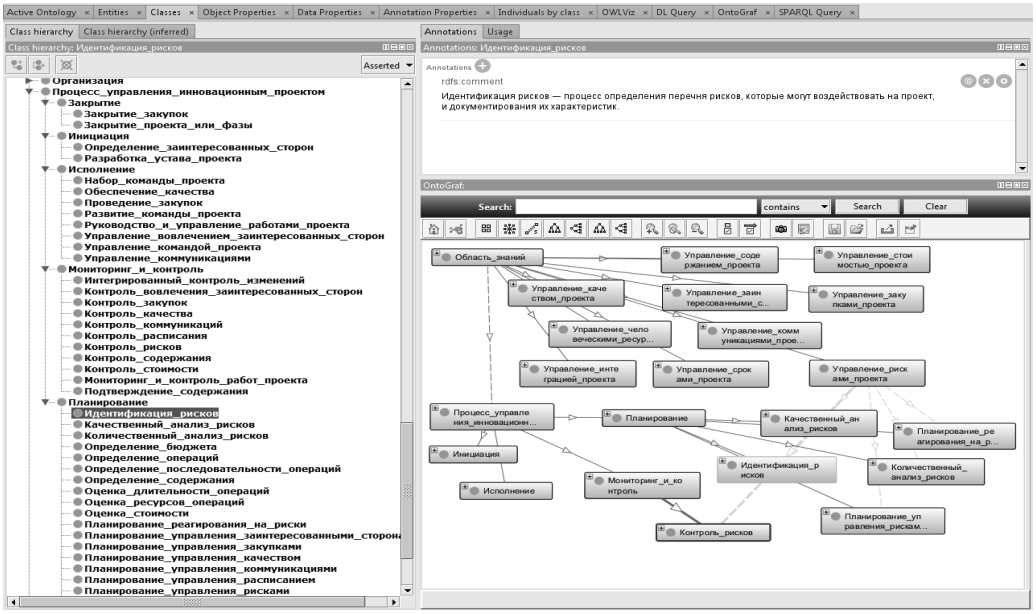


Рис. 1. Фрагмент онтологии управления инновационным проектом

Потенциальными пользователями интегрированной онтологии являются заинтересованные стороны разрабатываемого инновационного проекта, такие как заказчики, спонсоры, партнеры проекта, руководство предприятия с одной стороны, а также участники команды проекта, пользователи проекта, офис управления проектами, эксперты предметной области и области инженерии знаний с другой (рис. 2).

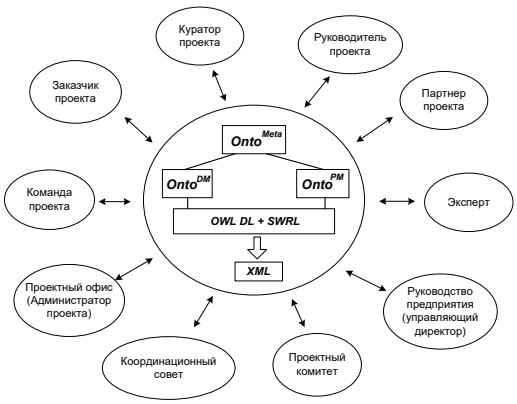


Рис. 2. Схема использования онтологии заинтересованными сторонами инновационного проекта

Онтология может быть представлена в качестве центрального компонента информационных систем и приложений предприятия для совместного использования персоналом организации и аннотирования информации. При этом онтология выполняет две основные функции: определяет общую терминологическую базу для всех ЛПР и позволяет формулировать правила и прецеденты, используя одни и те же понятия предметной области.

Семантический подход к анализу ситуаций позволяет эксперту или группе экспертов описать при помощи единого стандартизованного языка общую модель исследуемой предметной области, а также задать способ обработки исходных данных, поступающих в онтологическую модель, в виде используемого системой набора продукционных правил. Таким образом, на основе полученной интегрированной онтологии управления знаниями строятся модели представления знаний в виде правил и прецедентов принятия решений в проблемных ситуациях, которые вместе с онтологией составляют основу базы знаний.

Для формирования правил в онтологии используется стандартизованный язык описания продукционных правил для машин вывода на онтологиях *Semantic Web Rule Language (SWRL)* [11]. Правила, сформулированные в онтологии выражают причинно-следственные отношения между определенными классами событий, являющихся причинами возникновения проблемных ситуаций, решениями, принимаемыми ЛПР, проблемными ситуациями и действиями, выполняемыми для разрешения проблемных ситуаций. Таким образом, приведенные ранее типовые риски проекта, принадлежащие к различным группам рисков, последствия и причины отказа, меры по обнаружению и предотвращению данных рисков могут быть представлены в онтологии в виде набора правил (например, для риска «Увеличение затрат на проект»):

Rule: *Финансово-экономический_риск(?x),*
Риск_является (?x, ?y), Увеличение_затрат_на_проект(?y),
Мониторинг_бюджета_проекта(?z) ->
Риск_содержит_Мера_по_обнаружению(?y, ?z)
Rule: *Финансово-экономический_риск(?x),*
Увеличение_затрат_на_проект(?y),

Риск_является(?x, ?y), Уменьшение_доходности_проекта(?z) -> Риск_содержит_Возможное_последствие_отказа(?y, ?z)
Rule: *Финансово-экономический_риск(?x),*
Увеличение_затрат_на_проект(?y),
Риск_является(?x, ?y),
Увеличение_периода_окупаемости_проекта(?z) ->
Риск_содержит_Возможное_последствие_отказа(?y, ?z)
Rule: *Финансово-экономический_риск(?x),*
Увеличение_затрат_на_проект(?y),
Риск_является(?x, ?y),
Стоимостной_контроль_выполнения_проекта(?z) ->
Риск_содержит_Мера_по_предупреждению(?y, ?z)
Rule: *Финансово-экономический_риск(?x),*
Увеличение_затрат_на_проект(?y),
Риск_является(?x, ?y),
Неверная_оценка_объемов_и_структуры_инвестиций(?z) ->
Риск_содержит_Возможная_причина_отказа(?y, ?z)

Кроме того, в рамках предложенного подхода к оказанию поддержки принятия решений предлагается фиксировать в интегрированной онтологии имеющие место проблемные ситуации и принятые по ним решения, приведенные в табл. 2, в виде прецедентов принятия решений, что позволит руководителям и членам команд последующих проектов обращаться к ним в случае возникновения схожих проблем.

Выбор наиболее подходящего в конкретной ситуации прецедента позволяет сформировать на его основе решение, либо требует адаптации к текущей ситуации с учетом различий в признаках и контекстах текущей ситуации и ситуации, имевшей место в прошлом.

V. Заключение

Анализ выполнения инновационных проектов показал, что множество важных процессов и задач проектного управления, в частности, связанных с управлением ресурсами проекта, не имеют поддержки принятия решений или такая поддержка осуществляется в недостаточном объеме [13]. Особенно эта проблема актуальна при управлении инновационными проектами, не имеющими аналогов, планирование и реализация которых осуществляется в условиях неопределенности, неточной или неполной информации. Поэтому разработка базы знаний как средства интеллектуальной и информационной поддержки принятия решений при выполнении таких проектов является актуальной. Использование онтологической базы знаний позволит осуществлять поиск способов решения проблем на основе описания сложившейся ситуации. При этом база знаний должна содержать детальную и хорошо структурированную информацию о ресурсах, параметрах задач и других свойствах проекта.

Практическая ценность представленных результатов состоит в разработке и использовании компонентов системы управления знаниями для обнаружения и прогнозирования проблемных ситуаций в инновационном проекте. Предлагаемая интегрированная онтология может быть использована при управлении инновационными проектами в различных предметных областях, поскольку содержит в себе классы понятий, закрепленных в *PMBoK* [9], имеющего де-факто статус стандарта проектной деятельности. Другая часть интегрированной онтологии – онтология поддержки принятия решений – включает классы понятий, отражающие известные задачи принятия решений на соответствующие им модели и методы поиска решений. Семантическая сеть онтологии поддержки принятия решений включает также аналитические модели и методы, используемые для решения алгоритмических задач оптимизации с помощью существующих алгоритмов аналитической поддержки принятия решений. Таким образом, объединение онтологии управления инновационным проектом и онтологии поддержки принятия решений позволяет на основе собранного опыта принятия решений в рамках управления инновационным проектированием находить решения в проблемных ситуациях конкретного проекта.

Список литературы

[1] Федеральный закон от 23.08.1996 № 127-ФЗ «О науке и государственной научно-технической политике» (ред. от 23.05.2016) // СПС Консультант Плюс. URL: https://минобрнауки.рф/документы/817/файл/8375/127-фз.pdf. Дата обращения: 27.03.2019

[2] Указ Президента РФ № 899 от 07.07.2011 «Об утверждении приоритетных направлений развития науки, технологий и техники в Российской Федерации и перечня критических технологий Российской Федерации» (с изменениями на 16.12.2015) // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. URL: http://docs.cntd.ru /document/902287707. Дата обращения: 27.03.2019

[3] Новиков Д.А., Иващенко А.А. Модели и методы организационного управления инновационным развитием фирмы. – М.: ЛЕНАНД, 2006. – 336 с.

[4] Pulse of the Profession®: Success in disruptive times. Expanding the value delivery landscape to address the high cost of low performance, February 2018. URL: https://www.pmi.org/learning/thought-leadership/pulse/pulse-of-the-profession-2018. Дата обращения: 27.01.2019

[5] Индикаторы инновационной деятельности: 2018: статистический сборник / Н.В. Городникова, Л.М. Гохберг, К.А. Дитковский и др.; Нац. исслед. ун-т «Высшая школа экономики». – М.: НИУ ВШЭ, 2018. – 344 с.

[6] Организация производства компонентов вертолетных двигателей ВК-2500 в ОДК-УМПО. Официальный сайт ПАО «ОДК-УМПО». URL: http://umpo.ru/products/perspektivnye-izdeliya/vk-2500. Дата обращения: 25.03.2019

[7] Узлы стремятся к серии // Отраслевое информационно-аналитическое агентство «АвиаПорт». URL: https://www.aviaport.ru/news/2018/02/06/522101.html. Дата обращения: 15.03.2019

[8] Никулина Н.О., Иванова И.Ф., Бармина О.В. Проектный менеджмент в управлении бизнес-процессами: учебное пособие / Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т. – Уфа: РИК УГАТУ, 2017. – 260 с.

[9] A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBoK Guide). Project Management Institute. 2017. – Pensylvanya: Sixth Edition. PMI Publications, 2017

[10] Поддержка принятия решений при стратегическом управлении предприятием на основе инженерии знаний /под редакцией Черняховской Л.Р. – Уфа: Гилем, 2010. – 180 с.

[11] Официальная документация по Protégé. URL: http://protrgrwiki.stanfotd.edu/index.php/ProtegeUserDocs. Дата обращения: 20.03.2019

[12] Базы знаний интеллектуальных систем / Т. А. Гаврилова, В. Ф. Хорошевский. – СПб: Питер, 2000. – 384 с.

[13] Черняховская Л.Р., Никулина Н.О., Бармина О.В. Оценка эффективности поддержки принятия решений при реализации проекта по разработке программного обеспечения // Информационные технологии интеллектуальной поддержки принятия решений: труды 6 Всеросс. конф. (с междунар. участием) ITIDS'2018, Уфа-Ставрополь, Россия, 28-31 мая 2018. – Уфа: РИК УГАТУ, 2018. – Т. 2, С. 16-22.

Синергетический синтез механизмов и моделей согласованного управления производственно-экономической системой

Орлова Е.В.
Уфимский государственный авиационный технический университет
г. Уфа, Россия
ekorl@mail.ru

***Abstract* — The article deals with the problem of increasing the efficiency of management in the complex, non-linear and dynamical industrial and economic systems in the conditions of the contradictory goals of the subsystems. On the basis of the developed methodology of modeling and management of a complex production and economic system, providing a synergistic synthesis of the subsystem management mechanisms of the production and economic system, mechanisms and models for coordinated control of the interaction of the production and economic system subsystems have been developed to harmonize their conflicting interests. A complex model of management of the production and economic system is presented. It defines, from a unified methodological position, the structure of the management system of the production and economic system and the interrelation of management mechanisms in the form of three blocks of tasks: the formation of an effective enterprise management system that provides resource management and coordination in conditions of uncertainty in the cash flow of the enterprise; formation of an effective pricing management system of the enterprise as a market mechanism for strategic interaction with competitors and consumers; formation of tax burden and tax rates as a tool of tax policy of the state, aimed at stimulating the development of enterprises and economic growth through rational management of the interaction of economic agents. An integrated management model allows to increase the efficiency of decisions making through the use of models and algorithms for coordinated decision. Numerical experiments on the implementation of mechanisms and models are given.**

Ключевые слова — согласованное управление; синергетический синтез; производственно-экономическая система.

I. Введение

Ключевыми составляющими обеспечения экономического роста являются предприятия как производственные системы (ПС), интегрирующие в ходе своей целенаправленной деятельности капитальные, интеллектуальные, трудовые, финансовые, информационные ресурсы и осуществляющие производственную деятельность, рыночные системы (РС) как сферы реализации продукции производственных систем, способствующие адаптации интересов производителей и потребителей, и налоговая система (НС) как институциональная среда регулирования и стимулирования развития предприятий.

Синергетическое взаимодействие экономических систем разных уровней экономики, оказывает существенное влияние на социально-экономическое развитие. Динамический характер протекающих процессов взаимодействия экономических систем, таких как ПС, РС, НС, наличие противоречивых критериев функционирования и развития этих систем, а также высокая степень неопределенности внешней среды при управлении экономикой, приводит к необходимости согласования интересов сторон. Управление сложной производственно-экономической системой (ПЭС), ориентированное на учет синергетических взаимодействий факторов и направленное на повышение эффективности экономки в целом, представляется актуальной проблемой, разрешение которой возможно при исследовании экономического объекта «производственно-экономической системы» и разработки моделей и механизмов управления на основе системно-синергетического подхода. Производственно-экономическая система – организационная система, образованная взаимодействующими экономическими системами разных уровней экономики, учитывающая синергетическое влияние факторов и управляемая с целью повышения эффективности экономики.

Формирование системы устойчивого развития экономики должно базироваться на механизмах многоуровневого стратегического планирования и управления. Система управления ПЭС должна состоять из трех взаимодействующих подсистем, каждая из которых обеспечивает согласование противоречивых интересов экономических систем разных уровней (ПС, РС и НС). На уровне предприятия подсистема управления должна быть единой в разрезе функциональной и управленческой вертикалей. На уровне рынка при создании и реализации стратегических планов производственных систем должны учитываться противоречия интересов всех участников рыночной деятельности и обеспечивать консолидацию и сбалансированное управление предприятий. Налоговая политика как наиболее активная составляющая экономической и промышленной политики должна быть ориентирована на рост и развитие производства.

Для организации систем с отрицательной обратной связью, решения задач исследования и обеспечения устойчивости сложных систем, функционирование которых описывается линейными детерминированными или стохастическими дифференциальными уравнениями традиционно используются методы системного анализа. Производственно-экономическая система является сложной нелинейной, динамической системой с

©2019 ИПУСС РАН, СамГТУ, IEEE

наличием элементов с большой нестационарностью и стохастичностью параметров, для которых характерны неравновесие, неустойчивость, бифуркации и хаос. Для формирования механизмов управления такой системой целесообразно использовать подход, учитывающий способность к самоорганизации системы и позволяющий максимально учитывать естественные свойства исследуемого объекта и объединяющий в единой концепции объективные законы единства процессов самоорганизации и управления сложными системами. Поэтому для эффективного синтеза механизмов управления ПЭС используется системно-синергетический подход, обеспечивающий учет сложных нелинейных взаимодействий элементов ПЭС, их способность к самоорганизации, активность и разрешение противоречивых интересов функционирования элементов. В основе системно-синергетического подхода к управлению ПЭС лежит механизм согласованных направляющих воздействий, в результате которых при определенных условиях система чувствительна к воздействиям, согласованными с ее внутренними свойствами. Такое резонансное взаимодействие элементов ПЭС определяется не силой управляющего воздействия, а его согласованностью с внутренними свойствами системы.

Поэтому проблема согласования на разных уровнях управления противоречивых интересов производственной, рыночной и налоговой систем и разработка инструментария поддержки принятия решений в условиях неопределенности, является общезначимой и от ее решения зависит эффективность функционирования экономики в целом. В связи с этим разработка моделей и механизмов управления ПЭС, обеспечивающих согласование противоречивых интересов экономических систем разных уровней экономики на основе системно-синергетического подхода, представляется актуальной.

В моделировании экономических процессов и систем находят свое применение как методы исследования операций, предполагающие жёсткое подчинение отдельных экономических субъектов центру [1–3], так и децентрализованные модели, учитывающие разнонаправленность интересов экономических субъектов и эгоистичность их поведения [4–8]. Поэтому задача теоретического обоснования эффективности таких моделей и оценки адекватности их поведения является актуальной и определяет необходимость дальнейшего развития подходов, приёмов, методов, обосновывающих использование существующих систем, создание систем с заранее заданными свойствами, отражающими особенности производственно-экономической системы как объекта управления.

В [9] представлена новая методология моделирования и управления сложной производственно-экономической системой, которая обеспечивает синергетический синтез механизмов управления подсистемами ПЭС с целью согласования их противоречивых интересов, которая отличается новой схемой интеграции системного, синергетического, структурно-функционального, динамического и ситуационного подходов. Методология базируется на обоснованном сочетании общесистемных принципов, принципов управления и раскрытых специфических принципов, учитывающих выявленные особенности процессов функционирования ПЭС с учетом сложных системных и межсистемных связей ее элементов, позволяет выработать требования к моделированию процессов взаимодействия подсистем ПЭС и решению задач согласования в процессе управления их разнонаправленных интересов

II. Определение производственно-экономической системы

Под производственно-экономической системой (ПЭС) предложено понимать и рассматривать социально-экономическую систему, образованную несколькими взаимодействующими подсистемами – предприятиями, рыночной и налоговой системами, совместная деятельность которых направлена на рост и развитие экономики в целом. В ПЭС могут возникать конфликты, так как полезности (интересы) подсистем могут быть противоречивыми. В работе рассматривается тип конфликта между подсистемами, связанный с наличием противоречивости целей (интересов) [9].

Интересы есть суть потребностей субъектов экономической системы, которые проявляются в субъективной поведенческой функции. Объективные потребности индивидов и общественных институтов находятся в рамках жестких объективных ресурсных ограничений (возможностей) по их удовлетворению. Каждой подсистеме производственно-экономической системы свойственны специфические закономерности, не сводимые друг к другу. При взаимодействии экономических подсистем возникают противоречия между объективными потребностями и субъективными возможностями по обеспечению этих потребностей. Методология исследования таких противоречий должна быть основана на методах и инструментах системного анализа, предполагает выделение связей, анализ внешних и внутренних условий и факторов, влияющих на поведение агентов подсистем и обеспечивающих их адаптационные возможности.

Существует ряд противоречий разного уровня и типов, сопровождающих производственно-экономическую деятельность: предприятие – налоговая система, предприятие – конкуренты, предприятие – потребители. К таким противоречиям можно отнести следующие.

- Финансово-экономическая устойчивость предприятия и эффективность его деятельности зависит, в том числе и от снижения налоговых платежей, а устойчивость экономики зависит от роста налоговых поступлений и обеспечения пополнения бюджета. Сгладить данное противоречие интересов можно за счет согласования налоговой нагрузки на предприятия и уровня налоговых ставок, обеспечивающих одновременное развитие предприятий и необходимый размер доходов бюджета.

- При реализации своей продукции на рынке предприятия стремятся максимизировать свою выручку, в том числе за счет установления максимально возможной цены в условиях присутствия на рынке конкурентов, предлагающих схожую продукцию. Потребители делают выбор той продукции, которая при равном качестве имеет минимальную цену. Разрешение данного противоречия возможно за счет внедрения адаптивной системы управления ценообразованием, обеспечивающей согласование функций полезности предприятия, его конкурентов и потребителей продукции.
- При реализации стратегических целей, направленных на долгосрочный рост и развитие, предприятия должны вести мониторинг платежеспособности и ликвидности с целью избежать рисков, связанных со снижением уровня устойчивости и платежеспособности в краткосрочной перспективе. Для этого необходим комплекс мер, направленных на управление финансовыми ресурсами и потоками денежных поступлений и выплат и обеспечивающих согласованное управление на стратегическом и оперативном уровнях предприятия;
- Управление устойчивостью функционирования предприятия по критериям рентабельности и прибыли может быть реализовано путем балансирования: ресурсных потоков, объемов выпуска и цены реализации продукции.

Перечисленные противоречия формируются при синергетическом взаимодействии экономических систем – предприятием, рыночной системы и налоговой системы и могут быть разрешены с помощью разработки моделей, методов и механизмов управления взаимодействием этих систем на единой методологической платформе. В целях решения задачи согласования на разных уровнях управления разнонаправленных интересов подсистем ПЭС необходимо сформировать инструментарий поддержки принятия решений в условиях неопределенности, применение которого обеспечит повышение эффективности функционирования ПЭС и экономики в целом.

С позиции теоретико-множественного описания ПЭС можно представить как совокупность взаимосвязанных подсистем – предприятия (ПС), рыночной системой (РС), и налоговой системой (НС):

$$\text{ПЭС} = \{\text{ПС}, \text{РС}, \text{НС}\} \quad (1)$$

при этом каждая подсистема описывается набором характеристик. Для ПС это себестоимость C, переменные $C_{\text{пер}}$ и постоянные затраты $C_{\text{пост}}$ для производства продукта объемом q, цена реализации продукта p, выручка X, прибыль от реализации продукции П, ее рентабельность α, налоговая нагрузка на ПС θ, ставки налогов по видам θ_i, минимально необходимый уровень финансовой устойчивости ПЭС $R_{\min}$, параметры распределения денежного потока в процессе оперативного финансового управления L, out, u, in, s, c, где L – финансовые потери, связанные с недофинасированием расходных статей, out – объем потребности в финансировании отдельных расходных статей; u – суммарный объем финансирования всех статей затрат; in – объем поступлений финансовых ресурсов; s – минимальный остаток финансовых средств к концу планового периода; c – коэффициент штрафных санкций за недофинансирование расходных статей:

$$\text{ПС} = \{C, C_{\text{пер}}, C_{\text{пост}}, X, \Pi, p, q, \theta, \theta_i, \alpha, L, R_{\min}, out, u, in, s, c\}. \quad (2)$$

Для РС это параметры цены и объема реализации ПС p, q и конкурентов p_K, q_K, объемов спроса на данную продукцию Q, цена, равновесная по Нэшу p^{NE}, изменения рыночных цен для достижения равновесной цены p^*, p_k^*:

$$\text{РС} = \begin{Bmatrix} p, q, p_K, q_K, Q, p^*\left(p^{NE}\right), \\ p_k^*\left(p^{NE}\right),\ p^{NE}\left(p, q, p_K, q_K, Q\right) \end{Bmatrix}. \quad (3)$$

Для НС основными параметрами являются: уровень фактически уплаченных ПС в бюджет налогов T, уровень требуемых налоговых сборов для формирования бюджета $T_{\min}$, выручки ПС, уровень налоговой нагрузки и налоговых ставок для ПС:

$$\text{НС} = \{ T, T_{\min}, X, \theta, \theta_i \}. \quad (4)$$

При этом взаимосвязь между параметрами ПС, РС, НС можно выразить в виде системы, определяющей сложные нелинейные связи параметров подсистем ПЭС:

$$\begin{aligned} p^* &= f\left(p,\ q, C(q), p_K,\ q_K, Q, p^{NE}\left(p,\ q, p_K,\ q_K, Q\right)\right), \\ \theta &= g\left(p,\ q, \alpha, T_{\min}, R_{\min}(\theta), X\left(C(q), q, p, \alpha\right)\right), \\ u &= h\left(out, in, s\left(L, \alpha\right), c\right). \end{aligned} \quad (5)$$

Особенности проблемы управления ПЭС состоят:

1) в необходимости учета свойств сложного объекта управления;
2) в необходимости учета синергетического влияния факторов и неопределенности на процесс функционирования и развития ПЭС;
3) в повышении эффективности системы управления ПЭС с учетом ее специфики и с целью обеспечения устойчивости;
4) в необходимости согласования разнонаправленных интересов подсистем ПЭС для обеспечения экономического роста.

Поэтому проблема согласования на разных уровнях управления противоречивых интересов предприятия, рыночной и налоговой систем и разработка инструментария поддержки принятия решений в условиях неопределенности, является актуальной, от решения которой зависит эффективность функционирования предприятий и экономической системы в целом. В связи с этим разработка моделей и механизмов управления ПЭС, обеспечивающих согласование противоречивых интересов экономических систем разных уровней экономики представляется актуальной.

Система управления ПЭС должна включать в себя управление на уровне предприятия, на уровне агентов рынка и на уровне государства. На уровне предприятия система управления должна быть единой в разрезе функциональной и управленческой вертикалей. На уровне агентов рынка процессы создания и реализации стратегических планов должны учитывать интересы всех участников рыночной деятельности и стать механизмами консолидации и сбалансированного управления предприятием. Бюджетно-налоговая политика как наиболее активная составляющая экономической и промышленной политики должна быть ориентирована на модернизацию предприятий.

III. СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ СИСТЕМОЙ

Для решения поставленных в исследовании задач используется редукционистский подход, в рамках которого общая задача моделирования и управления согласованностью экономических процессов, протекаемых в ПЭС, разбивается на ряд вложенных подзадач, каждая из которых решается в рамках своей частной расчетной модели [10, 11]. Модели отличаются между собой набором характеристик: используемыми показателями, набором переменных, идеологией моделирования и методами расчета, которые определяются спецификой конкретной решаемой подзадачи. Главное условие этого подхода состоит в необходимости согласования всех разрабатываемых моделей по входам и выходам, а совокупность разнородных моделей представляет собой многоуровневую взаимосвязанную систему моделей.

Структура системы управления ПЭС разработана в виде трех взаимосвязанных подсистем (рис. 1).

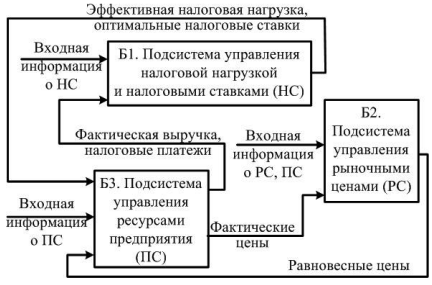


Рис. 1. Укрупненная схема системы управления ПЭС

Блок 1 (Б1) – подсистема управления налоговой нагрузкой и налоговыми ставками. Здесь реализуется механизм оптимального налогообложения, определяются управленческие решения в области бюджетно-налоговой политики государства, направленной на повышение экономического роста предприятий и экономики в целом. Блок 2 (Б2) – подсистема управления рыночными ценами. В этом блоке реализуется механизм адаптивного ценообразования, поддерживающий согласованность интересов производителей продукции и ее потребителей. Блок 3 (Б3) – подсистема управления ресурсами предприятия. В данном блоке реализованы механизмы управления эффективностью и оперативного финансового планирования.

Механизм оперативного финансового планирования обеспечивает формирование платежного календаря предприятия в цикле оперативного управления финансовыми ресурсами, нацелен на достижение требуемых уровней ликвидности и платежеспособности предприятия. Механизм управления эффективностью обеспечивает требуемый уровень эффективности производственно-экономической деятельности предприятия на основе адаптации параметров производственно-экономической деятельности – объемов выпуска продукции, издержек производства в условиях неопределенности факторов внутренней и внешней среды.

Структура модельного комплекса системы управления следующая. Блок моделирования в подсистеме Б1 включает механизм оптимального налогообложения, состоящий из модели определения эффективной налоговой нагрузки и модели оптимизации налоговых ставок. В этом блоке осуществляется агрегированное рассмотрение предприятий, которые объединяются в кластеры однородных по структуре налогооблагаемых баз субъектов налогообложения и имеют схожие налоговые возможности и близкие финансово-экономические портреты. Результатом моделирования являются значения допустимой налоговой нагрузки по группам однородных субъектов налогообложения и обосновываются оптимальные налоговые ставки, удовлетворяющие интересам субъектов налогообложения и экономики в целом.

В блоке моделирования подсистемы Б2 осуществляется регулирование рыночных цен предприятия на основе механизма адаптивного ценообразования и модели нелинейной динамики рыночных цен в условиях нестационарности параметров внешней среды. Процессы формирования и изменения цен предприятия согласовываются с контрагентами рыночной среды – конкурентами и потребителями. Результатом моделирования являются значения равновесных по Нэшу цен на производимую продукцию, обеспечивающие достижение режима максимальной эффективности функционирования предприятия и рынка.

В блоке моделирования подсистемы управления Б3 осуществляется моделирование производственно-экономической и финансовой деятельности предприятия. Механизм управления эффективностью

включает модель эффективности производственно-экономической деятельности и обеспечивает на основе метода сбалансированного компенсационного управления достижение требуемого уровня эффективности производства и реализации продукции за счет управления ресурсами и их комбинацией в условиях изменяющихся факторов внутренней и внешней среды. Результатом моделирования являются величины затрат ресурсов и объемы производства. Механизм оперативного финансового планирования и лежащие в его основе имитационная модель финансовых потоков, модель оптимального распределения финансовых ресурсов и алгоритм формирования целевого остатка денежных средств обеспечивают формирование платежного календаря предприятия, обеспечивая согласование притоков и оттоков финансовых ресурсов, сохраняя достаточные уровни ликвидности, платежеспособности и рентабельности предприятия.

Предлагаемая система моделей, хотя и содержит отличные алгоритмы, подходы и методы, проектируется как единое целое и имеет структуру, позволяющую быстро переходить с одного уровня моделирования на другой. Это, в свою очередь, означает, что в моделях более нижнего уровня используются более «быстрые» переменные, которые описывают быстрые процессы и быстрые реакции рассматриваемой производственно-экономической системы на изменение внутренних и внешних условий. По мере перехода к моделям более высоких уровней иерархии происходит переход от «быстрых» переменных (описывают быстро изменяющиеся во времени процессы) к «медленным», характеризующие долговременные тенденции развития систем. Медленные переменные выступают в роли «параметров порядка» для моделей более низкого уровня иерархии и являются агрегированными показателями в этих моделях. Число переменных и параметров моделей по мере движения от низших уровней к высшим уменьшается, а сами модели приобретают более агрегированный характер.

Таким образом, система поддержки принятия управленческих решений является многоуровневой и направлена на повышение эффективности функционирования ПЭС. На нижних двух уровнях формируются данные о деятельности предприятия, его финансово-экономическом, технико-экономическом состоянии, а управление нацелено на мониторинг и корректировку показателей деятельности, таких как объем производства, цена, объем затрат, обеспечивающих рост эффективности предприятия. На верхнем уровне осуществляется сбор данных о функционировании предприятий в регионе, включая данные мониторинга налоговой отчетности предприятий, затем происходит обработка этих данных с позиции обеспечения максимальной устойчивости и результативности деятельности предприятий как производственных систем на основе регулирования показателей налоговой нагрузки и налоговых ставок по группам однородных предприятий.

IV. МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ СИСТЕМОЙ

Модель экономической эффективности производства формируется как отношение прибыли и затрат производства:

$$\alpha = \Pi / C\,, \tag{6}$$

где прибыль определяется как

$$\Pi = pq - \left(C_{\text{пост}} + q \cdot C_{\text{пер}}^{\text{уд}}\right), \tag{7}$$

а общая величина затрат производства определяется как сумма переменных и постоянных затрат:

$$C = C_{\text{пост}} + q \cdot C_{\text{пер}}^{\text{уд}}\,. \tag{8}$$

Формулы (6)-(8) определяют рентабельность (относительную прибыль) α при производстве товара объемом q, валовую прибыль Π, образуемую при реализации товара объемом q по цене p, суммарные затраты C, включающие постоянную часть $C_{\text{пост}}$ и переменную часть $C_{\text{пер}} = q \cdot C_{\text{пер}}^{\text{уд}}$. Величина налога на прибыль, подлежащего уплате в бюджет, определяется как $T_{\text{НП}} = t_{\text{НП}} \cdot \Pi$, где $T_{\text{НП}}$ – объем налога на прибыль, подлежащего уплате в бюджет, $t_{\text{НП}}$ – ставка налога на прибыль.

В основе моделирования налоговой нагрузки лежит предположение Лаффера о нелинейной связи объема производства X, отражаемого величиной валового выпуска продукции, с уровнем налоговой нагрузки θ. Для каждой группы однородных предприятий строятся зависимости вида:

$$\theta = T / X\,, \tag{9}$$

где θ – налоговая нагрузка, T – величина налоговых поступлений; X – объем производимой продукции [7]. Далее положим, что объем производства также нелинейно связан с величиной налоговой нагрузки. Производственная функция аппроксимируется квадратичным полиномом $X(\theta) = a\theta^2 + b\theta$, а налоговая функция $T(\theta)$ имеет вид $T(\theta) = a\theta^3 + b\theta^2$. Идентификация производственной $X(\theta)$ и налоговой $T(\theta)$ функций позволяет рассчитать точки Лаффера первого и второго рода, при которых производственная и налоговая функции достигают своего максимума соответственно [12, 13].

Согласование систем оперативного и стратегического финансового планирования обеспечивается за счет учета связи показателей оперативного и стратегического уровней управления. На оперативном уровне управления предприятия обеспечивается конкурентоспособность производимой продукции, отслеживается общее состояние

производственно-экономической системы, ее финансовая и операционная эффективность, а на стратегическом уровне контроль ведется за инвестиционной привлекательностью предприятия и за ростом его стоимости в долгосрочной перспективе [14–16]. Взаимосвязь показателей осуществляется на основе многофакторной модели:

$$ROE = \frac{\Pi - T_{\text{НП}}}{E} = \frac{\Pi}{A} \cdot \frac{A}{E} \cdot \frac{NI}{EBIT} = ROA \cdot LR \cdot B, \quad (10)$$

где ROE – рентабельность собственного капитала; NI – чистая прибыль; E – собственный капитал; $EBIT$ – прибыль до выплаты процентов по займам и налога на прибыль; A – активы; ROA – рентабельность активов; LR – коэффициент, определяющий эффект финансового рычага; B – коэффициент, отражающий снижение прибыльности предприятия при выплате процентов по используемому капиталу и налоговых отчислений.

Модель конкурентного взаимодействии предприятий (в случае дуополии) [17, 18] описывается двумерной системой разностных уравнений:

$$\begin{aligned} p_1(t+1) &= p_1(t) + k_1 \frac{\left(-p_1^2(t)p_2(t) + 2c_1 p_1(t)p_2(t) + c_1 p_2^2(t)\right)}{\left(p_1^2(t) + p_1(t)p_2(t)\right)^2}, \\ p_2(t+1) &= p_2(t) + k_2 \frac{\left(-p_1(t)p_2^2(t) + 2c_2 p_1(t)p_2(t) + c_2 p_1^2(t)\right)}{\left(p_2^2(t) + p_1(t)p_2(t)\right)^2}, \end{aligned} \quad (11)$$

где $p_1(t), p_2(t)$ представляют цены предприятий, взятые через дискретные интервалы времени t; вторые слагаемые в обоих уравнениях показывают, как осуществляется изменение цен в период t и каким образом это изменение повлияет на цену в следующем $(t+1)$ периоде:

Параметры k_1 и k_2 в модели (11) характеризуют прирост цен за счет изменения ценовой политики.

V. ВИЗУАЛИЗАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ ЦЕНООБРАЗОВАНИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ

Рассмотрим процесс и результаты моделирования подсистемы управления рыночными ценами, основанной на модели конкурентного взаимодействия предприятий. Определим равновесные по Нэшу цены p_1^* и p_2^*, и сформируем условия достижения и сохранения этого равновесия при заданных издержках c_i. Зафиксируем значения себестоимостей c_1, c_2 на уровне 0,1 и 0,15 соответственно и определим равновесные по Нэшу цены (11): p_1^*=0,33; p_2^*=0,42. Матрица Якоби в этой точке будет иметь вид: $\hat{M} = \begin{pmatrix} 1-3,1k_1 & 0,69k_1 \\ 0,5k_2 & 1-1,77k_2 \end{pmatrix}_{(p_1^*, p_2^*)}$ для которой характеристический полином $\mu^2 - S\mu + J = 0$ имеет след и якобиан: $S = 2 - 1,77k_2 - 3,1k_1$, $J = (1-3,1k_1)(1-1,77k_2) - 0,345k_1k_2 = 1 - 3,1k_1 - 1,77k_2 + 5,142k_1k_2$. Условия устойчивости найденного равновесия сформулированы системой (11). Решив эту систему относительно k_1 и k_2 получим диапазон изменения скоростей адаптации k_1 и k_2 для равновесия по Нэшу

$$(0,33;\ 0,42): \begin{cases} 5,142k_1k_2 - 1 > 0, \\ 5,142k_1k_2 - 6.2k_1 - 3.54k_2 + 4 > 0, \\ 1 - 3,1k_1 - 1,77k_2 + 5,142k_1k_2 < 1. \end{cases}$$

Решение данной системы неравенств, определяющих треугольник устойчивости для неподвижной точки двумерного отображения цен (11), показано на рис. 2.

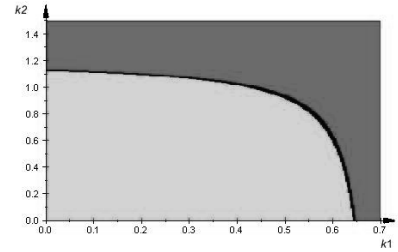


Рис. 2. Область допустимых значений роста цен

Таким образом, выявлена область допустимых значений адаптационных ценовых параметров k_1 и k_2, которая на рис. 2 выделена зеленым цветом. Обеспечить устойчивость ценовому равновесию по Нэшу (0,33; 0,42) в условиях заданных значений себестоимостей фирм на уровне 0,1 и 0,15 позволит использование фирмами такой стратегии адаптации, которая основана на множестве сочетаний адаптационных параметров, находящихся в зоне допустимых значений.

Как только их значения отклоняются от допустимых, происходит потеря устойчивости равновесия и переход к другому неустойчивому режиму – хаотическому. То есть, какая бы ни была первоначальная цена у конкурента или самой фирмы, они достигнут равновесия по Нэшу, если будут использовать ценовую стратегию в соответствии с найденными значения адаптационных ценовых характеристик. Эти характеристики не способны изменить ценового равновесия но Нэшу, поэтому для увеличения своей эффективности фирмы должны использовать предлагаемое адаптивное управление.

Рис. 3 демонстрирует хаотические аттракторы системы (11) в условиях удельных затрат $c_1 = 0,1; c_2 = 0,15$ и вариациях параметров k_1, k_2.

Так, хаотический аттрактор при значения ценовых адаптационных параметров $k_1 = 1, k_2 = 1,15$ демонстрирует хаотическое поведение динамической системы цен, определяется свойством нелинейности этой системы и проявляется в экспоненциально быстрым расхождением первоначально близких траекторий в ограниченной области фазового пространства. Хаотический характер динамики системы цен обусловлен неустойчивостью фазовых траекторий, ростом малого начального возмущения во времени, перемешиванием элементов фазового объема и, как следствие, приводит к непредсказуемости поведения системы на длительных временных интервалах.

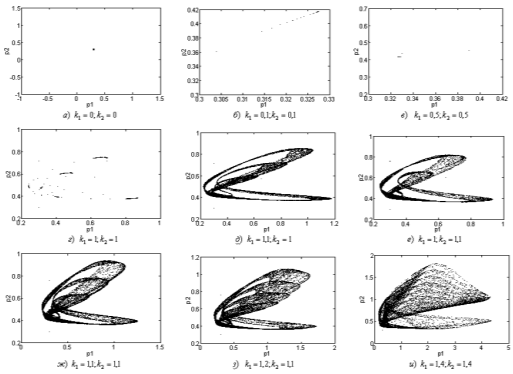


Рис. 3. Хаотические аттракторы системы (1) при $c_1 = 0{,}1; c_2 = 0{,}15$ и вариациях параметров k_1, k_2 (а-и)

При принятии ценовых решений кроме критерия экономической эффективности предприятия необходимо учитывать объективный характер динамики рынка в целом и принимать во внимание возможный хаотический режим рыночной динамики.

VI. Заключение

Рассмотренный подход к моделированию и управлению производственно-экономической системой отличается тем, что учитывает ее свойства, проявляющиеся в сложных нелинейных взаимосвязях подсистем, что позволяет моделировать процессы функционирования системы, согласовывая в процессе управления их противоречивые цели и критерии. Разработана концептуальная модель управления ПЭС, определяющая с единой системно-методологической позиции структуру системы управления в виде трех блоков задач: формирования эффективной системы управления ПЭС, обеспечивающей управление ресурсами и согласование процессов стратегического и оперативного управления ПЭС; формирование эффективной системы управления ценообразованием как рыночного механизма стратегического взаимодействия с конкурентами и потребителями; формирования налоговой нагрузки и налоговых ставок как инструмента бюджетно-налоговой политики государства, направленной на стимулирование развития ПЭС и экономического роста за счет рационального управления взаимодействием субъектов экономики.

Предложенная концептуальная схема системы управления функционированием производственно-экономической системы, объединяющая разнородные экономико-математические методы и модели, отражает гетерогенные свойства системы и обеспечивает синергетический синтез эффективных моделей и алгоритмов управления. Разработаны инструменты поддержки принятия решений по управлению производственно-экономической системой в виде механизмов управления, методов и моделей, показана их адекватность и эффективность.

Описанная модель стратегического ценообразования предприятий с применением методов теории игр, нелинейной динамики и теории бифуркаций позволяет получить новый взгляд на динамику процесса конкурентного взаимодействия на рынке, а также дает возможность проведения качественного и визуального анализа свойств системы с помощью особых точек фазового пространства (неподвижных точек), анализа траекторий вблизи этих неподвижных точек. Показано, что динамическая система рыночного ценообразования может обладать сложными и многообразными типами движений, так, что структура ее фазового пространства и зависимость этой структуры от параметров являются очень сложными. По структуре разбиения фазового пространства на траектории выделены два основных типа динамического поведения системы: устойчивость-неустойчивость и синхронность-хаотичность.

Для того, чтобы избежать нежелательной хаотической динамики рыночных цен предложен механизм поддержки принятия ценовых, основанный на пропорциональном изменении цены относительно изменению предельной прибыли предприятий. Применение такого механизма позволит обеспечить устойчивость равновесия по Нэшу, следовательно, сбалансировав экономические интересы предприятий и согласовав ценовые решения, сохранить режим максимальной эффективности их функционирования.

Список литературы

[1] Бурков В.Н., Губко М.В., Коргин Н.А., Новиков Д.А. Теория управления организационными системами и другие науки об управлении организациями // Проблемы управления, 2012. № 4. – с. 2-10.

[2] Горошко И.В., Бондаренко Ю.В. Особенности регулирования процессов самоорганизации социально-экономической системы региона // Системы управления и информационные технологии, 2013. № 1.1. – с. 131-136.

[3] Новиков Д.А. Теория управления организационными системами. – М.: Физматлит, 2012. – 604 с.

[4] Виттих В.А., Скобелев П.О. Мультиагентные модели взаимодействия для построения сетей потребностей и возможностей в открытых системах // Автоматика и телемеханика, 2003. № 1. – с. 177-185.

[5] Шабунин А.В. Диагностика и измерение хаотической синхронизации в присутствии помех // Известия высших учебных заведений. Прикладная нелинейная динамика, 2016. № 2. – с. 27-40.

[6] Островский А.В. Об управлении, стабилизирующем нэшевское равновесие в одной модели конкурентного ценообразования // Известия института математики и информатики Удмуртского государственного университета, 2006. № 2. – с. 83-86

[7] Ahmed E., Elsadany A.A., Puu T. On Bertrand duopoly game with differentiated goods // Applied Mathematics and Computation, 2015. Vol. 251.– p.169–179.

[8] Ahmed E., Hassan S.Z. On Controlling Chaos in Cournot-Games with Two and Three Competitors // Nonlinear Dynamics, Phychology and Life Sciences, 2000. № 2.

[9] Орлова Е.В. Модели и механизмы согласованного управления производственно-экономической системой: дис. на соискание уч. степени д-ра техн. наук. – Уфа, 2018. – 340 с.

[10] Орлова Е.В. Системно-синергетическая парадигма моделирования и управления социально-экономическими системами // Аудит и финансовый анализ, 2015. № 6.– с. 405-411.

[11] Орлова Е.В. Механизм, модели и алгоритмы управления производственно-экономическими системами на принципах согласования критериев заинтересованных агентов // Программная инженерия, 2016. № 2. – с. 86-96.

[12] Орлова Е.В. Инструментарий управления эффективностью налоговой системы // Экономический анализ: теория и практика, 2013. № 43 (436). – с. 59–70.

[13] Орлова Е.В. Экономико-статистический анализ тенденций развития предприятий машиностроения (макроэкономический подход) // Технология машиностроения, 2014. № 3. – с. 66–70.

[14] Орлова Е.В. Синтез оптимального управления процессом распределения стохастических финансовых потоков производственно-экономической системы // Аудит и финансовый анализ, 2013. № 6. – с. 149-15.

[15] Орлова Е.В. Имитационная модель управления стохастическими финансовыми потоками предприятия // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Экономические науки, 2012. № 5.– с.185–189.

[16] Orlova E.V. Simulation Model for the Firms' Financial Resource Management // Proceedings of the 28th International Business Information Management Association Conference on Vision 2020: Innovation Management, Development Sustainability, and Competitive Economic Growth, IBIMA 2016. – Seville, 2016.

[17] Орлова Е.В. Управление хаотической динамикой цен в модели ценовой конкуренции // Автоматика и телемеханика, 2017. № 1. – с. 19-34.

[18] Орлова Е.В. Модель согласования экономических интересов дуополистов при формировании ценовой политики // Компьютерные исследования и моделирование, 2015. № 6. – с. 1309-1329.

Аналитическое решение динамической задачи стимулирования с учетом эффекта кривой обучения

Павлов О.В.
Институт экономики и управления
Самарский национальный
исследовательсчкий университет
им. академика С.П. Королева
Самара, Россия
pavlov@ssau.ru

***Abstract* — the article explores the dynamic incentive problem of workers of the industrial firm in continuous time with the learning curve effect. The initial dynamic problem of material incentives was reduced to the optimal control problem. The problem of optimal control with continuous time was solved analytically using the Pontryagin maximum principle. As a result of the study, the choice condition for the optimal production volumes was found. The optimal production volumes for any model of the learning curve at each point in time should be chosen inversely to the labor intensity of the product and directly to the discount rate. In the absence of discounting: the optimal production volumes for any model of the learning curve at each point in time should be chosen inversely to the labor intensity of the products. The formulae were obtained for optimal production volumes, cumulative production volumes and agent labor costs for power and exponential learning curve models.**

Ключевые слова — динамическая задача стимулирования, эффект кривой обучения, обратная игра Штакельберга, принцип максимума Понтрягина

I. Введение

Задача стимулирования исполнителей является одной из важнейших в теории управления организационными системами. Руководство (центр) выбирает систему стимулирования на основе прогноза реакции исполнителя (агента) с целью максимизации своей целевой функции. Агент выбирает действие (объем работы) с целью максимизации своего критерия оптимальности.

Динамические модели взаимодействия неравноправных игроков рассматриваются в теории активных систем [1], информационной теории иерархических систем [2–4] и теории динамических игр [5–6]. Задача динамического стимулирования агентов в терминах теории динамических игр называется обратная игра Штакельберга. Динамические обратные игры Штакельберга рассматриваются в научных публикациях [7–9]. В информационной теории иерархических систем задача динамического стимулирования получила название игра Гермейера Γ_2. Современный обзор полученных результатов теории иерархических систем приводится в [4].

В теории активных систем [1] предлагается подход, основанный на принципе компенсации затрат агента. Центр компенсирует затраты агента в случае выбора оптимальной плановой траектории центра и не выплачивает материального вознаграждения в противном случае. Исходная задача разделяется на задачу согласованного стимулирования и задачу согласованного планирования. Задача согласованного планирования сводится к задаче оптимального управления. В работе [10] приводятся результаты, обобщающие теоремы из монографии [1].

В теории иерархических систем [2–4] предлагается подход, связанный с выбором центром программы совместных действий с агентом и наказание за отклонение от этой программы. При этом центр исходит из принципа максимального гарантированного результата. В результате исходная задача стимулирования сводится к задаче оптимального управления.

В данной статье в рамках подхода [1,10] формулируется и аналитически решается с помощью принципа максимума Понтрягина задача динамического стимулирования агентов в условиях эффекта кривой обучения. Эффект кривой обучения заключается в том, что затраты времени агентов (трудоемкость) на выполнение многократно повторяющихся производственных операций снижаются. Описание моделей кривых обучения в производственной деятельности представлено в научной литературе [11-13].

II. Постановка динамической задачи стимулирования с учетом кривой эффекта обучения

Рассматривается двухуровневая динамическая производственная система, состоящая из центра и n независимых агентов. Трудовые затраты и материальное стимулирование агентов зависят только от их собственных действий. В работе применяется принцип декомпозиции игры [1], который позволяет рассматривать управление i-ым агентом независимо и не учитывать взаимодействие агентов между собой. Рассматривается задача управления только одним i-ым агентом. Центр не занимается производственной деятельностью, распределяет плановый объем работы i-му агенту и контролирует его выполнение с помощью системы стимулирования.

Динамика производственного процесса изготовления продукции i-ым агентом описывается дифференциальным уравнением:

$$\frac{dx(t)}{dt} = u(t)\,. \qquad (1)$$

©2019 ИПУСС РАН, СамГТУ, IEEE

где $x(t)$ - кумулятивный объём производства продукции в момент времени t, $u(t)$ – объём производства продукции в момент времени t.

Производственная деятельность рассматривается на фиксированном интервале времени:

$$0 \le t \le T ,$$

T – горизонт планирования.

В начальный период известно количество произведенной продукции:

$$x(0) = x_0 . \quad (2)$$

В конечный период кумулятивный объём продукции должен быть равен заданному центром:

$$x(T) = x_0 + R . \quad (3)$$

где R – заданное количество продукции.

На объём производства продукции в каждом периоде t наложены следующие ограничения:

$$0 < u(t) \le x_0 + R - x(t) , \quad (4)$$

В качестве целевой функции центра рассматривается максимизация интегрального дисконтированного дохода центра, определяемого как разница между доходом от произведенного агентом продукции и затратами на материальное стимулирование агента:

$$J_p = \int_0^T e^{-\delta t} [\, p(t)u(t) - \sigma(x(t))]\, dt \to max , \quad (5)$$

где $p(t)$ – цена продукции, $\sigma(x(t))$ - функция стимулирования центра, δ – ставка дисконтирования.

Под функцией стимулирования понимается правило выплаты материального вознаграждения агенту за выполненный объем работы. Центр воздействует на производственный процесс через функцию материального стимулирования $\sigma(x(t))$, экономически заинтересовывая агентов выполнять плановые объемы производства.

Агент стремится максимизировать свой интегральный дисконтированный доход, определяемый как разница между материальным стимулированием и трудовыми затратами, выраженными в денежной форме:

$$J_a = \int_0^T e^{-\delta t} [\, \sigma(x(t)) - C(x(t),u(t))]\, dt \to max , \quad (6)$$

где $C(x(t),u(t))$ - функция трудовых затрат агента.

Функция трудовых затрат агента в денежном выражении определяется как произведение трудоемкости $c(t)$, объёма производства $u(t)$ и стоимости одного норма часа по субъективной оценке агента s:

$$C(t) = sc(x(t))u(t) . \quad (7)$$

Динамика изменения трудоемкости продукции от кумулятивного объёма производства описывается различными моделями кривой обучения [11-13]. Наиболее типичными моделями являются степенная, экспоненциальная и логистическая.

Степенная модель кривой обучения имеет следующий вид:

$$c(x(t)) = ax(t)^{-b} . \quad (8)$$

где a – затраты на производство первого изделия, b – индекс обучения.

Индекс обучения характеризует скорость снижения трудоемкости продукции при увеличении кумулятивного объёма производства.

Экспоненциальная модель кривой обучения:

$$c(x(t)) = k + \beta e^{-\alpha x(t)} . \quad (9)$$

где α - индекс обучения, k, β - параметры экспоненциальной модели.

Логистическая модель кривой обучения:

$$c(x(t)) = c_{min} + (c_{max} - c_{min}) \left[\frac{1}{1 + \beta e^{\alpha x(t)}} \right] .$$

где c_{min}, c_{max} - минимальные и максимальные значения трудоемкости продукции, α - индекс обучения, β - параметр логистической модели.

Управленческая задача центра заключается в выборе такой оптимальной функции стимулирования $\sigma(x(t))$, при которой агент выберет оптимальные объёмы производства продукции $u(t)$, удовлетворяющие ограничению (4), которые переведут производственный процесс (1) из начального состояния (2) в конечное состояние (3) и максимизируют критерий оптимальности центра (5). Агент выбирает оптимальные объёмы производства продукции $u(t)$, которые максимизируют его целевую функцию (6), зависящую от функции материального стимулирования центра.

III. Алгоритм решения динамической задачи стимулирования с учетом эффекта кривой обучения

Для решения сформулированной динамической задачи стимулирования применяется принцип компенсации затрат [1]. В соответствии с принципом компенсации затрат для того, что бы побудить агента выбрать плановую траекторию центру достаточно компенсировать его затраты:

$$\sigma(x(t)) = C(x(t),u(t)) . \quad (10)$$

С учетом (7) и (10) целевая функция центра (5) запишется:

$$J_p = \int_0^T e^{-\delta t}\,[\,p(t) - sc(x(t))]u(t)dt \to max\ .$$

Алгоритм решения состоит в разделении исходной задачи на задачу согласованного стимулирования и задачу согласованного планирования.

Задача согласованного динамического стимулирования заключается в выплате материального вознаграждения агентам за реализацию оптимальных плановых объемов производства, которое компенсирует трудовые затраты агентов. Центр выбирает компенсаторную систему стимулирования, которая заключается в компенсации затрат агента в случае выбора оптимальной плановой траектории центра $x^{opt}(t)$ и отсутствия материальных выплат в противном случае:

$$\sigma(x(t)) = \begin{cases} C(x(t),u(t)), & \text{если } x(t) = x^{opt}(t), \\ 0, & \text{если } x(t) \neq x^{opt}(t). \end{cases}$$

Задача согласованного динамического планирования заключается в выборе центром оптимальных плановых объемов производства с целью максимизации интегральной дисконтированной разности между доходами центра и трудовыми затратами агента:

$$J_p = \int_0^T e^{-\delta t}\,[\,p(t) - sc(x(t))]u(t)dt \to max\ .$$

Рассмотрим случай, когда цена продукции p постоянная величина. Тогда максимизацию интегрального дохода центра можно заменить минимизацией интегральных трудовых затрат агента:

$$J_p = \int_0^T e^{-\delta t} C(x(t),u(t))dt \to min\ .$$

Оптимальная плановая траектория центра $x^{opt}(t)$ определится из решения задачи оптимального управления:

$$\frac{dx(t)}{dt} = u(t), \tag{11}$$

$$x(0) = x_0\ . \tag{12}$$

$$x(T) = x_0 + R\ . \tag{13}$$

$$0 < u(t) \le x_0 + R - x(t),\ t = 0, T\ . \tag{14}$$

$$J_p = \int_0^T e^{-\delta t} C(x(t),u(t))dt \to min\ . \tag{15}$$

Сформулированная задача оптимального управления с непрерывным временем (11)-(15) решается аналитически с применением принципа максимума Понтрягина [14]. Непосредственное применение принципа максимума Понтрягина к сформулированной задаче оптимального управления невозможно, так как в этом случае существует особое управление [15].

В качестве критерия оптимальности центра рассматривается близкий по экономическому смыслу критерий: минимизация интегрального дисконтированного темпа функции трудовых затрат агента $C(t)$:

$$J_p = \int_0^T e^{-\delta t} \frac{\dot{C}(t)}{C(t)}dt \to min\ .$$

где $\frac{\dot{C}(t)}{C(t)} = [\ln C(t)]'$ - логарифмическая производная функции трудовых затрат, имеющая экономический смысл темпа функции трудовых затрат.

Утверждение 1.

Для положительной и абсолютно непрерывной функции $C(t)$ максимизация (минимизация) функционала:

$$\tilde{J} = \int_0^T e^{-\delta t} \frac{\dot{C}(t)}{C(t)}dt$$

эквивалентна максимизации (минимизации) функционала:

$$J = \int_0^T e^{-\delta t} \ln C(t)dt\ . \tag{16}$$

Доказательство утверждения приведено автором в [16].

IV. Аналитическое решение динамической задачи стимулирования с учетом эффекта кривой обучения

Для решения сформулированной задачи (11)-(14), (16) запишем функцию Гамильтона:

$$H = \psi(t)u(t) - e^{-\delta t}\ln s - e^{-\delta t}\ln[c(x(t))] - e^{-\delta t}\ln[u(t)]\ .$$

где $\psi(t)$ - вспомогательная переменная, которая удовлетворяет сопряжённому уравнению:

$$\frac{d\psi}{dt} = -\frac{\partial H}{\partial x} = e^{-\delta t}\frac{\partial\{\ln[c(x(t))]\}}{\partial x}\ .$$

В соответствии с принципом максимума Понтрягина в каждой точке оптимальной траектории функция Гамильтона достигает максимума относительно управляющих параметров. Найдем максимум гамильтониана по управлению из условия:

$$\frac{\partial H}{\partial u} = 0\ . \tag{17}$$

Определим оптимальное управление из условия (17):

$$u^{opt}(t) = \frac{e^{-\delta t}}{\psi}. \quad (18)$$

Запишем систему сопряженных уравнений:

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = \frac{e^{-\delta t}}{\psi} \\ \frac{d\psi}{dt} = e^{-\delta t} \frac{\partial\{ln[c(x(t))]\}}{\partial x} \end{cases}. \quad (19)$$

Из уравнений системы (19) следует:

$$dt = e^{\delta t}\psi dx. \quad (20)$$

$$dt = e^{\delta t}\left(\frac{\partial\{ln[c(x(t))]\}}{\partial x}\right)^{-1} d\psi. \quad (21)$$

Симметрическая форма системы (19) с учетом уравнений (20), (21) будет иметь вид:

$$dt = \psi dx = \left(\frac{\partial\{ln[c(x(t))]\}}{\partial x}\right)^{-1} d\psi. \quad (22)$$

Выполним разделение переменных во втором дифференциальном уравнении (22):

$$\frac{d\psi}{\psi} = \frac{\partial\{ln[c(x(t))]\}}{\partial x} dx. \quad (23)$$

Найдем общее решение дифференциального уравнения (23):

$$\psi = C_0 c(x(t)). \quad (24)$$

где C_0 - постоянная интегрирования.

Оптимальное управление (18) с учетом (24) примет вид:

$$u^{opt}(t) = \frac{e^{-\delta t}}{C_0 c(x(t))}. \quad (25)$$

На основании полученного условия для оптимального управления (25) сформулируем следующее утверждение.

Утверждение 2.

Оптимальные объемы производства для любой модели кривой обучения в каждый момент времени должны быть обратно пропорциональны трудоемкости продукции и прямо пропорциональны коэффициенту дисконтирования.

Подставим в функцию трудовых затрат агента (7) полученное оптимальное управление (25):

$$C(t) = s\frac{e^{-\delta t}}{C_0}.$$

При выборе агентом плановых оптимальных объемов производства трудовые затраты агента не зависят от трудоемкости продукции и объемов производства. Изменение трудовых затрат агента определяется только ставкой дисконтирования δ.

В случае отсутствия дисконтирования (ставка дисконтирования δ=0) оптимальное управление будет иметь вид:

$$u^{opt}(t) = \frac{1}{C_0 c(x(t))}. \quad (26)$$

На основании полученного условия для оптимального управления (26) сформулируем следующее утверждение.

Утверждение 3.

В случае отсутствия учета дисконтирования оптимальные объемы производства для любой модели кривой обучения в каждый момент времени должны быть обратно пропорциональны трудоемкости продукции.

Функция трудовых затрат запишется:

$$C(t) = \frac{s}{C_0}$$

При выборе агентом плановых оптимальных объемов производства трудовые затраты агента постоянны на всем горизонте планирования. В начале временного интервала, когда трудоемкость большая объемы производства должны быть маленькими. По мере уменьшения трудоемкости из-за обучения агентов объемы производства должны увеличиваться. В конце временного отрезка ситуация меняется на противоположную: маленькой трудоемкости соответствует большие объемы производства. Так как центр компенсирует трудовые затраты агенту соответственно и функция стимулирования центра будет постоянна на всем временном отрезке.

Найдем оптимальное управление и оптимальную траекторию для степенной модели кривой обучения (8). Подставим в выражение для сопряженной переменой (24) формулу (8):

$$\psi = C_1 x(t)^{-b}. \quad (27)$$

где $C_1 = C_0 a$ - постоянная интегрирования.

Подставим формулу (27) в дифференциальное уравнение (20):

$$dt = e^{\delta t} C_1 x(t)^{-b} dx. \quad (28)$$

Общее решение уравнения (28) будет иметь вид:

$$t = -\frac{1}{\delta} ln\left[C_2 - C_1\delta\frac{x(t)^{1-b}}{1-b}\right]. \quad (29)$$

Определим постоянные интегрирования C_1 и C_2 из граничных условий:

$$C_1 = \frac{(1-e^{-\delta T})(1-b)}{\delta[(x_0+R)^{1-b} - x_0^{1-b}]}. \quad (30)$$

$$C_2 = 1 + \frac{(1-e^{-\delta T})x_0^{1-b}}{(x_0+R)^{1-b} - x_0^{1-b}}. \quad (31)$$

Подставляя постоянные интегрирования (30), (31) в формулу (29) найдем уравнение оптимального кумулятивного объема производства:

$$x^{opt}(t) = \left(x_0^{1-b} + \frac{(1-e^{-\delta t})}{(1-e^{-\delta T})}[(x_0+R)^{1-b} - x_0^{1-b}] \right)^{\frac{1}{1-b}}. \quad (32)$$

Определим оптимальное управление, подставив формулу (27) в условие (18) с учетом найденного выражения для C_1 (30):

$$u^{opt}(t) = \frac{\delta e^{-\delta t}}{1-e^{-\delta T}} \left[x^{opt}(t) \right]^b \frac{(x_0+R)^{1-b} - x_0^{1-b}}{(1-b)}. \quad (33)$$

Найдем функцию трудовых затрат агента с учетом формул (32) и (33):

$$C(t, x^{opt}, u^{opt}) = a \frac{\delta e^{-\delta t}}{1-e^{-\delta T}} \frac{(x_0+R)^{1-b} - x_0^{1-b}}{(1-b)}.$$

Аналогично были получены формулы в случае отсутствия дисконтирования (ставка дисконтирования δ=0). Уравнение оптимального кумулятивного объема производства:

$$x^{opt}(t) = \left(x_0^{1-b} + \frac{t}{T}[(x_0+R)^{1-b} - x_0^{1-b}] \right)^{\frac{1}{1-b}}$$

Оптимальные объемы производства:

$$u^{opt}(t) = \frac{1}{T} \left[x^{opt}(t) \right]^b \frac{(x_0+R)^{1-b} - x_0^{1-b}}{(1-b)}$$

Функция трудовых затрат агента:

$$C(t, x^{opt}, u^{opt}) = \frac{a}{T} \frac{(x_0+R)^{1-b} - x_0^{1-b}}{(1-b)}.$$

Найдем оптимальное управление и оптимальную траекторию для экспоненциальной модели кривой обучения (9). Преобразуем экспоненциальную модель кривой обучения (9) к следующему виду:

$$c_{\text{пр}}(x(t)) = c(x(t)) - k = \beta e^{-\alpha x(t)}. \quad (34)$$

Подставим формулу (34) в выражение для сопряженной переменой (24):

$$\psi = C_1 e^{-\alpha x(t)}. \quad (35)$$

где $C_1 = C_0\beta$ - постоянная интегрирования.

Подставим формулу (35) в (20):

$$dt = e^{\delta t} C_1 e^{-\alpha x(t)} dx.$$

Интегрируя дифференциальное уравнение, получим:

$$t = -\frac{1}{\delta} ln\left(\frac{\delta C_1}{\alpha} e^{-\alpha x(t)} + C_2 \right). \quad (36)$$

Определим постоянные интегрирования C_1 и C_2 из граничных условий:

$$C_1 = \frac{1-e^{-\delta T}}{\delta} \frac{\alpha}{e^{-\alpha x_0} - e^{-\alpha(x_0+R)}}. \quad (37)$$

$$C_2 = 1 - \frac{(1-e^{-\delta T})e^{-\alpha x_0}}{e^{-\alpha x_0} - e^{-\alpha(x_0+R)}}. \quad (38)$$

Подставляя постоянные интегрирования (37)-(38) в уравнение (36) найдем уравнение оптимального кумулятивного объема производства:

$$x^{opt}(t) = ln\left\{ \left[e^{-\alpha x_0} - \frac{1-e^{-\delta t}}{1-e^{-\delta T}}(e^{-\alpha x_0} - e^{-\alpha(x_0+R)}) \right]^{-\frac{1}{\alpha}} \right\}. \quad (39)$$

Определим оптимальное управление:

$$u^{opt}(t) = \frac{\delta e^{-\delta t}}{\alpha(1-e^{-\delta T})}(e^{-\alpha x_0} - e^{-\alpha(x_0+R)}) e^{\alpha x^{opt}(t)}. \quad (40)$$

Найдем приведенные трудовые затраты агента (34) $c_{пр}(x(t))u(t)$ с учетом (40):

$$c_{\text{пр}}(x(t))u(t) = \frac{\beta}{\alpha} \frac{\delta e^{-\delta t}}{(1-e^{-\delta T})}(e^{-\alpha x_0} - e^{-\alpha(x_0+R)}).$$

Аналогично были получены формулы в случае отсутствия учета дисконтирования. Уравнение оптимального кумулятивного объема производства:

$$x^{opt}(t) = ln\left\{ \left[e^{-\alpha x_0} - \frac{t}{T}(e^{-\alpha x_0} - e^{-\alpha(x_0+R)}) \right]^{-\frac{1}{\alpha}} \right\}.$$

Оптимальные объемы производства:

$$u^{opt}(t) = \frac{1}{\alpha T}(e^{-\alpha x_0} - e^{-\alpha(x_0+R)})e^{\alpha x^{opt}(t)}.$$

Функция приведенных трудовых затрат агента:

$$c_{\text{пр}}(x(t))u(t) = \frac{\beta}{\alpha T}(e^{-\alpha x_0} - e^{-\alpha(x_0+R)}).$$

V. Заключение

В статье рассмотрена динамическая задача стимулирования исполнителей в непрерывном виде с учетом эффекта кривой обучения. Исходная задача сведена к задаче оптимального управления с критерием оптимальности равным разности между дисконтированным доходом центра и трудовыми затратами исполнителя. Показано, что в случае постоянной цены продукции в качестве критерия оптимальности можно рассматривать минимизацию интегральных дисконтированных трудовых затрат агента. Непосредственное применение принципа максимума Понтрягина к сформулированной задаче оптимального управления невозможно из-за существования особого управления. В качестве критерия оптимальности центра выбран близкий по экономическому смыслу критерий: минимизация интегрального дисконтированного темпа функции трудовых затрат агента.

В результате аналитического решения задачи с помощью принципа максимума Понтрягина найдено условие определения оптимальных объемов производства. Оптимальные объемы производства для любой модели кривой обучения на всем временном интервале должны выбираться обратно пропорционально трудоемкости продукции и прямо пропорционально коэффициенту дисконтирования. В случае отсутствия учета дисконтирования оптимальные объемы производства для любой модели кривой обучения на всем временном интервале должны выбираться обратно пропорционально трудоемкости продукции. В этом случае при выборе агентом плановых оптимальных объемов производства трудовые затраты агента постоянны на всем временном интервале. Для степенной и экспоненциальной моделей кривой обучения получены формулы для оптимальных объемов производства, кумулятивного объёма производства, трудовых затрат агентов.

Список литературы

[1] Новиков Д.А., Смирнов И.М., Шохина Т.Е. Механизмы управления динамическими активными системами. - М.: ИПУ РАН, 2002. - 124 с.

[2] Горелик В.А., Горелов М.А., Кононенко А.Ф.. Анализ конфликтных ситуаций в системах управления. - М.: Радио и связь, 1991. - 288 с.

[3] Горелик В.А., Кононенко А.Ф. Теоретико-игровые модели принятия решений в эколого-экономических системах. - М.: Радио и связь, 1982. - 144 с.

[4] Горелов М.А., Кононенко А.Ф. Динамические модели конфликтов III. Иерархические игры // Автоматика и телемеханика, 2015. № 2. - С. 89-106.

[5] Basar T., G.J. Olsder Dynamic Noncooperative Game Theory. - Philadelphia: SIAM, 1999. - 519 p.

[6] Dockner E., Jorgensen S., Long N.V., Sorger G. Differential games in economics and management Science. - Cambridge: Cambridge University Press, 2000. - 382 p.

[7] Olsder G.J. Phenomena in inverse Stackelberg games. Part 2: dynamic problems // Journal of Optimization Theory and Applications, 2009. vol 143. № 3. - P. 601–618.

[8] Groot N., De Schutter B., Hellendoorn H. Reverse Stackelberg games. Part I: basic framework // Proceedings of the 2012 IEEE International Conference on Control Applications, (october 2012, Dubrovnik, Croatia). 2012. - P. 421–426.

[9] Groot N., De Schutter B., Hellendoorn H. Reverse Stackelberg games. Part II: results and open issues // Proceedings of the 2012 IEEE International Conference on Control Applications, (october 2012, Dubrovnik, Croatia). 2012. - P. 427–432.

[10] Рохлин Д.Б., Угольницкий Г.А. Равновесие Штакельберга в динамической модели стимулирования с полной информацией // Автоматика и телемеханика, 2018 № 4, С. 152-166.

[11] Badiru A. Computational survey of univariate and multivariate learning curve models // IEEE Transactions on Engineering Management, 1992. V. 39, №. 2. - P. 176-188.

[12] Yelle L.E. The learning curve: Historical review and comprehensive survey // Decision Sciences, 1979. V. 10. № 2. - P. 302-328.

[13] Mohamad Y. Jaber. Learning Curves: Theory, Models, and Applications. Boca Raton: CRC Press. 2011. - 476 p.

[14] Понтрягин Л.С., Болтянский В.Г., Гамкрелидзе Р.В., Мищенко Е.Ф. Математическая теория оптимальных процессов. - М.: Наука, 1983. - 392 с.

[15] Афанасьев В.Н., Колмановский В.Б., Носов В.Р. Математическая теория конструирования систем управления: учеб. для вузов. М.: Высш. шк., 2003. - 614 с.

[16] Pavlov O.V. Dynamic models of production planning with continuous time in projects of new products development // Journal of Physics: Conference Series, 2018. Volume 1096. - P. 012180.

Математическое моделирование многокритериальных конфликтов аналитической деятельности ситуационных центров органов внутренних дел

Пьянков О.В.,
Воронежский институт МВД России
г. Воронеж, Россия,
olegic79@mail.ru

Терентьев А.А.
Воронежский институт МВД России
г. Воронеж, Россия,
Alextt02021993@yandex.ru

Гилев И.В.
Воронежский институт МВД России
г. Воронеж, Россия,
gileviv@bk.ru

***Abstract* — The author studies the tendencies of centralization of management leading to the creation of situation centers and operational management centers in the Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation. The purpose of situational centers is described in its connection with the information-analytical and telecommunications support for the activities of Law Enforcement Agencies. The tasks of managing the forces and resources of organizations and divisions set up to perform tasks and exercise powers are solved.**

Due to the fact that the main element of analytical activity is a human, it is proposed to consider situational centers that perform analytical activities and serve law enforcement agencies as a class of ergatic systems.

The subsystems of the situational centers of the internal affairs bodies (organizational, informational, technical, personnel, regulatory, etc.) are identified, their goals and tasks are set. The analysis of the allocation of types of relationships and ways of interacting with each other is conducted.

Such criteria of analytical interaction efficiency of Law Enforcement Agencies as decision time, decision-making cost (material costs), the probability that the decision made will completely solve the task are offered. The degree of influence of the subsystems upon each criterion is defined with the help of the hierarchy analysis method.

From the perspective of the theory of conflicts, an assessment of the interaction of subsystems is given. A mathematical model of the interaction of subsystems is proposed, including the main criteria for the effectiveness of the work of the situational centers of law enforcement agencies. A mathematical model of conflicting interactions, by which a weighted oriented sign multigraph is meant, is substantiated on condition there are several performance criteria. Algorithms for reducing conflict interactions of the subsystems of the situation centers law enforcement agencies are developed and proposed.

Ключевые слова — ситуационный центр, метод анализа иерархии, мультиграф, метод попарного сравнения

I. Введение

Реалии современной жизни заключаются в её значительной динамике, необходимости оперативного реагирования на возникающие угрозы нарушения общественной безопасности и сохранения общественного порядка, что требует эффективного управления подразделениями органов внутренних дел. Существующие на сегодняшний день возможности информационных технологий и средств вычислительной техники позволяют консолидировать задачи управления в едином месте – ситуационном центре.

Ситуационный центр – это наукоемкий комплекс программно-технических средств обработки и отображения информации, информационно-аналитических систем и информационных ресурсов, информационно-телекоммуникационных сетей, технических и программных средств обеспечения необходимого уровня информационной безопасности, а также специально подготовленный персонал [1, 2].

Ситуационные центры органов внутренних дел являются внештатными подразделениями, предназначенными для информационно-аналитического и телекоммуникационного обеспечения решения задач, управления силами и средствами подразделений МВД России [3]. В последнее время органы внутренних дел при решении поставленных задач уделяют особое внимание созданию и использованию ситуационных центров. Учитывая социально-психологические аспекты деятельности ситуационного центра, его можно отнести к классу эргатических систем, эффективность деятельности которых непосредственно зависит от человеческого фактора, а вмешательство сотрудника центра является необходимым условием обеспечения надежной работы самого центра.

Ситуационный центр органов внутренних дел является сложной системой, в составе которой можно выделить следующие подсистемы:

1) Информационную – это подсистема, предназначенная для приема, обработки, хранения, передачи и поиска информации, обеспечивающая доступ сотрудников ситуационного центра к имеющимся информационным ресурсам.
2) Техническую – это комплекс аппаратно-программных средств, предназначенный для обеспечения реализации информационных процессов.
3) Аналитическую – подсистема, в которой осуществляется смысловая обработка информации для выработки качественно новых знаний и подготовки оптимальных управленческих решений.

©2019 ИПУСС РАН, СамГТУ, IEEE

4) Кадровую – это подсистема, включающая персонал, сотрудников центра с требуемым уровнем профессиональных компетенций.

5) Нормативно-правовую – это совокупность правовых норм, актов и требований, на основе которых осуществляется функционирование ситуационных центров органов внутренних дел.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Взаимодействие выделенных подсистем внутри ситуационного центра может осуществляться разнообразными способами, преимущественно согласованно по целям, времени и месту. Однако, наличие человеческого фактора может влиять на успешность решения задач органов внутренних дел, в связи с чем требуется определение критериев эффективности функционирования ситуационных центров, а также учёт типов отношений между подсистемами, с целью выявления наиболее оптимальной структуры ситуационного центра, как эргатической системы.

III. РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ

Поскольку ситуационный центр является сложной эргатической системой, то рассматривать работу ситуационного центра органов внутренних дел необходимо с точки зрения принятия эффективных управленческих решений. В связи с этим предложим следующие критерии эффективности функционирования ситуационных центров ОВД:

1) Время принятия решения – *T*.

С момента постановки задачи и до принятия определенного решения может пройти значительное количество времени, когда необходимость принятия решения может пропасть, а последствия могут иметь катастрофический характер.

2) Стоимость решения (материальные затраты) – *S*.

Под этим критерием понимается необходимость использования значительных ресурсов при подготовке основ для принятия решения, например, необходимость выполнения исследования нескольких альтернатив, в том числе с проведением натурных экспериментов, задействования значительных материальных ресурсов для подготовки решения.

3) Вероятность, что принятое управленческое решение урегулирует поставленную задачу – *P*.

При решении любой задачи могут возникать ситуации, когда будет необходимо осуществить выбор между несколькими альтернативами, в связи с чем прогнозирование как то или иное решение урегулирует задачу является важным и необходимым критерием оценки эффективности функционирования ситуационного центра.

Для выделения типов отношений между подсистемами и оценки их взаимодействия можно воспользоваться положениями теории конфликта [4, 5]. При этом удобным способом представления структуры ситуационного центра и взаимодействия подсистем между собой является граф $G = G(V, E)$, множество вершин которого $V = \{v_1, v_2, v_3, v_4, v_5\}$ соответствует множеству подсистем ситуационного центра: v_1 – аналитическая; v_2 – информационная; v_3 – техническая; v_4 – кадровая; v_5 – нормативно-правовая, а дуги E – отношениям между подсистемами.

Стоит отметить, что типы отношений (конфликт, сотрудничество и независимость) между подсистемами могут быть разными для разных критериев эффективности. В связи с этим построим графы для каждого критерия.

Для критерия «Время принятия решений» граф $G_T = (V, E_T)$ изображен на рис. 1.

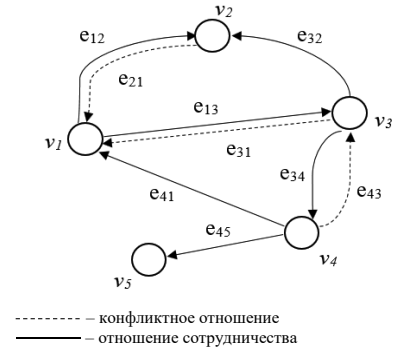


Рис. 1. Граф G_T. $E_T = \{e_{12}, e_{21}, e_{13}, e_{32}, e_{31}, e_{34}, e_{43}, e_{41}, e_{45}\}$

При рассмотрении графа G_T приведем пример отношения для оценки по критерию «время принятия решения» между технической и кадровой подсистемами. При увеличении времени работы технической подсистемы необходимо увеличить время работы персонала (кадровой подсистемы), следовательно, можно сделать вывод, что отношение v_3 к v_4 можно охарактеризовать, как отношение сотрудничества, исходя из определения «сотрудничества» [4]:

$$\text{дуга e34: } T_3(v_3)\uparrow \Rightarrow T_4(v_4)\uparrow = \overline{I_c}.$$

Обратно, при увеличении времени работы персонала, можно добиться уменьшения времени работы технической подсистемы, тем самым отношение v_4 к v_3 можно охарактеризовать как конфликтное отношение:

$$\text{дуга } e_{43}\text{: } T_4(v_4)\uparrow \Rightarrow T_3(v_3)\downarrow = I.$$

Для второго критерия – «Стоимость принятия решения (материальные затраты)» построим граф G_S (см. рис. 2).

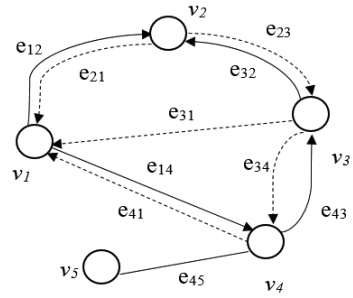


Рис. 2. Граф G_S. $E_S = \{e_{12}, e_{14}, e_{21}, e_{23}, e_{31}, e_{32}, e_{34}, e_{43}, e_{41}, e_{45}\}$

При рассмотрении G_S рассмотрим пример отношения между аналитической и информационной подсистемами. Если происходит увеличении затрат на информационную подсистему, то стоимость аналитической подсистемы не изменится, даже в некоторых случаях уменьшится, тем самым отношение v_2 к v_1 – конфликтное отношение:

$$\text{дуга } e_{21}: S_2(v_2)\uparrow \Rightarrow S_1(v_1)\downarrow = I.$$

Обратно, при увеличении стоимости аналитической подсистемы, также произойдет повышение стоимости информационной подсистемы, таким образом между отношение v_1 к v_2 можно описать как отношение сотрудничества:

$$\text{дуга } e_{12}: S_1(V_1)\uparrow \Rightarrow S_2(V_2)\uparrow = \overline{I}_c.$$

Для последнего критерия – «Вероятность, что принятое решение полностью разрешит поставленную задачу» построим граф G_P (см. рис. 3).

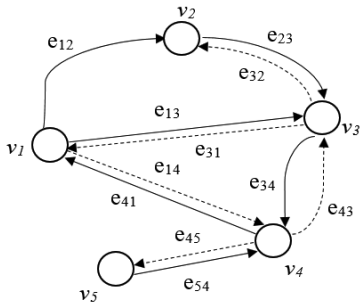


Рис. 3. Граф G_P. $E_P = \{e_{12}, e_{13}, e_{14}, e_{23}, e_{31}, e_{32}, e_{34}, e_{41}, e_{43}, e_{45}\}$

При рассмотрении графа G_P рассмотрим пример отношения для оценки по критерию «Вероятность, что принятое решение полностью разрешит поставленную задачу» между аналитической и кадровой подсистемами. При использовании некомпетентного персонала, вероятность, того что принятое решение полностью разрешит поставленную задачу будет снижаться, тем самым отношение v_1 к v_4 образует конфликтное отношение:

$$\text{дуга e14: } p_1(v_1)\downarrow \Rightarrow p_4(v_4)\uparrow = I.$$

Однако если персонал будет компетентен, вероятность, того что принятое решение полностью разрешит поставленную задачу возрастет, таким образом отношение v_4 к v_1 – отношение сотрудничества:

$$\text{дуга e41: } p_4(v_4)\uparrow \Rightarrow p_1(v_1)\uparrow = I_c.$$

Полученные отношения для каждого критерия эффективности между подсистемами ситуационного центра органов внутренних дел сведем в один граф, который представляет собой ориентированный мультиграф $G = G(V, E_\Sigma)$ (см. рис. 4), где связи между элементами графа выделенные красным цветом – «Время принятия решений»; синий цвет – «Стоимость принятия решения (материальные затраты)»; зеленый цвет – «Вероятность, что принятое решение полностью разрешит поставленную задачу».

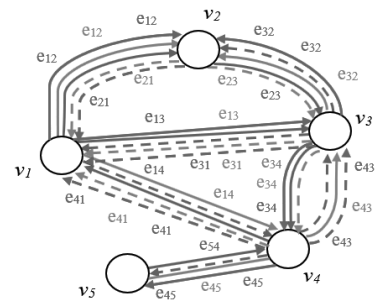


Рис. 4. Мультиграф G

Построенный мультиграф G позволяет отобразить общую картину взаимосвязей подсистем друг с другом для каждого критерия эффективности. Такой подход позволяет прогнозировать возможные изменения в функционировании подсистем, а, следовательно, и изменения в эффективности функционирования всего ситуационного центра. При этом имеется возможность осуществлять структурно-параметрические модификации ситуационного центра, например, с помощью следующих способов:

1) Изменение цели системы.
2) Изменение целей подсистем.
3) Изменение знака дуги.
4) Удаление одного (или нескольких) подсистемы и соответствующих дуг.
5) Введение нового элемента системы (и соответствующих ему дуг).
6) Введение одной или нескольких дуг.
7) Удаление одной или нескольких дуг.
8) Комбинирование вышеперечисленных способов.

Для определения наиболее важной подсистемы ситуационного центра органов внутренних дел предлагается использовать метод анализа иерархии (МАИ) [6, 7]. В общем случае МАИ предназначен для анализа нелинейных структур, которые применяются для выполнения как дедуктивного, так и индуктивного вывода без использования силлогизма, а также для одновременного рассмотрения множества факторов с учетом зависимостей и обратных связей между ними и для нахождения компромисса в процессе вывода заключения. Данный метод не предписывает эксперту, принимающему решение, какого-либо «правильного» решения, а позволяет ему в интерактивном режиме найти такой вариант или альтернативу, который наилучшим образом согласуется с его пониманием сути проблемы и требованием к ее решению.

МАИ включает несколько этапов:

1) Построение поставленной задачи в виде иерархии.
2) Построение матрицы попарного сравнения согласно иерархии.
3) Вычисление вектора приоритета.

В связи с этим учитывая критерии эффективности для ситуационного центра органов внутренних дел, структурируем задачу в виде иерархии (см. рис. 5). На первом уровне иерархии расположена главная цель – подготовка оптимального управленческого решения. На втором уровне расположим три критерия эффективности, а на третьем (последнем) уровне – пять выделенных подсистем, которые будем оценивать критериями указанными в уровне выше.

Рис. 5. Иерархическая задача подготовки эффективного управленческого решения

После представления поставленной задачи в виде иерархии, сравним критерии эффективности между собой, методом попарного сравнения (таблица I).

ТАБЛИЦА I. ПОПАРНОЕ СРАВНЕНИЕ КРИТЕРИЕВ

	Время принятия решения	**Стоимость принятия решения (материальные затраты)**	**Вероятность, что принятое решение полностью разрешит поставленную задачу**
Время принятия решения	1	4	3
Стоимость принятия решения (материальные затраты)	1/4	1	1/3
Вероятность, что принятое решение полностью разрешит поставленную задачу	1/3	3	1

Значения приоритетов для предложенных критериев эффективности представлен в таблице II.

ТАБЛИЦА II. ЗНАЧЕНИЯ ПРИОРИТЕТОВ

Время принятия решения	0,614
Стоимость принятия решения (материальные затраты)	0,117
Вероятность, что принятое решение полностью разрешит поставленную задачу	0,268

Согласно полученным значениям приоритетов можно сделать вывод, что критерий «Время принятий решений» является наиболее важным, а критерий «Стоимость принятия решения (материальные затраты)» наименее важным.

В соответствии с МАИ последовательно сравним подсистемы СЦ по каждому критерию (Таблица III-V).

ТАБЛИЦА III. ПОПАРНОЕ СРАВНЕНИЕ ПОДСИСТЕМ СЦ В СООТВЕТСТВИИ С КРИТЕРИЕМ «ВРЕМЯ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ»

Время принятия решения	**Аналитическая**	**Информационная**	**Техническая**	**Кадровая**	**Нормативно-правовая**
Аналитическая	1	2	1/2	1/4	3
Информационная	1/2	1	1/3	1/4	3
Техническая	2	3	1	1/2	4
Кадровая	4	4	2	1	4
Нормативно-правовая	1/3	1/3	1/4	1/4	1

Значения приоритетов соответственно будут равны: 0,15; 0,107; 0,257; 0,425; 0,061.

ТАБЛИЦА IV. ПОПАРНОЕ СРАВНЕНИЕ ПОДСИСТЕМ В СООТВЕТСТВИИ С КРИТЕРИЕМ «СТОИМОСТЬ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ (МАТЕРИАЛЬНЫЕ ЗАТРАТЫ)»

Стоимость принятия решения	**Аналитическая**	**Информационная**	**Техническая**	**Кадровая**	**Нормативно-правовая**
Аналитическая	1	3	1	1/2	5
Информационная	1/3	1	1/2	1/2	4
Техническая	1	2	1	1	5
Кадровая	2	2	1	1	5
Нормативно-правовая	1/5	1/4	1/5	1/5	1

Значения приоритетов соответственно будут равны: 0,254; 0,134; 0,257; 0,307; 0,048.

ТАБЛИЦА V. ПОПАРНОЕ СРАВНЕНИЕ ПОДСИСТЕМ В СООТВЕТСТВИИ С КРИТЕРИЕМ «ВЕРОЯТНОСТЬ, ЧТО ПРИНЯТОЕ УПРАВЛЕНЧЕСКОЕ РЕШЕНИЕ УРЕГУЛИРУЕТ ПОСТАВЛЕННУЮ ЗАДАЧУ»

Вероятность, что принятое решение полностью разрешит поставленную задачу	**Аналитическая**	**Информационная**	**Техническая**	**Кадровая**	**Нормативно-правовая**
Аналитическая	1	1/2	1/3	1/4	3
Информационная	2	1	1/2	1/2	4
Техническая	3	2	1	1/3	4
Кадровая	4	2	3	1	4
Нормативно-правовая	1/3	1/4	1/4	1/4	1

Значения приоритетов соответственно будут равны: 0,105; 0,181; 0,245; 0,411; 0,057.

Следующим шагом является синтез обобщенных приоритетов. Для того чтобы определить глобальные приоритеты подсистем ситуационного центра, запишем ранее полученные локальные вектора приоритетов подсистем по каждому критерию эффективности, умножив их на вектора приоритетов критерий эффективности. Полученные приоритеты суммируем по

строкам и получим глобальные вектора приоритетов подсистем ситуационного центра органов внутренних дел (Таблица VI).

ТАБЛИЦА VI. ГЛОБАЛЬНЫЕ ПРИОРИТЕТЫ

	Время принятия решения	**Стоимость принятия решения (материальные затраты)**	**Вероятность, что принятое решение полностью разрешит поставленную задачу**	**Глобальные приоритеты**
Аналитическая	0,092	0,0297	0,0281	0,14
Информационная	0,0657	0,0156	0,0485	0,12
Техническая	0,1578	0,03	0,0656	0,25
Кадровая	0,261	0,044	0,11	0,415
Нормативно-правовая	0,0375	0,0359	0,015	0,084

Произведенные расчеты методом анализа иерархии и полученные значения приоритетов для подсистем ситуационного центра органов внутренних дел позволяют сделать вывод о том, что самой важной подсистемой является кадровая подсистема, а наименее важной нормативно-правовая подсистема.

IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Моделирование и исследование конфликтных отношений подсистем ситуационного центра позволяет выделять структурные элементы, на которые необходимо обращать в первую очередь при необходимости повысить эффективность функционирования ситуационных центров органов внутренних дел. Наличие нескольких критериев определяет сложность задачи снижения конфликтности в отношениях между подсистемами и требует дальнейшей разработки методов исследования аналитической деятельности ситуационных центров и осуществления структурно-параметрических изменений эргатических систем специального назначения.

Предложенные в работе критерии эффективности функционирования ситуационных центров органов внутренних дел позволяют давать оценку работы действующих центров, а также осуществлять синтез создаваемых ситуационных центров для информационно-аналитического и телекоммуникационного обеспечения решения задач, управления силами и средствами подразделений МВД России.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

[1] Ильин Н.И., Демидов Н.Н., Новикова Е.В. Ситуационные центры. Опыт, состояние, тенденции развития // Москва. МедиаПресс, 2011. – 336 с.

[2] Меньших В.В. Моделирование информационных систем центров ситуационного управления // Воронеж. Научная книга, 2010. – 132 с.

[3] Об утверждении Положения о Ситуационном центре Министерства внутренних дел Российской Федерации и Регламента работы Ситуационного центра Министерства внутренних дел: приказ МВД России № 775 от 16.11.2018 г.

[4] Сысоев В.В. Конфликт. Сотрудничество. Независимость. Системное взаимодействие в структурно-параметрическом представлении // Москва. Московская академия экономики и права, 1999. – 151 с.

[5] Пьянков О.В. Комплексная оценка сложной системы на основе теории конфликтов // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Системный анализ и информационные технологии. – 2014. – № 1. – с. 34-39.

[6] Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. Перевод с английского Р. Г. Вачнадзе // Москва. Радио и связь, 1993. – 278 с.

[7] Саати Т. Л. Принятие решений при зависимостях и обратных связях: Аналитические сети. Пер. с англ. / Науч. ред. А. В. Андрейчиков, О. Н. Андрейчикова. // Изд. 3-е. – Москва. Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2011. – 360 с.

Уровень доверия персонала компании как фактор повышения эффективности управления социально-экономическими системами

Свистунов В.М.
Государственный университет управления
Москва, Россия
svistunov@guu.ru

Кузина Г.П.
Государственный университет управления
Москва, Россия
gpkuzina2009@yandex.ru

Лобачёв В.В.
Государственный университет управления
Москва, Россия
vvl@guu.ru

***Abstract* — Improving the competitiveness of Russian enterprises is impossible without the introduction of advanced production and management technologies. The article attempts to study the practice of introducing new management technologies in a number of domestic enterprises, to establish the level of effectiveness of this process and to formulate the main problems that prevent companies to implement this process as efficiently as possible. One of the important modern problems of efficiency of implementation of these technologies is the low level of organizational trust of the company's employees to its management. The early elimination of contradictions between the company's management and its employees is the way to solve the problem of increasing the level of organizational trust. The article presents the results of a study of the level of trust of various categories of personnel of a number of Russian companies. Using the results of the study allowed to identify the causes of the difficulties encountered in the organization and to develop ways to increase the level of trust in the organization.**

Ключевые слова — внедрение, организация, персонал, уровень организационного доверия, технологии менеджмента

I. Введение

Ужесточение конкуренции на глобальных рынках особенно остро ставит перед менеджментом любой компании задачу повышения итоговых результатов деятельности. Успешное её решение связано с деятельностью менеджмента компании, направленной на совершенствование существующих бизнес-процессов, поиск новых подходов к эффективной организации производства путем формирования или совершенствования комплексной системы управления [1], функционирующей на основе использования передовых технологий менеджмента. Данные технологии, базирующиеся на современных методах и средствах обработки информации, в условиях глобализации рынков и цифровизации мировой экономики имеют следующие особенности:

- обеспечивают возможность сбора (получения), анализа и хранения информации об интересующих компанию рынках и “игроках” на них в существенно больших, чем даже 5-10 лет назад, объёмах [2];

- не только формируют и хранят “большие данные”, но и располагают эффективными алгоритмами их, в том числе, автоматизированной обработки;

- требуют привлечения персонала, обладающего профессиональными компетенциями не только для технического обслуживания, но и дальнейшего развития корпоративной автоматизированной информационной системы. Штатные сотрудники компании должны обладать специальными знаниями и навыками поиска, отбора, анализа, корректной и адресной трансляции информации в рамках корпоративной автоматизированной информационной системы [3];

- организационная структура компании должна соответствовать логике информационного обмена внутри компании с чётким определением центров ответственности для оптимизации затрат, предупреждения возможных потерь информации и повышения эффективности менеджмента [4].

Указанные тенденции неизбежно приводят к необходимости проведения организационных изменений в рамках компании. Не секрет, что любые организационные изменения воспринимаются работниками неоднозначно: от открытых противников до явных сторонников. Основные причины: необходимость переобучения для получения новых навыков, возможная смена профессии, изменения в оплате труда и принципах мотивации, боязнь потери работы и прочее [5]. Задача руководства компании – добиться приверженности персонала проводимым изменениям, в том числе, вызванным внедрением новых технологий ведения своих бизнес-процессов.

II. Постановка задачи

Доверие является ресурсом организации, “капиталом сотрудничества”, обеспечивает успех организационных изменений, повышает вероятность того, что люди будут отказываться от прежней практики в пользу новых методов работы. В условиях конкуренции роль организационного доверия усиливается [6].

Современные российские предприятия находятся в сложных условиях встраивания прогрессивных технологий менеджмента в уже действующие системы и модели управления. Данная трансформация происходит в условиях сложившихся стереотипов и предубеждений работников, нередко и их отрицательного отношения к происходящим изменениям, скрытого и явного сопротивления внедрению новых управленческих технологий. Причиной такого положения дел является низкий уровень доверия работников как к руководству организации, так и друг к другу. В современных условиях связь экономики (рынка) и доверия гораздо более сложная, чем это понимается в экономической и социальной науках [7].

©2019 ИПУСС РАН, СамГТУ, IEEE

В этой связи возникает естественная задача изучения отношения различных категорий персонала предприятия к происходящим организационным изменениям, как важнейшего фактора, существенным образом влияющего на формирование требуемого уровня организационного доверия в компании. Достижение требуемого уровня организационного доверия персонала представляется особенно важным в связи с тем, что именно он во многом является определяющим для успешного решения задачи получения эффективного результата от внедрения новых технологий менеджмента.

III. Исследование уровня доверия персонала компании

Исследование посвящено вопросам определения совокупности критериев, в наибольшей степени оказывающих влияние на формирование реального уровня организационного доверия на современных отечественных предприятиях, внедряющих новые технологии менеджмента.

A. Цель исследования

Данное исследование было проведено авторами статьи в феврале-июне 2018 года. Его цель была сформулирована следующим образом: проанализировать и обобщить мнения участников процесса внедрения новых технологий менеджмента, в частности технологии бережливого производства, на ряде отечественных предприятий о его текущем состоянии, проблемах регулирования, возможных путях совершенствования и оптимизации.

Для достижения сформулированной цели выполнен анализ степени вовлеченности персонала компаний и полноты информационной поддержки участников процесса внедрения новых технологий менеджмента в различных отечественных компаниях, работники которых приняли участие в исследовании.

Обобщение и теоретическое осмысление собранной информации позволило: выделить искомые критерии, существенным образом влияющие на формирование требуемого уровня организационного доверия на отечественных предприятиях; установить уровень результативности процесса внедрения новых технологий менеджмента; сформулировать основные причины, мешающие руководству отечественных компаний осуществить данный процесс максимально эффективно.

B. Исследовательская методика

В исследовании использовались мнения экспертов, представляющих четыре отечественных предприятия из трех регионов Российской Федерации: города Москвы, Московской и Тульской областей. Это предприятия, активно внедряющие в практику своей деятельности современные технологии менеджмента. Всего было опрошено 222 человека, представляющих четыре категории экспертов: руководители среднего звена (составили 10% от общего числа экспертов), руководители нижнего звена (17%), специалисты (41%) и рабочие (32%).

В выборку вошли руководители управлений, отделов и служб; члены проектных команд и групп, а также специалисты и рабочие, принимавшие непосредственное участие в реализации проектных мероприятий, направленных на внедрение новых технологий менеджмента на своем предприятии или использующие данные технологии. Всего эксперты, непосредственно участвующие в процессах внедрения новых технологий менеджмента, составили в выборке 74,9%. Эксперты, использующие в практике своей деятельности соответствующие технологии менеджмента – 25,1%. Интервью носили анонимный характер.

Соотношение мужчин и женщин в выборке составило соответственно 72,0% и 28,0%. Возрастная структура выборки: самому младшему эксперту – 24 года, самому старшему – 69 лет. Средний возраст экспертов 52 года.

Для оценки состояния внедрения новых технологий менеджмента на российских предприятиях был использован индекс удовлетворенности, который рассчитывался как средневзвешенное значение 5-балльной шкалы удовлетворенности для каждой категории экспертов.

В ходе исследования проблем, имеющих место на российских предприятиях при внедрении современных технологий менеджмента, был применен метод интервью с постановкой открытого вопроса, отвечая на который эксперты называли проблемы, не испытывая не только внешнего влияния, но и влияния предложенных вариантов и их последовательности. Использованный метод позволил собрать уникальный материал – открытые высказывания экспертов, имеющих самое непосредственное отношение к процессам не только внедрения, но и практического использования новых технологий менеджмента в практике своей повседневной деятельности. Полученные в процессе интервью данные были подвергнуты количественному и качественному контент-анализу.

C. Полученные данные

Оценка состояния внедрения новых технологий менеджмента на российских предприятиях. Насколько экспертное сообщество удовлетворяет состояние дел с внедрением перспективных технологий менеджмента на отечественных предприятиях? Как эксперты оценивают достигнутые успехи и существующие проблемы? Каждому эксперту было предложено оценить удовлетворенность состоянием дел с внедрением технологий менеджмента по 5-балльной шкале. Результаты опроса представлены в Таблице I.

ТАБЛИЦА I. Удовлетворённость состоянием дел с внедрением перспективных технологий менеджмента в российских компаниях (% от количества экспертов данной категории)

Категория экспертов	Полностью удовлетворён	Скорее удовлетворён, чем нет	В чем-то удовлетворён, в чем-то нет	Скорее не удовлетворён, чем удовлетворён	Совершенно не удовлетворён
Шкала оценок	5	4	3	2	1
Руководители среднего звена	0,0	43,1	48,0	8,9	0,0
Руководители нижнего звена	0,0	22,6	36,8	35,3	5,3
Специалисты	6,9	28,5	41,8	17,0	5,8
Рабочие	2,0	16,7	57,3	24,0	0,0
ВСЕГО	3,2	25,2	46,8	21,6	3,2

На Рисунке 1 приведены индексы удовлетворенности разных групп экспертов. Самый высокий индекс удовлетворенности состоянием дел с внедрением перспективных технологий менеджмента в России – у руководителей среднего звена, далее идут специалисты и рабочие. Самой критически настроенной частью сотрудников стали руководители нижнего звена, чей индекс удовлетворенности ниже, чем у других групп экспертов.

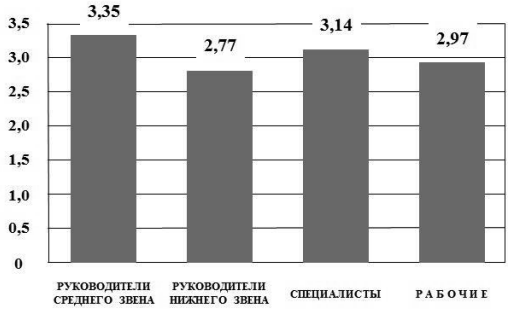


Рис. 1. Индекс удовлетворённости разных групп экспертов состоянием дел с внедрением перспективных технологий менеджмента в российских компаниях

Средневзвешенная совокупная оценка составила 2,88%, характер распределения оценок в целом соответствует нормальному распределению Гаусса [8]. У всех групп экспертов кривая удовлетворенности смещена к негативной части шкалы, что говорит о критическом отношении к состоянию дел с внедрением перспективных технологий менеджмента в России. Об этом же свидетельствует и такой интегральный показатель как “индекс удовлетворенности” [9] экспертов, который характеризует общее состояние дел как кризисное.

Наиболее критически оценивают состояние дел в сфере внедрения и использования современных технологий менеджмента эксперты старшей возрастной группы (старше 55 лет), а наиболее позитивны в оценке – молодые эксперты (до 35 лет). Индекс удовлетворенности первой группы составляет 2,54 пунктов, а индекс второй – 3,27. Анализ гендерного параметра показывает, что мужчины более критично оценивают состояние с внедрением и использованием современных технологий менеджмента, чем женщины (соответственно 2,67 и 3,28 пунктов индекса удовлетворенности).

В целом, руководители нижнего звена – мужчины старше 55 лет имеют самый критический взгляд на исследуемую проблему; а самой оптимистичной группой экспертов являются молодые женщины в возрасте до 30 лет, выполняющие должностные обязанности функциональных специалистов.

Основные проблемы, возникающие на отечественных предприятиях при внедрении новых технологий менеджмента. Контент-анализ открытых высказываний экспертов при ответе на вопрос о том, какие внедренческие проблемы представляются им наиболее острыми, позволил выделить пять групп ответов, которые набрали наибольшее количество положительных ответов. Полученные результаты представлены на Рисунке 2.

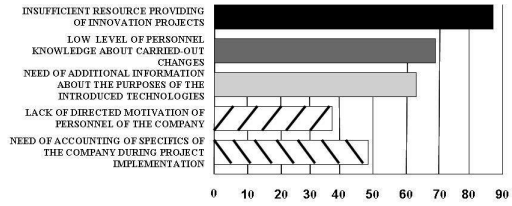


Рис. 2. Рейтинг основных проблем при внедрении перспективных технологий менеджмента в российских компаниях

На первое место среди проблем внедрения и практического использования современных технологий менеджмента с большим отрывом вышли вопросы недостаточного ресурсного обеспечения, необходимого для успешной реализации соответствующих практических мероприятий (с этим согласились 87% экспертов). Эксперты говорили не только об отсутствии достаточного финансирования разработки и внедрения соответствующих программ, низких зарплатах на предприятиях, но и о недостаточном кадровом обеспечении соответствующих функциональных служб и подразделений, плохом состоянии материально-технической базы предприятий.

Многие эксперты, формулируя свои ответы в процессе интервью, обращали внимание и на другие существующие проблемы (материальное положение, социальный оптимизм, экономическое положение страны) [10], мешающие эффективно использовать современные технологии менеджмента на отечественных предприятиях. Основными из них являются:

– низкий уровень информированности персонала предприятий о принципах, инструментах и базовых методах, используемых во внедряемых технологиях менеджмента. О наличии данной проблемы высказались 69% экспертов;

– необходимость получения дополнительной информации, характеризующей основные экономические цели внедрения новых технологий, прикладные инструменты и методы, используемые в практике внедряемых технологий менеджмента. Важность и целесообразность наличия данной информации отметили 63% экспертов. При этом речь идет не только об изменении принятых управленческих схем принятия соответствующих управленческих решений, но и о непонимании экспертами тех факторов, которые серьезным образом повлияют на повышение эффективности реализуемых управленческих процедур. Эксперты отмечают отсутствие достоверной информации о реальном уровне возможностей внедряемых технологий менеджмента; приводят множество примеров того, как “в угоду новым технологиям нарушаются действующие на предприятиях управленческие регламенты и процедуры. При этом разработка новых регламентов и процедур на предприятиях не осуществляется”. Большую роль в этом процессе играет позиция высшего руководства предприятий, нежелание руководителей комплексно

подходить к внедрению новых управленческих процедур;

– использование новых технологий менеджмента без учета специфики отдельно взятого предприятия невозможно. 48,7% экспертов уверены, что эффективное внедрение технологий управления не может быть унифицированным, а должно учитывать специфические особенности предприятия или отрасли. Наиболее рьяными сторонниками данного положения являются специалисты (третья категория экспертов). Среди них это мнение разделяет 87,5% экспертов. Сторонники унифицированного подхода к внедренческим процедурам – в основном четвертая категория экспертов (44,1% за унификацию процедур внедрения);

– отсутствие направленной мотивации персонала, принимающего активное участие во внедренческих мероприятиях. По результатам исследования 37% экспертов считают, что применяемая на предприятии система мотивации должна быть улучшена. 58% экспертов отметили, что никогда не получали денежное вознаграждение по итогам внедренческих мероприятий, что свидетельствует об отсутствии у сотрудников заинтересованности в успешном внедрении проектных мероприятий. Только 12% экспертов считают справедливой действующую на их предприятии систему мотивации персонала, принимающего активное участие во внедренческих мероприятиях.

IV. Заключение

Полученные в ходе исследования результаты свидетельствуют о наличии серьезных проблем, с которыми приходится сталкиваться руководству российских предприятий в процессе внедрения и практического использования новых управленческих технологий. Данные проблемы нередко не только порождают у работников предприятия страх перед грядущими изменениями и, как следствие, сопротивление или полную безучастность к проводимым организационным изменениям, но и минимизируют эффективность внедряемых технологий.

Полученные в ходе проведенного исследования результаты, свидетельствующие о низком уровне доверия основных категорий персонала к происходящим организационным изменениям, позволяют сделать следующие выводы:

1) управление уровнем доверия – важная и необходимая задача менеджмента предприятия, требующая системного подхода;

2) уровень доверия персонала к происходящим на предприятии организационным изменениям в современных условиях является одним из важнейших факторов повышения эффективности управления социально-экономическими системами;

3) менеджмент отечественных компаний, в большинстве своем, не осуществляет разработку и реализацию специализированных программ поддержки проводимых организационных изменений, которые существенным образом могут изменить текущее состояние дел к лучшему. В данной ситуации приоритетной задачей менеджмента компаний является разработка целевых программ, к числу которых следует отнести программы информационной поддержки и направленной мотивации тех организационных изменений, которые проводятся на предприятии.

Таким образом, для успешной реализации компанией проекта внедрения новых технологий менеджмента, прежде всего, необходимо существенно повысить уровень организационного доверия между персоналом и руководством компании, разработать действенные мотивационные программы, направленные на максимальное использование творческого потенциала и квалификационных навыков сотрудников, как в практике повседневной деятельности, так и при реализации перспективных инновационных программ. Необходимо создать психологический климат, наиболее благоприятный для взаимодействия сотрудников во всех подразделениях и на всех уровнях организационной структуры предприятия.

Результаты, представленные в данной статье, доказывают полезность и необходимость исследования уровня доверия в организации, выявления причин низкого доверия, возможность управления повышением уровня доверия в организации. Целесообразность такого исследования выходит за рамки отдельно взятой организации, поскольку сотрудники организаций являются частью социума и оказывают влияние на уровень доверия населения к органам власти и бизнесу в целом. Не вызывает сомнения, что последовательное выявление и освоение лучших мировых практик в управлении позволит российским предприятиям стать более конкурентоспособными.

Список литературы

[1] Bersin J., Collins L., Mallon D., Moir J., Straub R. People analytics. Gaining speed. (https://dupress.deloitte.com/dupus-en/focus/human-capital-trends/2016/ people-analytics-inhr-analytics-teams.html).

[2] Big Data in HR: Building a Competitive Talent Analytics Function — The Four Stages of Maturity — Bersin&Associates, 2012.

[3] High-Impact Talent Analytics: Building a World-Class HR Measurement and Analytics Function. (http://marketing.bersin.com/rs/bersin/images/ hita100113sg.pdf).

[4] Global Human Capital Trends 2016. The new organization: Different by design. (https://www2.deloitte.com/global/en/pages/human-capital/articles/ introduction-human-capitaltrends.html).

[5] Fitz-enz Jac. The new HR analytics: predicting the economic value of your company's human capital investments. American Management Association, 2010 - pp. 342.

[6] Роберт Б. Шо. Ключи к доверию в организации: Результативность, порядочность, проявление заботы. - М: Дело, 2000. - 272 с.

[7] Веселов Ю.В. Доверие и справедливость: моральные основания современного экономического общества. – М: Аспект Пресс, 2012. - 232 с.

[8] Управление эффективностью: кривая нормального распределения. (https://hr-portal.ru/article/upravlenie-effektivnostyu-krivaya-normalnogo-raspredeleniya).

[9] Методика расчёта индекса удовлетворённости трудом. (https://esa-conference.ru/wp-content/uploads/files/pdf/Pavlova-Olga-Nikolaevna.pdf).

[10] Индексы социального самочувствия. Исследования ВЦИОМ. (https://wciom.ru/news/ratings/indeksy_socialnogo_ samochuvstviya/).

Метод поиска оптимальных стратегий управления объёмами производства в период кризиса

Седельников А.В.
Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева
Самара, Россия
axe_backdraft@inbox.ru

Хнырева Е.С.
Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева
Самара, Россия
khnyryova@gmail.com

***Abstract* — In a crisis period, enterprises with weak dynamics find it difficult to change the production volume rapidly. Such enterprises include transport enterprises. The main problem after the crisis advent is the search for a new equilibrium value of the production volume or the services rendered. The paper shows one of the possible methods of searching for optimal strategies for managing the production volume or the services rendered after the crisis advent. It is based on phase portraits method. The control law choice was analyzed using various optimization criteria. The control laws applicability was considered. The obtained results can be applied to the transport enterprises management in a crisis period.**

Ключевые слова — фазовый портрет, оптимальная стратегия управления, производство со слабой динамикой, кризис, объём производства, предоставляемые услуги

I. Введение

Начало XXI века характеризуется рядом существенных кризисов в мировой экономике. Эти кризисы имеют разные причины и структуру. Так, мировой кризис 2008-2009 годов был вызван, в том числе, серьёзными проблемами ипотечного кредитования в США [1]. Кризис, начавшийся в 2014 году, спровоцирован геополитическими разногласиями ведущих мировых держав [2]. Локальные кризисы, например, кризис кипрской банковской системы в 2012-2013 гг. [3] или кризис греческого внешнего долга 2015 года [4], также оказывают своё негативное влияние, в том числе и на российскую экономику, поэтому для успешного развития любая экономика должна быть в определённой степени устойчива к кризису. Повышение такой устойчивости, прежде всего, за счёт грамотного управления важнейшими показателями, является одной из важнейших задач сегодняшнего дня. В связи с этим исследования, направленные на изучение кризисного влияния на различные отрасли экономики и отдельные предприятия, а также выбор оптимальных стратегий управления являются важными и своевременными. Такие стратегии позволяют, используя скрытые резервы, повышать кризисоустойчивость как отдельных предприятий, так и отраслей экономики в целом [5], а также разрабатывать антикризисные мероприятия на различных уровнях (уровне предприятия, региональном и федеральном), позволяющие эффективно противостоять кризисной динамике [6].

Сокращение потребления за год кризиса 2014 года по отдельным видам товаров и услуг достигло 50% (индустрия туризма) [7], 40-50% (автомобилестроение) [8] и т.д. Это негативно сказалось на динамике объёмов производства. Особенно пострадали предприятия со слабой динамикой. К ним относятся, прежде всего, такие предприятия, для которых в силу особенностей производства невозможно в короткий промежуток времени существенно изменить объём производства. В работе [5] подробно рассмотрены основные признаки предприятий со слабой динамикой и обоснована уязвимость этих предприятий в кризисный период.

- *Длительный производственный цикл* является возможной причиной выхода участников из коммерческих проектов ряда, создавая угрозу успешной реализации этих проектов. При серийном производстве изделий с длительным производственным циклом заказчик также может отказаться и от уже заключённых до наступления кризиса контрактов или существенно сократить свой портфель заказов [9].

- *Частичная загрузка или простой производственного оборудования* в ряде случаев вообще невозможны либо способствуют преждевременному его износу, отказам и выходу его из строя. При этом восстановление работоспособности этого оборудования в большинстве случаев требует значительных затрат, а также реорганизации самого производственного процесса, что практически неосуществимо в кризисных условиях [10].

- *Высокий уровень интеллектуального капитала* предприятия со слабой динамикой, который обеспечивает его конкурентоспособность на рынке. Падение спроса на продукцию и, как следствие, сокращение объёмов производства, заработных плат и т.д. может привести к потере высококвалифицированных кадров и вызвать ситуацию, при которой часть интеллектуального капитала будет безвозвратно утрачена. В условиях кризиса такая потеря может быть невосполнимой, поскольку на подготовку новых кадров уходит значительное время, и привести к существенному снижению конкурентоспособности предприятия [11, 12].

Причём, в категорию предприятий со слабой динамикой входят и ряд стратегически важных предприятий [13]. Невозможность быстрого приведения в соответствие кризисного спроса и предложения из-за слабой динамики производства делает задачу моделирования кризисного влияния на предприятия со слабой динамикой с целью выработки стратегии управления по нивелированию кризисного фактора особенно актуальной.

©2019 ИПУСС РАН, СамГТУ, IEEE

Высокая актуальность задачи снижения кризисного влияния на предприятия со слабой динамикой, прежде всего, определяется тремя важными причинами:

- Необходимость сохранения стратегически важных производств в кризисный период.
- Повышение кризисоустойчивости отдельных предприятий и целых отраслей экономики.
- Максимально возможное снижение прямых дотаций предприятиям со слабой динамикой в период кризиса.

При этом предполагается использовать как можно более широкий спектр инструментов для решения задачи сохранения производств со слабой динамикой в кризисный период при минимально возможном объёме прямых дотаций.

II. Фазовые траектории снижения объёмов производства в кризисный период

Рассмотрим задачу поиска оптимальной стратегии управления объёмом производства в кризисный период для предприятия со слабой динамикой. Фазовый портрет различных управляющих воздействий показан на рисунке 1.

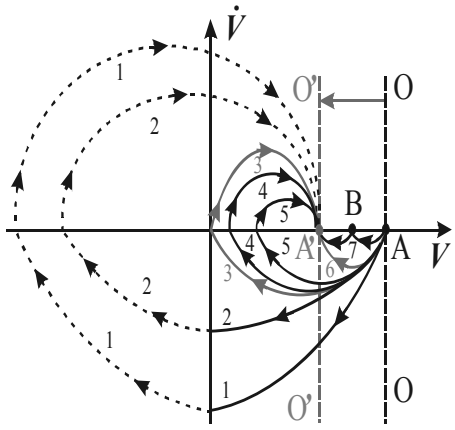


Рис. 1. Фазовый портрет процесса снижения объёмов производства

В этой связи для оптимизации объёмов производства с учётом кризисного влияния необходимо решить задачу перехода из фазовой точки А в точку А'. При этом необходимо задаться критерием оптимальности. В качестве такого критерия могут быть выбраны: минимальное время реализации переходного процесса; минимальные затраты при реализации переходного процесса; максимально возможное сохранение трудового коллектива, а также другие критерии.

Вопрос выбора критерия является чрезвычайно важным. Например, для предприятий со слабой динамикой оптимизация по первому критерию имеет существенные ограничения в силу слабой динамичности производства. Незначительное улучшение по времени переходного процесса может привести к необоснованно высоким затратам на реализацию этого процесса. Для высокотехнологичных предприятий со слабой динамикой важно также сохранение коллектива, поскольку на подготовку высококвалифицированных кадров может уйти много времени. Поэтому, более рационально сформировать комплексный критерий, учитывающий важнейшие аспекты деятельности предприятия со слабой динамикой. Возможен и анализ нескольких оптимальных стратегий, удовлетворяющих различным критериям оптимизации.

Не имеет смысла рассматривать траектории, выходящие из точки А с положительным значением производной $\dot{V}$, поскольку эти траектории предполагают увеличение объёмов производства. Поэтому на рисунке 3 показаны только фазовые траектории, для которых начальное значение производной $\dot{V}_0 < 0$. При этих условиях невозможно себе представить и траектории, выходящие из точки А и располагающиеся правее прямой ОАО. Действительно, при $\dot{V} < 0$ объёмы производства будут снижаться.

Выберем закон изменения производной $\dot{V}$ объёмов производства такой, что фазовая траектория, выйдя из точки А, окажется в А'. Для этой цели, основываясь на прогнозах объёмов продаж, выбирается некоторая гладкая (кусочно-гладкая) функция, которая является законом управления объёмом производства:

$$\dot{V} = \phi\left(t, V_p, \dot{V}_p\right), \qquad (1)$$

где V_p и $\dot{V}_p$ – соответственно объём реализованной продукции и его производная.

Выбор вида функции φ в выражении (1) зависит от многих факторов, является темой отдельных исследований и выходит за рамки данной работы. Рассмотрим влияние начальных условий и параметров модели на фазовый портрет (рисунок 1). Присутствующие на этом портрете особые точки А и А' представляют собой соответственно неустойчивый и устойчивый узлы [14].

Радикальный сценарий, при котором происходит мгновенная остановка производства (теоретически $\dot{V} = -\infty$, реально при ограниченном объёме производства большая, но конечная величина), рассматривать не будем в силу вышеизложенной постановки задачи. Фазовая траектория, соответствующая такому сценарию, представляет собой вертикальный луч АО, располагающийся ниже оси абсцисс, горизонтальный отрезок, координаты которого соответственно (А, -∞) и (0, -∞), а также вертикальный отрезок, координаты которого соответственно (0, -∞) и (0, 0). Поскольку функция (1) должна привести фазовую траекторию из точки А в А', то этот сценарий обеспечивает выполнение поставленной задачи только в случае, когда точка А' совпадает с началом координат на фазовой плоскости.

Семейство кривых 1-3 характеризуются тем, что в результате движения по ним обязательно происходит полная остановка производства ($V = 0$). Показанные

пунктиром на рисунке 1 фазовые траектории носят теоретический характер и не имеют физической реализации, поскольку заведомо известно, что объём производства не может быть меньше нуля. В случае, когда точка А’ не совпадает с началом координат, такой закон управления объёмами производства является недопустимым. При попадании фазовой траектории в эту область следует констатировать, что абсолютные значения коэффициентов в зависимости (1) или начальное значение производной $\dot{V}$ по абсолютной величине являются завышенными. Поэтому для решения задачи рационального снижения объёмов производства необходимо изменить соответствующие параметры зависимости (1). Крайней траекторией этого семейства является траектория, выходящая из точки А и попадающая при пересечении оси абсцисс в начало координат (траектория 3 на рисунке 1). Она не содержит отрицательных объёмов производства, является физически реализуемой и обозначает границу допустимых параметров функции (1). Использовать для управления объёмами производства эту траекторию следует не в период кризиса, а, например, при замене оборудования. Тогда нижняя часть траектории означает сокращение объёмов производства на старом оборудовании, а верхняя – рост объёмов производства на новом. При этом виды зависимостей (1) могут существенно отличаться друг от друга на верхней и нижней частях фазовой траектории 3, например, в силу серьёзных различий между характеристиками старого и нового оборудования.

В области траекторий 1-3 находится и траектория, обеспечивающая переход от точки А к точке А’ за минимальное время. Теоретически она будет иметь вид прямой или кривой, выходящей из точки А, которая доходит до вертикальной прямой О’А’О’, а затем по отрезку этой прямой попадает в точку А’.

Область траекторий 3-6 характеризуется тем, что закон управления (1) содержит как отрицательные, так и положительные значения фазовой переменной $\dot{V}$. Крайняя траектория 6 предполагает попадание в точку А’ без перехода через ось абсцисс (содержит отрицательные и нулевые значения $\dot{V}$). Вблизи неё располагается оптимальная по критерию минимума затрат траектория. При заметной волатильности значения А’ оптимальная траектория может быть как в области 3-6, так и в области 6-7. Значительная волатильность может привести к необходимости повторения переходного процесса (рисунок 2).

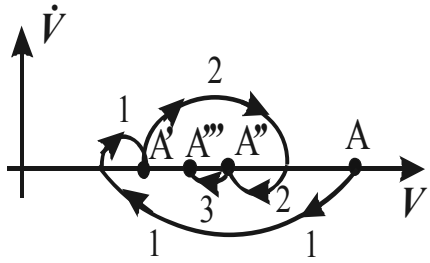


Рис. 2. Фазовый портрет возможного процесса снижения объёмов производства в условиях высокой волатильности значения А’

Область траекторий 6-7 характеризуется такими значениями производной $\dot{V}$, при которых объём производства после однократного использования закона управления (1) всегда оказывается больше своего оптимального кризисного значения А’. Переходный процесс при этом будет состоять из нескольких (как минимум двух) управляющих воздействий и занимать значительно большее время, чем в области 3-6 и, тем более, в области 1-3. Однако траектории этой области оказываются нечувствительными даже к заметной волатильности значения А’. В этой области располагается оптимальная траектория по критерию максимально возможного сохранения трудового коллектива или максимально эффективного использования производственного потенциала.

Обозначения на рисунке 2: точка А’ – оптимальный объём производства на момент пребывания в точке А; точка А’’ – оптимальный объём производства на момент достижения точки А’; точка А’’’ – оптимальный объём производства на момент достижения точки А’’.

III. Заключение

Оптимизация по различным критериям обладает рядом преимуществ и недостатков и может быть использована в различных ситуациях. Так максимальное сокращение времени переходного процесса может привести к существенному снижению эффективности использования производственного потенциала, потере части трудового коллектива, невозможности внесения корректировок в закон управления по ходу реализации переходного процесса. В тоже время за кратчайшее время достигается переход от оптимального докризисного к оптимальному кризисному объему производства, имеется возможность корректировки объёмов производства в широких пределах. Такое управление подходит в условиях быстрых и необратимых изменений, связанных, например, с изменением ассортимента выпускаемой продукции или прекращением производства отдельных видов продукции, замене производственного оборудования и т.д.

Максимальное сокращение затрат может серьёзно удлинить время переходного процесса, усложнить вид и реализацию закона управления (1), однако появится возможность внесения несущественных корректировок в закон управления, возрастёт эффективность использования производственного потенциала. Такое управление имеет самый широкий спектр применения, особенно в период кризиса. Оно сочетает преимущества относительной быстроты переходного процесса и эффективности использования производственного потенциала. Однако в случае высокой волатильности оптимального кризисного значения А’ или в специфических предприятиях со слабой динамикой, где одной из важнейших задач является сохранение трудового коллектива (например, высокотехнологичное производство с использованием уникальных специалистов [13]), более предпочтительным является управление по критерию максимально возможного сохранения трудового коллектива или максимально эффективного использования производственного потенциала. Его существенным недостатком является высокая продолжительность переходного процесса, в то

же время такое управление практически нечувствительно даже к значительной волатильности A’ и позволяет вносить практически любые коррективы в закон управления.

Выбор конкретного критерия полностью зависит от конкретной ситуации. При этом возможен и комбинированный подход, при котором рациональнее всего рассматривать функцию потерь [15], включающей в себя риски потери эффективности использования производственного потенциала, части интеллектуального капитала предприятия, ошибки закона управления, а также длительность переходного периода. Решение задачи минимизация такой функции позволит выработать стратегию, отвечающую обоим перечисленным выше критериям, способствуя как минимизации времени переходного процесса, так и максимально возможному в кризисных условиях сохранению производственного потенциала и интеллектуального капитала предприятия.

Список литературы

[1] Киевич А.В., Влияние ипотечного кризиса в США на банковские структуры // Известия Санкт-Петербургского университета экономики и финансов, 2010. № 6. -с. 22 – 27.

[2] Хаолэй Х., Геополитические и геоэкономические факторы отношений между РФ и ЕС в современных условиях // Теория и практика общественного развития, 2014. № 20. -с. 119 – 121.

[3] Сумароков Е.В., Финансовый кризис на Кипре // Финансы, Деньги, Инвестиции, 2013. № 2. -с. 5 – 15.

[4] Захаров П.В., Греческий долговой кризис и его последствия // Проблемы национальной стратегии, 2011. № 1 (6). -с. 140 – 159.

[5] Sedelnikov A.V., Khnyryova E.S., Main critera which help to identify enterprises with weak dynamic // International Business Management, 2016. Vol. 10. № 18. –p. 4311 – 4312.

[6] Седельников А.В., Хнырева Е.С., Формирование интегрального показателя нединамичности предприятия со слабой динамикой для эффективного управления им в кризисный период // Экономика и управление, 2017. № 6 (140). -с. 36 – 42.

[7] Христофорова И.В., Макеева Д.Р., Латыпова Э.Н., Статистика банкротств туроператоров как сокровищница бизнес-кейсов // Маркетинг услуг, 2014. № 4. -с. 298 – 309.

[8] Шехтман А.Ю., Тенденции развития конкурентных направлений автомобильной промышленности в мировом аспекте // Современные проблемы науки и образования, 2015. № 1–1. URL: http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=17880 .

[9] Базикова И.В., Основные проблемы реализации проекта "SUKHOI SUPERJET 100" // Вестник Университета (Государственный университет управления), 2018. № 6. -с. 48 – 54.

[10] Корнев А.К., Реорганизация АМО ЗИЛ в условиях реструктуризации активов // Предпринимательство, 2013. № 6. -с. 84 – 96.

[11] Авдошина Н.В., Дефицит кадров на предприятиях аэрокосмического кластера: проблемы преодоления // Вестник Санкт-Петербургского университета. Социология, 2017. Т. 10. № 2. -с. 201 – 213.

[12] Иванов Д.Ю., Колычев С.А., Моделирование конкурентного взаимодействия между производителями лёгких самолётов в условиях неценовой конкуренции // Вестник НГИЭИ, 2018. № 1 (80) -с. 142 – 154.

[13] Седельников А.В., Хнырева Е.С., Исследование экономических аспектов уязвимости различных производств в кризисный период // Теоретические и прикладные аспекты современной науки: сборник научных трудов по материалам II Международной научно-практической конференции 31 августа 2014 г.: в 2 частях. Часть I. - Белгород: ИП Петрова М.Г., 2014. -с. 221 – 223.

[14] Doroshin A.V., Modeling of chaotic motion of gyrostats in resistant environment on the base of dynamical systems with strange attractors // Communications in nonlinear science and numerical simulation, 2011. Vol. 16. № 8. -p. 3188 – 3202.

[15] Седельников А.В., Хнырева Е.С. Исследование наличия стохастической зависимости между антикризисной монетарной поддержкой предприятий со слабой динамикой и его чистым операционным убытком // Экономические и гуманитарные науки, 2015. № 8 (283). -с. 111 – 118.

Управление профессиональными стрессами должностных лиц таможенных органов

Трубицын К.В.
ФГБОУ ВО СамГТУ
Самара, Россия
tef-samgtu@yandex.ru

Калмыкова О.Ю.
ФГБОУ ВО СамГТУ
Самара, Россия
oukalmiykova@mail.ru

Горбунова Ю.Н.
ФГБОУ ВО СамГТУ
Самара, Россия
080505@mail.ru

***Abstract* — The article deals with the urgent problem of managing the professional stresses of customs officials. The study presents the types of organizational and social conflicts that arise in the execution of responsibilities. Stress factors and factors of personnel risks in the personnel management system and in the employment behavior of customs officials are analyzed. The types of coping strategies of customs officials are researched. In the paper, the authors formulated the recommendations for improving the management system of professional stresses for customs officials. The implementation issues of the preventive education in the customs bodies are discussed. A model of professional stress management system in the organization has been formed. The authors suggest the conflict management counseling and the provision of a system of trainings to be considered as a socio-psychological method of managing the professional stresses of customs officials. The results of various sociological surveys among customs officials and students specializing in the subject Customs (Samara State Technical University) are presented. The principles and methods for the stress-competence development of customs officials are discussed.**

Ключевые слова — управление персоналом, профессиональный стресс, стресс-факторы, должностные лица таможенных органов, конфликтологическое консультирование, кадровые риски, стресс-компетентность, социальные технологии управления, тренинг.

I. Введение

Человеческие ресурсы таможенного органа требуют всестороннего развития, совершенствования их профессиональных знаний, а также постоянного мониторинга качества трудовой жизни и эффективности реализации кадровой политики. Организационные изменения в таможенной системе негативно сказываются на социально-психологическом климате в коллективе: растет уровень стрессогенности организационной среды, удовлетворенность трудом и уровень настроя должностных лиц снижается, что, соответственно, приводит к снижению эффективности и производительности труда. В рамках реализации функций управления социальной и воспитательной деятельности руководителю совместно с психологом таможенного органа необходимо разрабатывать стратегию управления профессиональными стрессами, направленную на профилактику деструктивных проявлений стрессовых ситуаций, возникающих в процессе таможенной службы, формирование благоприятного морально-психологического климата, повышение уровня стресс-компетентности должностных лиц и минимизацию кадровых рисков[1,2].

Противоречие состоит, в том, что, существует проблема управления профессиональными стрессами должностных лиц, но в управленческой практике таможенного менеджмента недостаточно проработаны соответствующие стратегии стрессменеджмента, направленные на гармонизацию социально-трудовых отношений и на систему нормативно-правового регулирования трудовой деятельности должностных лиц таможенного органа.

II. Постановка проблемы

Современная социально-экономическая нестабильность в обществе, формирует актуальную потребность в изучении влияния морально-психологического климата, уровня стрессогенности и социальной напряженности организационной среды, количества деструктивных конфликтов на эффективность и производительность труда персонала. На процесс повышения производительности труда персонала влияют как объективные факторы (организация труда персонала, экономические, социальные условия), так и субъективные факторы (удовлетворенность заработной платой, морально-психологический климат, безопасность труда и др.). В современных исследованиях в области управления персоналом актуальное значение приобретает учет связи между производительностью, удовлетворенностью и стимулами [3].

Актуальной является проблема формирования стресс- компетентности руководителей и работников организации. Вклад в осмысление интегрального понятия «компетенция» внесли C.K. Prahalad and G. Hamel [4], D. Mc Clelland [5], C. Woodruffe [6], J. Burgoyne [7]. Анализ методов консультационного сопровождения в управленческих процессах в конфликтных и стрессовых ситуациях проводится H. W. Mastenbroek [8]. Решению проблем управления конфликтами и профессиональными стрессами в организации, принципов и методов формирования конфликтологической компетентности персонала посвящены многие современные работы. В исследовании R. N. Anantharaman et al. [9] исследуется роль самоэффективности и коллективной эффективности в качестве модераторов профессионального стресса работников организации. В исследовании G. Brown et al. [10] анализируются факторы трудового поведения, которые необходимо учитывать при формировании морально-психологического климата в коллективе. Методы профессионального развития работников организации, направленные на повышение коммуникативной компетентности персонала и руководителей, рассматриваются в работе J. Costello et al. [11].

©2019 ИПУСС РАН, СамГТУ, IEEE

Исследование авторов статьи посвящено актуальной проблеме управления профессиональными стрессами должностных лиц таможенного органа, предполагающей анализ взаимосвязи удовлетворенности трудом персонала с субъективными факторами (стрессогенность организационной среды, морально-психологический климат, уровень комфортности организационной среды). Причины возникновения конфликтных и стрессовых ситуаций в трудовом коллективе таможенного органа могут состоять в неудовлетворительных условиях труда, низком уровне профессиональной или стресс- компетентности как должностных лиц, так и руководителей, проблемах трудовой мотивации, искажениях деловой информации, нарушениях внутригрупповых норм поведения индивидов, несовместимости работников в силу их индивидуально-личностных, социально-демографических различий и др. Значительная часть факторов, приводящих к повышению уровня профессионального стресса, связана с выполнением профессиональных обязанностей [12].

Для достижения целей функционирования и стратегического развития организации посредством последовательной гармонизации рассогласований в ходе реализации управленческих, экономических, инновационных и производственных ситуаций следует формировать стратегию управления профессиональными стрессами с учетом стратегии управления персоналом таможенного органа. Эффективность реализации в управленческой практике данной стратегии зависит не только от уровня профессиональной и управленческой компетентности, но и от уровня сформированности стресс-компетентности должностных лиц таможенного органа. Для организации эффективной стратегии профилактики профессионального стресса психологу необходимо идентифицировать источники и факторы профессионального и организационного стресса должностных лиц, оценить стрессогенность организационной среды, а также идентифицировать, оценить и составить профиль потенциальных кадровых рисков таможенного органа.

III. Вопросы исследования

Разработка стратегии управления профессиональными стрессами в таможенном органе предполагает решение следующих задач, позволяющих осуществить интеграцию будущих работников (студентов, обучающихся по специальности «Таможенное дело») и должностных лиц таможенных органов:

- на уровне вуза: формирование стресс-компетентности компетентности студентов; повышение уровня конфликтологической культуры субъектов образовательного пространства и др.;

- на уровне таможенного органа на линейном, оперативном и корпоративном уровнях управления: формирование стресс-компетентности руководителей и должностных лиц; реализация системы конфликтологического консультирования; разработка стратегии управления кадровыми рисками и др.;

- на уровне вуза и таможенного органа: разработка методического обеспечения (учебно-методические рекомендации и пособия, банк конфликтологических задач и т.д.), используемого в учебном процессе вуза и в процессе конфликтологического консультирования должностных лиц таможенного органа.

Актуальность разработки стратегии управления профессиональными стрессами, повышения уровня стресс-компетентности должностных лиц, обосновано в работе исследованием мнений руководителей и должностных лиц кадровых служб таможенных органов, а также, студентов, обучающихся по специальности «Таможенное дело».

IV. Цель и методы исследования

Целью исследования являются разработка методических и практических рекомендаций по формированию стратегии управления профессиональными стрессами, предполагающей совершенствование системы воспитательной работы в таможенных органах и реализацию конфликтологического консультирования должностных лиц при выполнении функций управления персоналом в таможенных органах. Задачами диагностического этапа исследования явились: анализ типологии потенциальных трудовых конфликтов и стресс-факторов организационной среды таможенных органов; диагностика уровня организационного стресса должностных лиц; идентификация и оценка кадровых рисков; определение комфортности организационной среды; диагностика копинг-стратегий должностных лиц (2014-2018).

Среди должностных лиц таможенных органов был проведен опрос[13,14] с целью выявления причин возникновения организационных конфликтов в таможенном органе. Среди причин деструктивных конфликтов и стрессовых ситуаций респонденты выделяли следующие: несовершенство системы мотивации трудовой деятельности; не эффективность системы ресурсного обеспечения трудовой деятельности; высокий уровень персонализации в области ответственности должностных лиц; стрессогенность и интенсивность труда; дезорганизация взаимосвязей между структурными элементами таможенного органа и должностными лицами; недостаточное количество программ профилактики деструктивных конфликтов и профессионального стресса должностных лиц; стрессонаполненность взаимоотношений должностных лиц таможенной службы и граждан; не полное соответствие должностного лица занимаемой должности по квалификационным, морально-нравственным и индивидуально-личностным качествам; проявление «конфликта интересов» в таможенном органе.

Должностные лица таможенной службы будут работать с наибольшей эффективностью, если конфликтологическая подготовка ее будущих сотрудников будет носить преемственный характер. Очевидно, что мониторинг мнений должностных лиц о «потенциальном профессиональном портрете» выпускника по специальности «Таможенное дело» служит определенным этапом в стратегии формирования стресс - компетентности. В процессе формирования образовательных программ (на уровне вуза) и обучающих тренингов (на уровне таможенного органа),

направленных на формирование стресс-компетентности должностных лиц, авторами осуществлены опросы (2014-2018), позволяющие определить наиболее значимые компетенции в области стрессменеджмента. В ходе опроса предусматривалось решение следующих задач:

- эмпирическое подтверждение значимости стресс-компетентности для эффективной профессиональной деятельности должностного лица таможенного органа;

- определение эффективных методов формирования стресс-компетентности в вузе и системы конфликтологического консультирования в таможенном органе;

- формирование банка задач, отражающих специфику особенностей стрессовых ситуаций и профессиональных стрессов должностных лиц таможенного органа.

Объективно эмпирическое обоснование значимости стресс-компетентности предполагает анализ мнений трех групп респондентов: должностных лиц таможенных органов («внешняя оценка»); выпускников специальности «Таможенное дело» («внутренняя оценка»); студентов специальности «Таможенное дело» («внутренняя оценка»). Таким образом, в опросе участвовали три группы респондентов: должностные лица таможенных органов (28 респондентов), студенты старших курсов, обучающихся по специальности «Таможенное дело» (454 респондента) и выпускники вуза. В список предлагаемых для оценки компетенций, помимо компетенций в области управления конфликтами и профессиональными стрессами, вошли и другие, выбранные произвольно (компетенции в области управления кадровыми рисками, экономической безопасности, кадровых инноваций и т.д.).

В качестве наиболее значимых компетенций должностными лицами, студентами и выпускниками, назывались: компетенции в области своевременной диагностики стресс-факторов организационной среды; компетенции в области профилактики профессионального стресса и синдрома эмоционального выгорания; компетенции в области формирования и реализации кадровой стратегии управления конфликтами и профессиональными стрессами. Из предлагаемых для оценки компетенций, выбранных произвольно, наименьшее значение по значимости у выпускников получили компетенции в области экономической безопасности; у студентов компетенции в области управления кадровыми рисками; у должностных лиц таможенного органа компетенции в области кадровых инноваций.

В исследовании (2015-2018) была осуществлена диагностика копинг-стратегий [15] будущих должностных лиц таможенных органов, студентов младших и старших курсов, обучающихся по специальности «Таможенное дело» (265 респондентов). В большей степени студенты выбирали когнитивные копинг-стратегии (63%) в конфликтных и стрессовых ситуациях, в меньшей степени студенты выбирали эмоциональные (18%) копинг-стратегии и стратегию избегания – 19 %.

Для определения стресс-факторов организационной среды таможенного органа, уровня удовлетворенности условиями труда и эмоционального состояния должностных лиц был проведен стресс-мониторинг»[16]. Результаты стресс-мониторинга (2014 - 2018) представлены в таблице 1 и на рисунке 1. Заметим, что в период 2014-2017 г. объем воздействия стресс-факторов на должностных лиц находился на среднем уровне и не снижал производительность труда персонала, но в 2018 году находился уже на критическом уровне и мог инициировать дезорганизацию трудовых процессов. Оценка эмоционального состояния на втором этапе стресс-мониторинга должностных лиц показала следующие результаты: в период 2014 - 2016 г. респонденты демонстрируют средняя степень эмоционального истощения и деперсонализации; высокая степень редукции личных достижений; общий балл: средняя степень; в период 2017-2018 г. высокая степень эмоционального истощения; средняя деперсонализация; редукция личных достижений: высокая степень; общий балл: высокая степень. В качестве основного фактора эмоционального выгорания должностных лиц выступает продолжительная чрезмерная нагрузка и организационные изменения.

В период 2014 – 2018 г. для получения интегральной характеристики организационного поведения должностных лиц была использована методика «Определение комфортности организационной среды»[17]. Диагностика производилось путем последовательного расчета индивидуальных для каждого должностного лица и общего для коллектива индексов комфортности. Согласно результатам опроса (28 респондентов), значение общего индекса комфортности поведенческой среды в 2018 году характеризует положительное значение.

Таким образом, в исследовании рассматривали влияние на удовлетворенность трудом должностных лиц таможенного органа следующих факторов организационной среды: показатель уровня стрессовой нагрузки, показатель степени эмоционального выгорания, показатель организационного стресса, показатель комфортности организационной среды. На рисунке 1 представлен график данных удовлетворенности трудом (%) с 2014 по 2018 год. По результатам опросов наблюдается небольшой рост удовлетворенности трудом в течение 3 лет до 2016 года, затем небольшое снижение показателя в среднем на 1,5% в год.

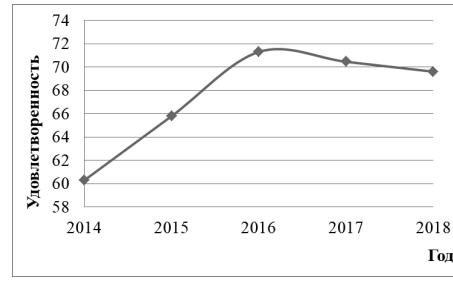


Рис. 1. График удовлетворенности трудом должностных лиц

В таблице I представлены исходные данные для моделирования.

ТАБЛИЦА I. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ

Год	Показатели				
	X_1	X_2	X_3	X_4	Y
2014	3,7	67	47,61	32	60,3
2015	3,6	73	48,07	31	65,8
2016	3,5	79	48,53	28	71,3
2017	3,4	85,5	48,875	27	70,45
2018	3,3	92	49,22	26	69,6

X_1 - показатель уровня стрессовой нагрузки, X_2 - показатель степени эмоционального выгорания, X_3 - показатель комфортности организационной среды, X_4 - показатель организационного стресса и Y - удовлетворенность трудом.

Рассмотрим множественную линейную регрессию:

$$Y = a_0 + a_1 \cdot X_1 + a_2 \cdot X_2 + \ldots + a_m \cdot X_m \qquad (1)$$

где Y – функция регрессии, $X_1, X_2, \ldots, X_m$ - независимые переменные, $a_1, a_2, \ldots, a_m$ - коэффициенты регрессии, a_0 - свободный член уравнения, m - число факторов, включаемых в модель.

Параметры модели (1) идентифицируются методом наименьших квадратов, на основе минимизации отклонения от точек исходного временного ряда:

$$Y = -9{,}32 \cdot 10^{-9} - 264{,}846 \cdot X_1 - 5{,}79 \cdot X_2 + \\ + 30 \cdot X_3 - 0{,}78 \cdot 10^{-10} \cdot X_4 \qquad (2)$$

Модель (2) показывает, что при увеличении показателя комфортности организационной среды на 1 единицу, удовлетворенность трудом увеличивается на 30 единиц. При этом остальные факторы оказывают отрицательное влияние на удовлетворенность трудом. Следствием снижения точности является ненадежность коэффициентов регрессии и отчасти неприемлемость их использования для интерпретации как меры воздействия соответствующей объясняющей переменной на зависимую переменную. Оценки коэффициента становятся очень чувствительными к выборочным наблюдениям [18, 19]. Для дальнейших исследований в данной области планируется модель в виде производственных функций [20,21,22].

Формирование стратегии управления профессиональными стрессами в таможенных органах необходимо осуществлять с учетом потенциальных кадровых рисков. Кадровые риски сопровождают деятельность таможенных органов и могут проявляться в следующем: повышение уровня конфликтности и стрессогенности организационной среды; риски организации прохождения службы, связанные с неэффективным применением кадровых технологий и отдельных кадровых процедур, составляющих содержание процесса прохождения таможенной службы; угрозы информационной безопасности; риски неблагонадежности персонала; коммуникативные риски; профессионально-квалификационные риски и др.

В исследовании в 2017-2018 годах была осуществлена оценка кадровых рисков, возникающих в таможенных органах. Исследование проводилось в форме анкеты, которая содержала в себе вопросы, связанные с причинами возникновения кадровых рисков. Перечень кадровых рисков основывается на использовании базового набора кадровых рисков Должностные лица таможенного органа (25 респондентов) имели возможность оценить значимость и вероятность проявления того или иного риска. В качестве метода оценки кадровых рисков был выбран метод экспертных оценок. Использовали совокупность показателей количественной и качественной оценки кадровых рисков, которая включает в себя две группы: результаты и вероятность кадровых рисков [23,24]. С целью оценки значений кадровых рисков использовали шкалу Харрингтона[25]. Результатом оценки является построение профиля кадровых рисков таможенного органа. Риски системы управления персоналом и риски персонала, получившие наиболее высокие оценки, представлены в таблице II.

ТАБЛИЦА II. ПРОФИЛЬ КАДРОВЫХ РИСКОВ ТАМОЖЕННОГО ОРГАНА

№ п/п	Кадровый риск	Оценка значимости риска - величины последствий (результат)	Оценка частоты проявления (вероятность)	Итоговая оценка риска
2	***Внутренние риски***			
2.1.	***Риски системы управления персоналом***			
2.1.1.	наличие межличностных конфликтов, «конфликта интереса»	0,58	0,60	0,59
2.1.2.	неблагоприятный морально-психологический климат в трудовом коллективе	0,66	0,77	0,71
2.1.3.	неэффективная система мотивации и стимулирования труда	0,61	0,56	0,58
2.1.4	нерациональные режимы труда и отдыха должностных лиц	0,47	0,44	0,45
2.1.5	отсутствие мероприятий, направленных на формирование лояльности должностных лиц	0,60	0,51	0,55
2.2.	Риски персонала			
2.2.1	коммуникативные риски	0,72	0,76	0,74
2.2.2	личностные риски	0,56	0,48	0,52
2.2.3	профессионально-квалификационные риски	0,46	0,38	0,42
2.2.4	образовательные риски	0,70	0,70	0,70
2.2.5	моральные риски	0,52	0,48	0,50
2.2.6	психофизиологические риски	0,70	0,72	0,71

В блоке «Риски системы управления персоналом» наиболее высокой оценкой, по мнению респондентов,

обладают риски неблагоприятного социально-психологического климата в коллективе и риски информационного обеспечения. В блоке «Риски поведения персонала» наиболее высокой оценкой обладают психофизиологические риски (возраст, здоровье, психофизиологические особенности и другое), образовательные и коммуникативные риски

V. Результаты

Управление профессиональными стрессами в таможенных органах – это система принципов, методов, позволяющих проводить своевременную диагностику стресс-факторов организационной среды и проводить кадровые мероприятия, направленные на профилактику профессионального стресса и эмоционального выгорания должностных лиц таможенных органов. Управление профессиональными и стрессами относиться к деятельности аппарата управления на всех уровнях таможенной службы. Формирование и функционирование стратегии управления профессиональными стрессами должно осуществляться в рамках действующей структуры управления персоналом на основе перераспределения должностных обязанностей и в соответствии с регламентами кадровой политики в области управления конфликтами и профессиональными стрессами. Этапы и содержание мероприятий стратегии управления профессиональными стрессами должностных лиц таможенных органов представлены в таблице III.

ТАБЛИЦА III. Этапы стратегии управления профессиональными стрессами должностных лиц

№	Стратегия управления профессиональными стрессами	
	Наименование этапа	***Содержание мероприятий этапа***
1	Постановка целей управления профессиональными стрессами должностных лиц. Мониторинг существующей стратегии управления профессиональными стрессами в таможенных органах.	- диагностика существующих в таможенном органе методов, форм и элементов стратегии управления профессиональными стрессами; - идентификация, качественная и количественная оценка существующих в таможенном органе факторов повышения уровня профессионального стресса; - диагностика и классификация конфликтов; - диагностика, идентификация кадровых рисков и разработка кадровых мероприятий по их минимизации; - осуществление стресс-мониторинга.
2	Формирование стратегии и принципов в области управления профессиональными стрессами должностных лиц.	- формулирование принципов и стратегических направлений стресс-менеджмента; - формирование кадровых мероприятий стратегии управления профессиональными стрессами в таможенном органе.
3	Определение содержания и структуры стратегии управления профессиональными стрессами	- определение задач и кадровых программ по разработке и внедрению стратегии управления профессиональными стрессами; - формирование профиля кадровых рисков; - разработка программ профилактики деструктивных конфликтов и стрессовых ситуаций; - осуществление мониторинга стратегии управления профессиональными стрессами.
4	Разработка системы мотивации должностных лиц	- разработка эффективной методики мотивации и стимулирования должностных лиц; - формирование образовательной среды по формированию стресс - компетентности руководителей и должностных лиц таможенных органов.
5	Разработка нормативного и документационного обеспечения стратегии управления профессиональными стрессами	- определение состава нормативно-регламентирующих документов стратегии управления профессиональными стрессами; - разработка соответствующих регламентов и Положений.
6	Внедрение стратегии управления профессиональными стрессами должностных лиц	- внедрение кадровых мероприятий стратегии управления профессиональными стрессами должностных лиц таможенного органа; - формирование структуры взаимодействия с руководителями структурных подразделений; - анализ результатов функционирования стратегии управления профессиональными стрессами в таможенном органе.
7	Мониторинг эффективности стратегии управления профессиональными стрессами должностных лиц.	- мониторинг стратегии управления профессиональными стрессами должностных лиц; - оценка социально-экономической эффективности стратегии управления профессиональными стрессами должностных лиц таможенных органов.

В рамках стратегии управления профессиональными стрессами необходимо формировать систему конфликтологического консультирования руководителей и должностных лиц таможенных органов. Конфликтологическое консультирование - это управленческий и социально-психологический метод совершенствования социального взаимодействия работников в системе социально-трудовых отношений и основной способ разрешения организационных конфликтов в организации [26, 27]. Профессиональная деятельность должностных лиц таможенных органов наполнена продолжительным общением с большим количеством людей и поэтому актуальной является проблема формирования и эмоциональной компетентности работников и руководителей [28]. В рамках конфликтологического консультирования необходимо проводить обучающие тренинги, направленные на повышение уровня стресс-компетентности и эмоциональной компетентности должностных лиц таможенного органа.

Выделяем следующие наиболее значимые для таможенного органа кадровые мероприятия стресс-менеджмента:

- проведение обучающих тренингов, направленных на формирование стресс-компетентности должностных лиц таможенных органов;

- совершенствование кадровой политики государственного органа в области управления конфликтами и профессиональными стрессами;

- плановое перемещение кадров по службе на основе современных подходов к работе с резервом;

- введение дополнительной ставки должности психолога (к уже существующей ставке психолога) в таможенных органах;

- проведение мероприятий, направленных на снижение уровня стрессогенности организационной среды в период реорганизации;

- формирование образовательных программ повышения квалификации должностных лиц по теме «Формирование стресскомпетентности должностного лица таможенных органов».

VI. Заключение

Наиболее ожидаемыми результатами после внедрения предложенных рекомендаций будут: снижение уровня деструктивной конфликтности среди должностных лиц; сокращение деструктивных столкновений, приводящих к нарушению эффективного трудового процесса; повышение лояльности должностных лиц; увеличение заинтересованности должностных лиц в качестве выполняемых работ, повышение уровня культуры трудового поведения; формирование оптимальной морально-психологической атмосферы в трудовом коллективе таможенных органов.

Благодарности

Авторы статьи выражают благодарность представителям научной школы управления персоналом А.Я. Кибанова (Государственный университет управления, Москва, Россия) Е.А. Митрофановой, В.Г. Коноваловой, А.Е. Митрофановой за консультации и критические замечания.

Список литературы

[1] Макрусев В.В., Дианова В.Ю. Таможенный менеджмент: учебное пособие. – М.: Изд-во Российской таможенной академии, 2009.

[2] Бычков А.В. Психология конфликтов в подразделениях таможенной службы и способы их разрешения: монография.- М.: Изд-во Российской таможенной академии, 2014.

[3] Кибанов А.Я., Митрофанова Е.А., И.А Эсаулова Экономика управления персоналом: Учебник / Под ред. А.Я. Кибанова – М.: ИНФРА-М, 2013.

[4] Prahalad, C. K., Hamel, G. (1990). The core competence of the corporation, Harvard Business Review, 79–91.

[5] Mc Clelland, D. (1998). Identifying competencies with behavioural-event interviews, Psychological Science, 9(5), 331–339

[6] Woodruffe, C. (1991) Competent by any other name. Staff Management. September, 30–33.

[7] Burgoyne, J. (1989). Creating the managerial portfolio: building on competency approaches management development. Management Education and Development, 20 (1), 56 – 61.

[8] Mastenbroek, W. F. G. (1987). Conflicthantering: een procesbenadering. In: Persneesbeieid, 14, 584-589.

[9] Anantharaman, R. N., Rajeswari, K. S., Angusamy, A., Kuppusamy, J. (2017). Role of self-efficacy and collective efficacy as moderators of professional stress among software development professionals. International Journal of Human Capital and Information Technology Professionals, 8, 45–58.

[10] Brown, G., Lawrence, T. B., Robinson, S. L. (2005). Territoriality in organizations (Review). Academy of Management Review, 30, 577–594.

[11] Costello, J., Clarke, C., Gravely, G., D'Agostino-Rose, D., Puopolo, R. (2011) Working together to build a respectful workplace: Transforming OR culture. AORN Journal, 93, 115–126.

[12] Исаева Е.Р. Копинг-поведение и психологическая защита личности в условияхздоровья и болезни.-Монография – СПб.: Издательство СПбГМУ, 2009. с. 33

[13] Калмыкова О.Ю., Трубицын К.В., Батаев В.В., Ткачев В.К. Управление конфликтами и стрессами в процессе государственной службы в подразделениях таможенной службы // Интернет-журнал «Науковедение». Том 7. № 2 (2015) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://naukovedenie.ru/PDF/90EVN215.pdf, свободный. – Загл. с экрана.

[14] Трубицын К.В., Калмыкова О.Ю., Ткачев В.К., Хрящев В.В.Конфликтологическое кон-сультирование как метод минимизации кадровых рисков в работе с персона-лом таможенных органов Журнал «Науковедение», №9(1), Москва, 2017. Т. 9. № 2 (1). /PDF/56EVN117.pdf

[15] Водопьянова Н.Е. Психодиагностика стресса. – СПб.: Питер, 2009.

[16] Оксинойд К.Э. Стресс-мониторинг для чего и как проводим методика оценки уровня стрессогенности организационной среды "Кадровик. Кадровый менеджмент". – №5. – М., 2009. – С. 51

[17] Оксинойд К.Э. Организационное поведение: Учеб.-М.:Кнорус,2009.

[18] Бережная Е.В., Бережной В.И. Математические методы моделирования экономических систем: Учеб. пособие. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Финансы и статистика, 2006. - 432 с.

[19] Гаврилова А.А., П.А. Голованов, Н.В. Дилигенский, Тупоносова Е.П. Конструирование моделей и построение краткосрочного перспективного прогноза выпуска специалистов. Вестник СамГТУ, серия Технические науки, № 2 , июнь 2011. С.21-29.

[20] Клейнер Г.Б. Производственные функции: Теория, методы, применение. – М.: Финансы и статистика, 1986. – 239 с.

[21] Голованов П.А., Лившиц М.Ю., Тупоносова Е.П. Математическая модель выпуска специалистов вузом. Журнал «Математические методы в технике и технологиях – ММТТ». 2018. Т. 2. Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.(Саратов). С. 114- 119.

[22] Дилигенский Н.В., Цапенко М.В., Гаврилова А.А. Математические модели управления производственно-экономическими системами. Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2005. 112 с.

[23] Митрофанова А.Е. Управление кадровыми рисками в работе с персоналом организации: Автореф. дисс. ... канд. экон. наук. – М., 2013.

[24] Митрофанова А.Е. Концепция управления кадровыми рисками в работе с персоналом организации // Компетентность. – 2013. – № 3.

[25] Литвак Б.Г. Экспертные технологии в управлении: Учеб.пособие. – 2-е изд., испр.и доп. –М.: Дело, 2004.

[26] Берсенева Н. В. Актуальные проблемы формирования профессиональной компетентности конфлитологов // Современные проблемы науки и образования [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.science-education.ru/115-12243, свободный. – Загл. с экрана.

[27] Зёрнышко И.А. Конфликтологическое консультирование как способ урегулирования конфликтов в организации: дисс» канд. социол. наук. 22.00.08. М., 2005.

[28] Joseph, D.L., Newman, D.A. Emotional intelligence: An integrative meta-analysis and cascading model / D.L. Joseph, D.A. Newman // Journal of Applied Psychology. - 2010. - №95. - P. 54-78.

Деятельность опорного вуза как фактор развития регионального энергопроизводства

Тупоносова Е.П.
СамГТУ
Самара, Россия
usat@samgtu.ru

***Abstract* — In this article the specific problems of personnel potential training for the regional energy sector are considered. As an example, the flagship University of the Samara region - Samara State Technical University, which trains specialists in the energy sector. The developed mathematical model is used to analyze the statistical characteristics of the University resources – the graduation of students, the total number of scientific publications, the implementation of research projects and the generation of intellectual property. The mathematical models of electric power, gas and steam generation in the Samara region on the basis of the The heterogeneous Cobb-Douglas production function are constructed. Identification of the model parameters is performed by the least squares method. The approximative properties of the model are estimated by the coefficient of determination and the criterion of F-statistics, and the predictive properties of the model by the Darbin-Watson criterion. The forecasting of the development of regional energy production of the Samara region of electric energy, gas and steam for 3 years is carried out.**

Ключевые слова — математическая модель, эластичность, статистика, фактор, коэффициент детерминации, критерий Фишера, критерий Дарбина-Уотсона, энергопроизводство, работы и услуги по обеспечению электрической энергией, газом и паром

I. Введение

Подготовка кадрового потенциала для энергетической отрасли отличается существенной спецификой.

Во-первых, энергопроизводство основывается на различных физико-химических процессах от ионного обмена при водоподготовке, до квантовой механики в ядерном сегменте. Это требует как знаний фундаментальных основ, так и умения применения их в практических целях.

Во-вторых, это касается высшего образования вообще, существенную роль играет продолжительность обучения, например, в случае наличия ВУЗа с достаточным кадровым потенциалом, отлаженного учебного процесса необходимый специалист с высшим образованием (бакалавр) может быть подготовлен за 4 года, для более высокой квалификации (стажировка, специалитет, магистратура) требуется еще больше времени.

В-третьих, наряду со значительной продолжительностью подготовки специалиста высокой квалификации – процесс затратный, а экспериментальные вмешательства в процесс подготовки в случае отрицательного результата может иметь фатально негативные последствия в карьере и судьбе отдельного выпускника, а также в сфере региональной энергобезопасности.

Указанные обстоятельства делают актуальной проблему прогнозирования подготовки специалистов в вузе на основе математической модели деятельности университета. Достаточно эффективное решение этой проблемы позволит осуществить модернизацию системы подготовки кадров энергетического производства без дорогостоящих и опасных экспериментов в области образования.

II. Постановка задачи

Рассмотрим вопросы оценки факторов, влияющих на подготовку специалистов энергетического профиля. Предполагаем, что показатели университета (выпуск кадров) влияют на основные экономические показатели Самарской области[1].

Математическое моделирование деятельности вузов достаточно полно рассматривается в работах [2–10]. В работе [2] определены факторы, влияющие на результативность деятельности вузов, приведены информационно-математические модели для оценки эффективности деятельности университета, исследуются возможные способы построения математических моделей управления качеством образовательного процесса. В работе [3] построены математические модели для оптимизации обеспечения региональных вузов профессорско – преподавательским составом. Проанализированы подходы пополнения университетов кадрами высшей категории из аспирантуры и докторантуры. Математические модели двух вузов и численные эксперименты рассмотрены в работе [4]. В работе [5] предложены математические модели функционирования вуза в форме производственной функции Кобба-Дугласа и оценки чувствительности выходных факторов математических моделей к входным. Система прогнозирования потребностей рынка труда в кадрах различной квалификации рассмотрена в работе [6]. Авторы приводят алгоритм расчета потребностей в кадрах с позиции региональных экономик, в частности в республике Карелия.

Опубликованные работы, однако, не позволяют достаточно надежно оценить значимость факторов, влияющих на качество работы университета. Так, например, в работе [2] предлагается экспертный метод, который отличается определенной субъективностью.

Предлагается способ построения такой математической модели, которая не только позволит сравнивать различные вузы, прогнозировать динамику развития, в том числе и на перспективу, но и ранжировать факторы, с учетом имеющихся объективных статистических данных.

Работа поддержана проектом Российского фонда фундаментальных исследований № 17-08-00593.

©2019 ИПУСС РАН, СамГТУ, IEEE

Математическую модель с такими возможностями будем строить в форме неоднородной производственной функции (ПФ) Кобба-Дугласа. Выбор этого вида ПФ объясняется сочетанием хороших аппроксимативных свойств в силу ее нелинейности и возможностей использования мощного оценочного аппарата регрессионного анализа, так как в логарифмической шкале эта ПФ оказывается линейной[11].

Модель в форме неоднородной ПФ Кобба – Дугласа, отражает зависимость показателя энергопроизводства Y от определяющих его факторов K и L,

$$Y(t) = AK(t)^{\alpha} L(t)^{\beta}, \quad \alpha + \beta \neq 1 \ . \tag{1}$$

где K – затраты капитальных ресурсов, L – затраты трудовых ресурсов, A – технологический масштабный коэффициент, α, β – соответствующие коэффициенты эластичности использования ресурсов.

В модели с учетом фактора научно-технического прогресса (НТП), НТП может быть учтен с помощью введения множителя $e^{t\tau}$, где параметр $\tau > 0$ характеризует темп прироста показателя энергопроизводства под влиянием НТП[13]:

$$Y(t) = AK(t)^{\alpha} L(t)^{\beta} e^{t\tau}. \tag{2}$$

где t – время; τ - фактор влияния научно-технического прогресса[12].

Идентификация коэффициентов A, α, β, γ моделей (1) и (2) производится методом наименьших квадратов (МНК) после логарифмирования, линеаризующего исходный вид (1) и (2). Тогда с вводом обозначений $y(t) = \ln Y(t), \ a = \ln A, \quad k(t) = \ln K(t), \quad l(t) = \ln L(t)$ соотношения (1) и (2) примут форму уравнений линейной регрессии, соответственно:

$$y(t) = a + \alpha k(t) + \beta l(t). \tag{3}$$

$$y(t) = a + \alpha k(t) + \beta l(t) + \gamma (t - t_0). \tag{4}$$

Оценивать качество моделирования будем коэффициентом детерминации (R^2) и критерием *F*-статистики, а прогнозные свойства модели критерием Дарбина—Уотсона (DW)[14].

Для измерения мультиколлинеарности - попарной корреляционной зависимости между факторами воспользуемся коэффициентом множественной детерминации:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n} (Y(i) - Y(t))^2}{\sum_{i=1}^{n} (Y(t) - \overline{Y})^2}. \tag{5}$$

где $Y(i)$ - действительное значение показателя в i момент времени; $Y(t)$ - расчетное значение показателя; $\overline{Y}$ - среднее значение[10, 11].

$$\overline{Y} = \frac{1}{T} \sum_{i=1}^{T} Y(i) \tag{6}$$

Статистическая значимость регрессии проверяется нулевой гипотезой для *F*-статистики Фишера:

$$F = 1 - \frac{R^2}{1 - R^2} \cdot \frac{T - \eta - 1}{\eta}. \tag{7}$$

где R^2 - коэффициентом множественной детерминации, η – количество параметров модели, T – число наблюдений.

Критерий Дарбина-Уотсона отражает оценку статистической взаимосвязи переменных:

$$DW = \frac{\sum_{t=1}^{T-1} ((Y(i) - Y(t)) - (Y(i-1) - Y(t-1)))^2}{\sum_{t=1}^{T} (Y(i) - Y(t))^2} \tag{8}$$

где $Y(i)$, $Y(i-1)$ - действительное значение показателя; $Y(t)$, $Y(t-1)$ - расчетное значение показателя.

Сглаживание исходных статистических данных будем проводить на основе метода скользящего среднего, обеспечивая усреднение влияния случайных выбросов статистических величин. [15].

III. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

В качестве выходного параметра моделей (1) и (2) производства энергоресурсов примем объем отгруженных товаров собственного производства, выполненных работ и услуг по обеспечению электрической энергией, газом и паром Y(t)(млн. руб.) [1]. В качестве входных характеристик K(t) и L(t) моделей (1) и (2) примем следующие традиционно учитываемые показатели вуза: выпуск студентов СамГТУ– Si, чел.; общее число научных публикаций – Pi, шт.; выполнение научно-технических работ (НИР) по грантам – Gi, ед.; и генерацию объектов интеллектуальной собственности – Ii, ед. Для построения и оценки чувствительности модельных решений к соответствующим входным ресурсам воспользуемся факторами эластичности: χ - для фактора Si; κ - для фактора Pi; φ - для фактора Gi; ρ - для фактора Ii; μ - для фактора влияния научно-технического прогресса (НТП).

Статистические данные [1] с 2008 по 2017 год по объему отгруженных товаров собственного производства, выполненных работ и услуг по обеспечению электрической энергией, газом и паром представлены на рисунках 1-4, где Y(i)=Y(ti) – статистические данные по производству энергоресурсов

i-м году; Y(t) – результаты расчета по модели (9) и по модели (10), учитывающей фактор НТП, Y(i)сгл – усредненные статистические данные работ и услуг по обеспечению электрической энергией, газом и паром; Y(t)сгл – расчет по модели (9) и по модели(10) со сглаженными исходными данными.

$$Y(t) = A \cdot S(t)^{\chi} \cdot P(t)^{\kappa} \cdot G(t)^{\varphi} \cdot I(t)^{\rho} . \qquad (9)$$

$$Y(t) = A \cdot S(t)^{\chi} \cdot P(t)^{\kappa} \cdot G(t)^{\varphi} \cdot I(t)^{\rho} \cdot e^{\mu t} . \qquad (10)$$

В таблице 1 приведены результаты идентификации моделей

ТАБЛИЦА I. ХАРАКТЕРИСТИКИ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ

Эластичности	Несглаженные данные		Сглаженные данные	
	Без учёта НТП(9)	*С учётом НТП (10)*	*Без учёта НТП(9)*	*С учётом НТП (10)*
χ	0,1200	-0,0767	0,3174	-0,2541
κ	0,3041	0,2275	0,1814	0,1905
φ	-0,0618	-0,0716	0,0015	0,0269
ρ	0,2581	0,1588	0,4356	0,0877
μ		0,02992		0,03576
Качество моделирования				
DW	2,0865	2,1255	1,5579	1,8780
R^2	0,9423	0,9614	0,9931	0,9951
F	20,3956	31,1338	178,7660	252,7228

При построении модели (9) и (10), фактор общего числа научных публикаций Pi, имеет наибольшую факторную эластичность. Это обстоятельство подтверждает целесообразность участия студентов в научно-исследовательской работе с публикацией её результатов.

Аппроксимативные и прогностические характеристики модели достаточно хорошие ($R^2 \approx 0{,}9$, $DW \approx 2$).

Сравнение параметров моделей по сглаженным данным в вариантах неоднородной ПФ Кобба-Дугласа и неоднородной ПФ с учетом НТП представлены в таблице I.

При сравнении модели (9) без влияния НТП, построенных по сглаженным данным, наибольшую факторную эластичность имеет генерация объектов интеллектуальной собственности Ii и выпуск студентов СамГТУ Si. В модели (10) с учетом влияния НТП значение факторной эластичности общего числа научных публикаций Pi получается максимальным, при этом степень влияния самого фактора НТП достаточно низкая – μ =0,03576. Таким образом, введение фактора НТП перераспределяет эффективность использования факторов в сторону общего числа научных публикаций Pi.

IV. ПРОГНОЗ

По результатам проведенного исследования и учитывая хорошие аппроксимативные и прогностические характеристики моделей (9) и (10), построим по моделям краткосрочный прогноз на 3 года до 2020 года.

Входные статистические данные выпуска студентов Si и генерации объектов интеллектуальной собственности Ii экстраполируем квадратичным полиномом, выполнение НИР по грантам Gi - кубическим полиномом, а общее число научных публикаций Pi будем в прогнозе предполагать соответствующим дорожной карте опорного университета[16, 17]. В таблице II представлены прогнозные значения входных характеристик. На основе их, по полученным моделям (9) и (10) построим краткосрочный прогноз объема отгруженных товаров собственного производства, выполненных работ и услуг по обеспечению электрической энергией, газом и паром до 2020 года.

На рисунках с 1 по 4 показаны прогнозные значения производства, построенные по моделям (9) и (10) по несглаженным и сглаженным исходных данным.

ТАБЛИЦА II. ПРОГНОЗ РЕСУРСОВ ВУЗА

Год	Входные показатели			
	S, чел.	*P, шт.*	*G, ед.*	*I, ед.*
2018	5367	3924	49	48
2019	5069	4442	50	51
2020	4413	5031	51	60

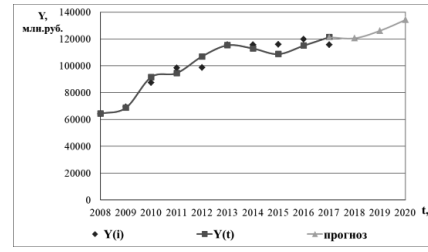


Рис. 1. Результаты прогнозирования по модели (9)

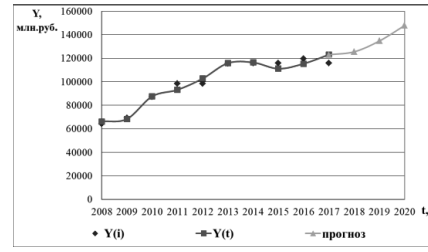


Рис. 2. Результаты прогнозирования по модели (10)

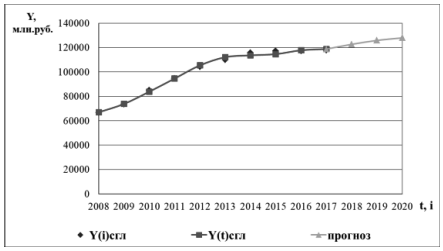


Рис. 3. Результаты прогнозирования по модели (9) (сглаженные данные)

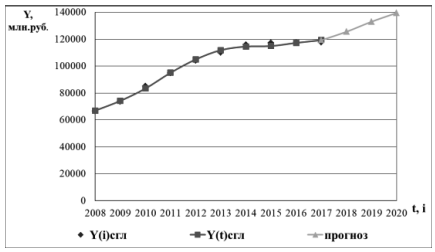


Рис. 4. Результаты прогнозирования по модели (10) (сглаженные данные)

Как видно из данных, представленных на рис. 1-4 и в таблице III, прогнозы моделей показывают незначительный спад или небольшой рост производства энергоресурсов с разными темпами.

ТАБЛИЦА III. ПРОГНОЗ ЭНЕРГОРЕСУРСА $Y(t)$, МЛН.РУБ.

Год	Без учёта НТП (9)	С учётом НТП (10)	Без учёта НТП (9)	С учётом НТП (10)
	Несглаженные данные		*Сглаженные данные*	
2018	120605,4074	125540,7262	122773,2784	125518,2316
2019	126188,9529	134735,8310	125984,0915	132997,0492
2020	134255,2956	147905,5754	128053,2127	139519,4178

По построенным в данной работе моделям (9) и (10), к 2020 году производство энергоресурсов достигнет около 128000 млн.руб. при пессимистическом прогнозе и 147900 млн.руб. при оптимистическом прогнозе.

V. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Функционирование и рост экономики требует её обеспечения специалистами – энергетиками. На основании исследований можно утверждать, что особое внимание в деятельности университета следует обратить на программно-целевое планирование развития кадрового потенциала, корректировку планов и программ обучения, а так же на научную работу, в частности, научные публикации, участие в конкурсах на гранты и создание объектов интеллектуальной собственности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

[1] Добыча полезных ископаемых, обрабатывающие производства, производство и распределение электроэнергии, газа и воды (данные Самарского статистического ежегодника). (http://samarastat.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_ts/samarastat/ru/statistics/enterprises/).

[2] Trapitsin S.Y., Granichina O.A., Granichin O.N. Information and mathematical models for evaluation of the effectiveness and quality of the university. Proceedings of the 2017 International Conference "Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies", IT and QM and IS 2017, 2017. С. 287-291.

[3] Брумштейн Ю. М., Горюнова Т. А., Пугина Н. Н. Анализ методов и математических моделей обеспечения вуза кадрами высшей квалификации // Известия Волгоградского государственного технического университета. Волгоградский государственный технический университет (Волгоград), 2010. № 11 (71).- С. 81-84.

[4] Moskovkin V.M., Suleiman B.N.E., Lesovik R.V. mathematical model for the formation of university contingents on the basis of population dynamics equations. International Journal of Applied Engineering Research. 2014. Т. 9. № 22. С. 16761-16775.

[5] Голованов П.А., Лившиц М.Ю., Тупоносова Е.П. Математическая модель выпуска специалистов вузом. Журнал «Математические методы в технике и технологиях – ММТТ». 2018. Т. 2. Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.(Саратов). С. 114- 119.

[6] Васильев В.Н., Гуртов В.А., Сазонов Б.А., Суровов М.В. Система мониторинга, анализа и прогнозирования развития образования и образовательных структур в регионах России / Индустрия образования: Сборник статей. Выпуск 5. М., 2002. С. 52-60.

[7] Граничина О.А.. Математические модели управления качеством образовательного процесса в вузе с активной оптимизацией. Журнал «Стохастическая оптимизация в информатике». Издательство Санкт-Петербургского государственного университета. Том 2, номер 1-1. Санкт-Петербург, 2006. С.77-108.

[8] Тупоносова Е.П. Моделирование потребности в кадрах высшей квалификации в Самарском регионе. Известия Самарского научного центра Российской академии наук, том 13. № 4(4), 2011. С. 1236-1238.

[9] Голованов П.А., Тупоносова Е.П. Построение математических моделей востребованности работодателей выпускников СамГТУ на основе рейтинга Эксперт РА // Известия Самарского научного центра Российской академии наук, 2017. Том 19 № 1 (2). С. 396-400.

[10] Гаврилова А.А., Голованов П.А., Дилигенский Н.В., Тупоносова Е.П. Конструирование моделей и построение краткосрочного перспективного прогноза выпуска специалистов // Вестник СамГТУ. Серия «Технические науки», 2011. № 2. С.21-29.

[11] Дилигенский Н.В., Цапенко М.В., Гаврилова А.А. Математические модели управления производственно-экономическими системами. Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2005. - 112 с.

[12] Клейнер Г.Б. Производственные функции: Теория, методы, применение. – М.: Финансы и статистика, 1986. – 239 с.

[13] Бережная Е.В., Бережной В.И. Математические методы моделирования экономических систем: Учеб. пособие. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Финансы и статистика, 2006. - 432 с.

[14] Замков О.О., Толстопятенко А.В., Черемных Ю.Н. Математические методы в экономике. М.: МГУ, изд-во «ДИС», 1997. - 386 с.

[15] Айвазян С.А., Мхитарян В.С. Прикладная статистика и основы эконометрики. М.: Юнити, 1998. - 1022 с.

[16] Самарский государственный технический университет/Нормативные документы/Дорожная карта программы развития. (https://su.samgtu.ru/files).

[17] Самарский государственный технический университет/Миссия опорного университета. (https://su.samgtu.ru).

Имитационное моделирование бизнес-процесса деятельности интеграционного отдела в IT-компании

Хаджиева С.В.
ПГУТИ
Самара, Россия
SSV2507@mail.ru

***Abstract* — This article is devoted to the development of a simulation model designed for optimal distribution of the request in the Department of integration solutions of IT-company. A distinctive feature of this model is the consideration of random factors that affect the processing time of the request. Simulation model can be adapted to any IT-company and used to obtain an optimal distribution of request.**

Ключевые слова — имитационное моделирование, бизнес-процесс, IT-компания, алгоритм распределения заявок, AnyLogic

I. Введение

В настоящее время задачи распределения трудовых ресурсов являются весьма актуальными для многих IT-компаний. В процессе управления у лиц, принимающих решения (ЛПР) возникает необходимость управлять процессом распределения трудовых ресурсов не только в соответствии с выбранной методологией управления IT-проектом, но и с учётом специфики отрасли, к которой принадлежит IT-компания.

В данной работе в качестве **объекта** исследования рассматривается бизнес-процесс разработки и кастомизации интеграционных решений в IT-компании системном интеграторе. В отличие от других IT-компаний, где основой является разработка front-end решений, например, разработка сайтов, коробочного ПО, приложений и др., особенностью IT-компании интегратора является разработка back-end решений – создание серверной части баз данных, архитектуры, программной логики. Это отличие определяет специфику компании интегратора, связанную с необходимостью IT-специалистов владеть определённым набором компетенций в области интеграционных технологий [1]. Естественно каждый специалист не может в совершенстве владеть всеми технологиями, в связи с чем возникает потребность в учёте компетенций специалистов при распределении заявок, поступивших в отдел интеграции. Задачей ЛПР является выбор оптимального исполнителя, обладающего требуемыми навыками и компетенциями по заявке. **Предметом** исследования выступают алгоритмы распределения заявок бизнес-процесса разработки и кастомизации интеграционных решений в IT-компании. **Целью** работы является совершенствование управления и механизмов принятия решений в IT-компании за счёт получения новых данных о функционировании исследуемого бизнес-процесса. Для достижения поставленной цели были определены следующие з**адачи**: провести анализ исследуемого бизнес-процесса с учётом влияния внешних и внутренних случайных факторов (СФ), разработать алгоритмы распределения заявок с учётом и без учёта компетенций специалистов, разработать статистическую имитационную модель (СИМ) и провести серию экспериментов для получения результатов функционирования бизнес-процесса в зависимости от заданного алгоритма распределения заявок. **Научная гипотеза** заключается в предположении о наличии зависимости результата функционирования бизнес-процесса от учёта компетенций сотрудников при распределении заявок на исполнителей.

II. Специфика предметной области

В современных условиях IT-компании системные интеграторы вынуждены бороться за возможность быть первыми на рынке с новым, разработанным на инновационных технологиях, продукте или сервисе. В связи с этим перед руководством IT-компаний стоит задача быстрого и качественного выполнения заявок на разработку или кастомизацию (т.е. доработку) интеграционных решений.

Под созданием интеграционных решений понимается организация четкого и последовательного процесса обмена информацией, её обработки, преобразования и хранения. Как правило, такие интеграционные решения являются достаточно специфичными для каждой компании и, поэтому, требуют особенно тщательной проработки. Процесс интеграции приложений осложняется ещё и тем, что новые модули нужно объединять с существующими так, чтобы работа не останавливалась надолго. Данный процесс объединяет работу таких IT-специалистов как архитекторы, аналитики, разработчики, тестировщики, сотрудники сопровождения и внедрения и др.

Бизнес-процесс разработки и кастомизации интеграционных решений начинается с поступления в отдел интеграции заявок на разработку или кастомизацию интеграционных решений. После поступления заявки руководитель отдела оценивает плановую длительность её выполнения и требуемые компетенции специалистов, затем распределяет данную заявку на сотрудника на основе текущей загруженности и своих предпочтений. На первом этапе заявка распределяется на аналитика. Аналитик разрабатывает документ «Спецификация требований». В процессе подготовки документации аналитик опирается на информацию, описанную в бизнес-требованиях и

©2019 ИПУСС РАН, СамГТУ, IEEE

концептуальной архитектуре. В случае если информации недостаточно, то аналитик останавливает работу по заявке до момента предоставления информации и берет в работу новую заявку. Если информации достаточно для функционального проектирования сервиса аналитик фиксирует информацию о назначении сервиса в спецификации требований. Кроме документации аналитик готовит схему данных сервиса, с её помощью АС-поставщик сможет корректно сформировать сообщения, которые затем будут приняты и прочитаны сервисом для последующего выполнения инструкций, заложенных в сообщении, как правило, – это передача данных АС-потребителю.

После подготовки спецификации требований и получения согласования всех заинтересованных сторон начинается этап программной реализации интеграционного решения. Для этого аналитик делает запрос руководителю разработки на назначение разработчика. Руководитель выбирает разработчика и распределяет заявку.

Разработчик получает заявку, проверяет наличие входных артефактов, вносит необходимые изменения в программный код и осуществляет поставку дистрибутива на стенд интеграционного функционального тестирования (ИФТ). На данном этапе отдельные программные модули объединяются для проведения тестировщиками проверок работоспособности разработанного интеграционного решения и выявления возможных дефектов.

Результатом успешного завершения ИФТ является работоспособное интеграционное решение, что подтверждает протокол ИФТ, подготовленный тестировщиком. Протокол ИФТ также является документом, обеспечивающим возможность проведения приёмо-сдаточных испытаний (ПСИ). Если в ходе ПСИ у сотрудников центра сопровождения и внедрения возникают замечания функционального или программного характера относительно разработанного решения, то все указанные замечания записываются в протоколе ПСИ и прикладываются к заявке. В случае успешного прохождения ПСИ в протоколе фиксируется рекомендация к внедрению решения в промышленную эксплуатацию. Внедрением разработанных интеграционных решений в промышленную эксплуатацию занимаются инициаторы заявок.

В интересах управления бизнес-процессом разработки и кастомизации интеграционных решений выполненными будем считать заявки, которые успешно прошли этап ПСИ. Факторы, оказывающие влияние на внедрение заявки, не рассматриваются, так как находятся за рамками поставленной цели исследования.

III. Постановка задачи управления бизнес-процессом

Задачей исследования в интересах управления бизнес-процессом разработки и кастомизации интеграционных решений является выбор ЛПР наилучшего альтернативного решения для принятия обоснованных управленческих решений [2,3]. Процесс принятия решений как функции преобразования содержания информации формализуется в терминах теории принятия решений [4]:

X – множество альтернатив, предъявленных для выбора;

C – принцип выбора, правило, по которому осуществляется выбор наилучшей альтернативы $C(X)$.

В качестве альтернатив рассматриваются:

X_1 – алгоритм распределения заявок на сотрудников без учёта компетенций специалистов;

X_2 – алгоритм распределения заявок на сотрудников с учётом компетенций специалистов.

Выбор лучшей альтернативы осуществляется, исходя из оценки алгоритма по критериям:

C_1 – количество обработанных заявок → MAX;

C_2 – средняя длительность обработки заявки → MIN;

C_3 – загрузка между аналитиками → равенству;

C_4 – загрузка между разработчиками → равенству;

C_5 – загрузка между тестировщиками → равенству.

На рис. 1 представлена блок-схема алгоритма распределения заявок на сотрудников без учёта компетенций специалистов. Выбор исполнителя осуществляется, исходя из расчёта загруженности сотрудников.

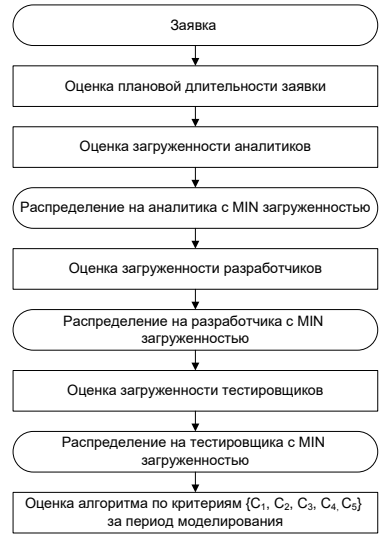


Рис. 1. Блок-схема алгоритма распределения заявок на сотрудников без учёта компетенций специалистов

На рис. 2 представлена блок-схема алгоритма распределения заявок на сотрудников с учётом компетенций специалистов. Для выбора исполнителя осуществляется определение типа заявки по требуемой компетенции. Далее из списка сотрудников, выбираются те, кто имеет максимальную оценку по требуемой компетенции. Если загруженность отобранных сотрудников не позволяет выбрать исполнителя, то рассматриваются сотрудники имеющие более низкую оценку по требуемой компетенции и т.д.

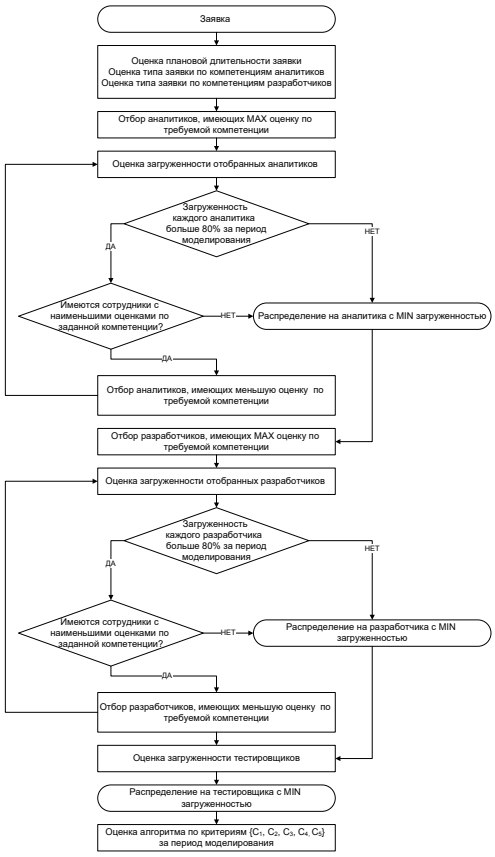


Рис. 2. Блок-схема алгоритма распределения заявок на сотрудников с учётом компетенций специалистов

Под компетенциями понимается способность сотрудника успешно действовать на основе практического опыта, умения и знаний при решении профессиональных задач. Оценки компетенций приведены в табл. 1.

ТАБЛИЦА I. ВОЗМОЖНЫЕ ОЦЕНКИ СОТРУДНИКОВ ПО КОМПЕТЕНЦИЯМ

Оценка	Описание
A	Эксперт
B	Уверенные знания
C	Начальный уровень, имеются компетенции, необходимые и достаточные для решения типовых задач
D	Потребуется помощь

IV. РАЗРАБОТКА СТАТИСТИЧЕСКОЙ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ БИЗНЕС-ПРОЦЕССА

В условиях, когда для принятия решений проведение экспериментов с самим процессом затруднено, применяют метод имитационного моделирования. Целесообразность практического применения СИМ обусловлена необходимостью использовать метод альтернативных вариантов (сценариев), предусматривающий сравнение между собой разных форм организации сложной системы с последующим выбором и реализацией наилучшей из них [5,6].

Имитационное моделирование особенно практически полезно тогда, когда исследуемый процесс состоит из нескольких параллельно функционирующих во времени и взаимодействующих между собой этапов [6]. Рассматриваемый в данной статье бизнес-процесс имеет такую особенность. Например, в то время как *заявка 1* проходит этап ПСИ, *заявка 2* находится на этапе ИФТ, *заявка 3* в работе у разработчика, а *заявка 4* в процессе подготовки спецификации требований у аналитика (рис. 3).

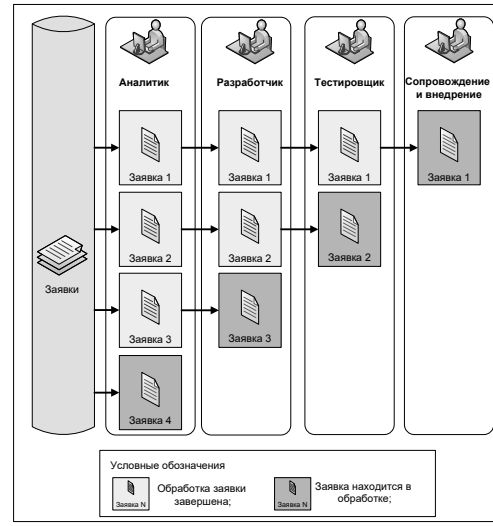


Рис. 3. Представление параллельно выполняющихся этапов обслуживания заявки

На бизнес-процесс разработки и кастомизации интеграционных решений влияет большое количество случайных факторов (СФ). Для того чтобы иметь возможность учесть влияние этих факторов с помощью метода СИМ, их необходимо формализовать и строго описать. Все факторы можно условно разделить на две группы. Первая группа описывается с помощью случайных величин (СВ) с некоторыми законами распределения (ЗР). Вторая группа представлена случайными событиями (СС), которые могут возникать в определенные моменты времени [6]. С учетом абстрагирования от несущественных деталей выделены следующие СВ и СС (рис.4):

СФ 1 – Время между поступающими заявками, ч (непрерывная СВ);

СФ 2 – Плановая длительность обработки заявки, ч/дн (непрерывная СВ);

СФ 3 – Тип заявки по компетенциям аналитика (СС);

СФ 4 – Тип заявки по компетенциям разработчика (СС);

СФ 5 – Вероятность получения полной информации от заказчика (непрерывная СВ);

СФ 6 – Длительность ожидания информации от заказчика, ч/дн (непрерывная СВ);

СФ 7 – Длительность аналитики, ч/дн (непрерывная СВ);

СФ 8 – Вероятность потери актуальности заявки на этапе аналитики (СС);

СФ 9 – Длительность разработки, ч/дн (непрерывная СВ)

СФ 10 – Вероятность потери актуальности заявки на этапе разработки (СС);

СФ 11 – Длительность ИФТ (непрерывная СВ)

СФ 12 – Вероятность потери актуальности заявки на этапе ИФТ (СС);

СФ 13 – Вероятность отклонения заявки на этапе ПСИ (СС).

Рис. 4. Укрупнённая блок-схема бизнес-процесса со случайными факторами

Для моделирования значений СВ и СС необходимо произвести идентификацию ЗР и оценку параметров распределения таких величин. В рассматриваемом модельном примере виды ЗР и их параметры представлены в табл. 2, вероятности поступления разных типов заявок представлены в табл. 3-4, вероятности наступления СС в табл. 5.

ТАБЛИЦА II. ЗР И ПАРАМЕТРЫ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ СВ

СФ	Случайная величина	Закон распределения	Параметр
1	Время между поступающими заявками, ч	Экспоненциальный	λ = 0,8
2	Плановая длительность обработки заявки, ч/дн	Нормальный	a = 144 σ = 24
6	Длительность ожидания информации от заказчика, ч/дн	Нормальный	a = 16 σ = 8
7	Длительность аналитики, ч/дн	Нормальный	a = 40 σ = 8
9	Длительность разработки, ч/дн	Нормальный	a = 80 σ = 8
11	Длительность ИФТ, ч/дн	Нормальный	a = 24 σ = 8

ТАБЛИЦА III. МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЕРОЯТНОСТИ ПОСТУПЛЕНИЯ РАЗНЫХ ТИПОВ ЗАЯВОК ПО КОМПЕТЕНЦИЯМ АНАЛИТИКОВ

Технологии интеграции АС1	Технологии интеграции АС2	Технологии интеграции АС3	Технологии интеграции АС4	Другое
0,3	0,2	0,2	0,2	0,1

ТАБЛИЦА IV. МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЕРОЯТНОСТИ ПОСТУПЛЕНИЯ РАЗНЫХ ТИПОВ ЗАЯВОК ПО КОМПЕТЕНЦИЯМ РАЗРАБОЧТИКОВ

MQ транспорт	Kafka транспорт	SOAP транспорт	Другое
0,6	0,2	0,1	0,1

ТАБЛИЦА V. МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЕРОЯТНОСТИ НАСТУПЛЕНИЯ СС

СФ	Случайное событие	Веротяноть наступления события
5	Вероятность получения полной информации от заказчика	p = 0,5
8	Вероятность потери актуальности заявки на этапе аналитики	p = 0,4
10	Вероятность потери актуальности заявки на этапе разработки	p = 0,3
12	Вероятность потери актуальности заявки на этапе ИФТ	p = 0,3
13	Вероятность отклонения заявки на этапе ПСИ	p = 0,2

Имитационное моделирование опирается на некоторую математическую модель, позволяющую проводить моделирование значений СВ и СС [6]. Большинство бизнес-процессов хорошо описываются в терминах теории массового обслуживания. Рассматриваемый бизнес-процесс можно описать в виде многофазной, многоканальной системы массового обслуживания (СМО). Заявками на обслуживание будут являться заявки на разработку или кастомизацию интеграционных решений, а каналами обслуживания – аналитики, разработчики и тестировщики отдела интеграции в IT-компании.

Входящий поток заявок в рассматриваемом бизнес-процессе случаен и задаётся определенным ЗР. Здесь имеет место простейший поток однородных событий [7]. Действительно, количество заявок в единицу времени распределено по закону Пуассона, а интервалы между ними (СФ1) – по экспоненциальному закону.

Данный бизнес-процесс представляет собой систему с ожиданием, то есть пришедшая заявка в любом случае дожидается начала обслуживания и может покинуть систему только после этапа ПСИ или потери актуальности на одном из этапов обработки.

Таким образом, исследуемый бизнес-процесс подвержен влиянию множества стохастических факторов, а обслуживание представляет собой сложную, многофазную процедуру. Поэтому в данном случае метод СИМ позволяет более полно исследовать зависимость качества обслуживания от характеристик потока заявок и параметров СМО.

Входными данными имитационной модели будут являться:

- параметры распределения СВ и вероятности наступления СС;
- список сотрудников с характеристиками;
- процентное соотношение доли работ на аналитику, разработку и тестирование от общей длительности обработки заявки;
- период моделирования.
- Выходными данными имитационной модели будут являться:
- количество обработанных заявок, %;
- средняя длительность обработки заявки, ч;
- загрузка сотрудников за период моделирования, ч;

V. Реализация имитационной модели в AnyLogic

Программная реализация имитационной модели выполнена в среде имитационного моделирования AnyLogic 8.4.0 PLE. AnyLogic поддерживает три метода имитационного моделирования: дискретно-событийное, агентное и системную динамику [8]. Для моделирования бизнес-процессов удобно использовать дискретно-событийный метод.

Динамика моделируемого процесса представлена в виде последовательности операций над агентами, представляющими собой заявки. Агенты-заявки обладают атрибутами, накапливающими статистические данные и участвующие в выводе результатов моделирования.

Логика функционирования бизнес-процесса задаётся как синтез объектов библиотеки моделирования процессов Enterprise Library. Объекты данной библиотеки позволяют задавать процессы в форме потоковых диаграмм (блок-схем). На рис. 6 представлена потоковая диаграмма бизнес-процесса разработки и кастомизации интеграционных решений.

Каждый объект имеет встроенную математическую программу, которая позволяет воспроизводить заданную функцию и моделировать выходные значения СВ и СС (табл. 6).

ТАБЛИЦА VI. Объекты библиотеки Enterprise Library

Объект	Назначение объекта	Наименование в потоковой диаграмме
	Source – генерирует поток заявок определённого типа	Заявки
	TimeMeasureStart и TimeMeasureEnd составляют пару объектов для измерения времени, проведенного заявками между двумя точками диаграммы процесса	Без имени
	SelectOut put – направляет входящие заявки в один из выходных портов в зависимости от выполнения заданных условий	опрКомпАналитика опрКомпРзаботчика всяИнфо актуальность актуальность1 актуальность2 актуальность3 актуальность4
	Delay – задерживает агентов на заданный период времени	выбАналитика выбРазработчика выбТестера
	Service – захватывает для заявки заданное количество ресурсов, задерживает заявку, а затем освобождает захваченные ею ресурсы	аналтиика разработка тестирование
	ResourcePool – задаёт набор ресурсов, которые могут захватываться и освобождаться заявками	аналитики разарботчики тестировщики
	Sink – уничтожает поступившие заявки	следMajor потеряАктальностиАналитика потеряАктуальностиРазработчика потеряАктуальностиТест потеряАктуальностиВнедр завершённаяЗаявка

Формы ввода и вывода данных модели представлены на рис. 7-8.

Выбор алгоритма функционирования модели задаётся через элемент управления «Флажок». Включённый флажок означает выбор алгоритма распределения заявок на сотрудников с учётом компетенций. Заданное значение передаёт управление логическим функциям распределения заявок на сотрудников. Например, на рис. 5 представлен фрагмент программного кода, реализующий функцию распределения заявок на аналитиков.

```
if (компСотр) {
    List<Сотрудник> тип = new ArrayList<>();
    List<Сотрудник> типA = new ArrayList<>();
    List<Сотрудник> типB = new ArrayList<>();
    List<Сотрудник> типC = new ArrayList<>();
    List<Сотрудник> типD = new ArrayList<>();

    // Проверяем тип A
    for(Сотрудник аналитик : списокАналитиков) {
        if ("A".equals(аналитик.analyticTypes.get(заявка.компАналитика-1))) {
            типA.add(аналитик);
        }
    }
    if (типA.size() > 0) {
        for(Сотрудник аналитик : типA) {
            if (аналитик.отрВремя/счетчикРабочегоВремени < 0.8) return аналитик;
        }
    }

    // Проверяем тип B
    типB = new ArrayList<>();
    for(Сотрудник аналитик : списокАналитиков) {
        if ("B".equals(аналитик.analyticTypes.get(заявка.компАналитика-1))) {
            типB.add(аналитик);
        }
    }
    if (типB.size() > 0) {
        for(Сотрудник аналитик : типB) {
            if (аналитик.отрВремя/счетчикРабочегоВремени < 0.8) return аналитик;
        }
    }

    // Проверяем тип C
    типC = new ArrayList<>();
    for(Сотрудник аналитик : списокАналитиков) {
        if ("C".equals(аналитик.analyticTypes.get(заявка.компАналитика-1))) {
            типC.add(аналитик);
        }
    }
    if (типC.size() > 0) {
        for(Сотрудник аналитик : типC) {
            if (аналитик.отрВремя/счетчикРабочегоВремени < 0.8) return аналитик;
        }
    }

    // Проверяем тип D
    типD = new ArrayList<>();
    for(Сотрудник аналитик : списокАналитиков) {
        if ("D".equals(аналитик.analyticTypes.get(заявка.компАналитика-1))) {
            типD.add(аналитик);
        }
    }
    if (типD.size() > 0) {
        for(Сотрудник аналитик : типD) {
            if (аналитик.отрВремя/счетчикРабочегоВремени < 0.8) return аналитик;
        }
    }
```

Рис. 5. Фрагмент программного кода для распределения заявки на аналитика

VI. Организация экспериментов с имитационной моделью

Определим, как влияет учёт компетенций сотрудников при распределении заявок на критерии оценки алгоритмов $\{C_1, C_2, C_3, C_4, C_5\}$. Для модельного примера в качестве исходных данных рассмотрим деятельность 15 сотрудников отдела интеграции (5 аналитиков, 5 разработчиков и 5 тестировщиков). Заданные оценки по компетенциям и другие характеристики сотрудников представлены на рис. 9.

В табл. 7 представлены сводные результаты простых экспериментов Simulation по итогам проведения 50 опытов для каждого алгоритма. Обработка данных была выполнена с помощью MS Excel.

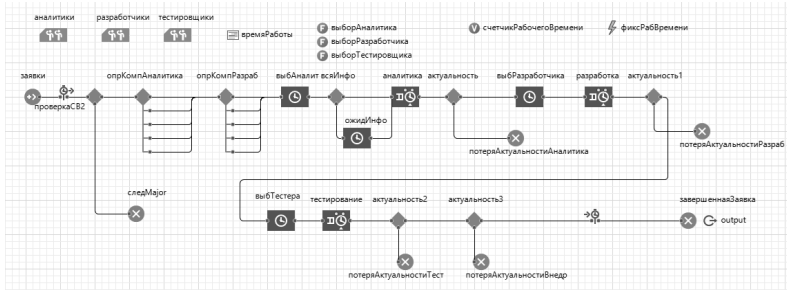


Рис. 6. Потоковая диаграмма бизнес-процесса

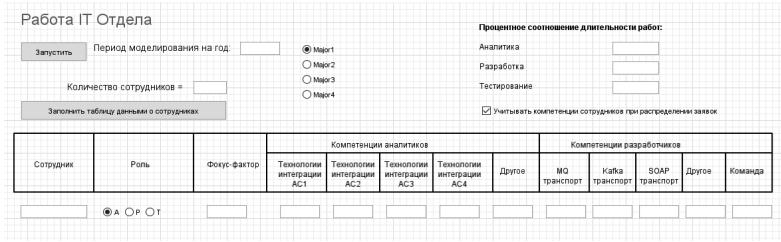


Рис. 7. Форма ввода данных

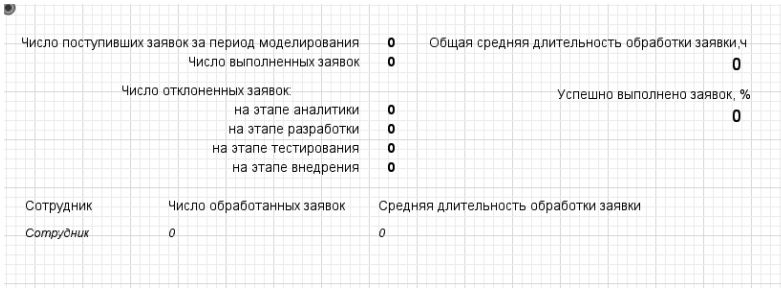


Рис. 8. Форма вывода данных

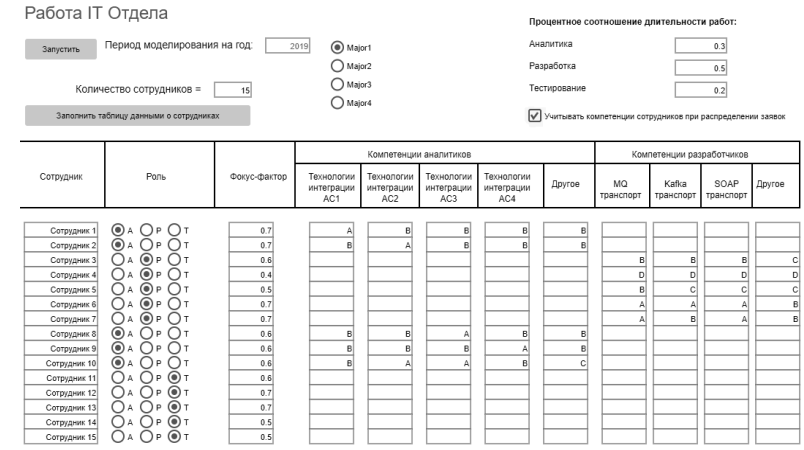


Рис. 9. Входные данные о сотрудниках

ТАБЛИЦА VII. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Критерий \ Алгоритм	X_1 – без учёта компетенций	X_2 – с учётом компетенций
C_1 – количество обработанных заявок, %	63%	70%
C_2 – средняя длительность обработки заявки, ч	180 ч	100 ч
C_3 – загрузка между аналитикама	ЗАГРУЗКА ПРИБЛИЗИТЕЛЬНО ОДИНАКОВАЯ	РАЗНИЦА В ЗАГРУЗКЕ В 2 РАЗА
C_4 – загрузка между разработчиками	ЗАГРУЗКА ПРИБЛИЗИТЕЛЬНО ОДИНАКОВАЯ	РАЗНИЦА В ЗАГРУЗКЕ В 2 РАЗА
C_5 – загрузка между тестировщиками	ЗАГРУЗКА ПРИБЛИЗИТЕЛЬНО ОДИНАКОВАЯ	ЗАГРУЗКА ПРИБЛИЗИТЕЛЬНО ОДИНАКОВАЯ

Анализ полученных результатов функционирования бизнес-процесса при распределении заявок на сотрудников без учёта компетенций X_1 показывает лучший результат, чем алгоритм с учётом компетенций X_2 по критериям C_3 и C_4 – разница в загрузке. Так загрузка между сотрудниками, принадлежащим одной ролевой группе, при распределении заявок без учета компетенций приблизительно одинаковая. Равномерная нагрузка обеспечивается логикой алгоритма X_1, завязанной на строгом распределении заявок, исходя из оценки текущей загруженности специалистов. При учёте компетенций аналитиков и разработчиков в алгоритме X_2 нагрузка между специалистами внутри одной ролевой группы (между аналитиками и между разработчиками) отличается в 2 раза. То есть в то время как кто-то из сотрудников перегружен работой, другие сотрудники наоборот испытывают дефицит в задачах. Динамический анализ функционирования алгоритма X_2 во время выполнения моделирования показал, что недостаток данного алгоритма обусловлен отсутствием в алгоритме механизма сравнения нагрузки между сотрудниками с разными оценками. То есть, если на вход поступает несколько заявок одного типа, то распределение осуществляется между сотрудниками, имеющими максимальные оценки по требуемой компетенции до тех пор, пока загруженность всех сотрудников с данной оценкой не достигнет 80%. При этом сотрудники имеющие более низкие оценки не участвуют в распределении заявок. Таким образом, алгоритм нуждается в совершенствовании в части обеспечения равномерной загрузки сотрудников с разными оценками.

Однако по критериям C_1 и C_2 лучшие результаты показал алгоритм распределения заявок с учётом компетенций X_2. Данный результат достигнут благодаря тому, что при распределении заявок на сотрудников, которые хорошо разбираются в специфике задачи, время выполнения заявок меньше почти в 2 раза (100 ч) по сравнению с алгоритмом X_1 (180 ч), в котором заявка может достаться сотруднику, обладающему начальным уровнем знаний по требуемой компетенции, вследствие чего время на обработку заявки увеличится. Таким образом, алгоритм X_2 позволяет добиться на 7% больше выполненных заявок, чем алгоритм X_1.

В качестве ограничений необходимо отметить, что эксперименты проводились при фиксированных значениях параметрах ЗР и СС. Для проверки гипотезы о влиянии учёта компетенций при распределении заявок на сотрудников в реальных бизнес-процессах потребуется предварительно определить квазиоптимальные параметры управления бизнес-процессом [9]. Под квазиоптимальными параметрами понимаются такие параметры ЗР, достижение которых возможно добиться на практике с целью получения наиболее выгодного решения для ЛПР. Так для моделируемого примера квазиоптимальными параметрами ЗР были приняты значения из табл. 2.

Таким образом, можно сделать вывод о наличии зависимости результата функционирования рассмотренной модели бизнес-процесса от учёта компетенций сотрудников при распределении заявок. Поэтому при выборе алгоритма распределения заявок в практической деятельности необходимо предварительно сопоставить риски с возможной выгодой прежде, чем принимать и внедрять решения в реальный бизнес-процесс. Отследить поведение системы во времени и проиграть различные варианты алгоритмов с учётом влияния СФ позволяет метод СИМ.

VII. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье рассмотрена разработка имитационной модели бизнес-процесса разработки и кастомизации интеграционных решений в IT-компании для сравнения алгоритмов распределения заявок на сотрудников с учётом и без учёта компетенций. Отличительной особенностью данной модели является учёт множественных факторов, влияющих на длительность обработки заявок аналитиками, разработчиками и тестировщиками, в частности, связанных с текущей загрузкой исполнителей по задачам, соответствия их квалификации характеристикам задач и т.д. Проведённое исследование имеет прикладной характер в IT-отрасли. Программная реализация имитационной модели и полученные результаты доказывают гипотезу о наличии зависимости результата функционирования рассмотренной модели бизнес-процесса разработки и кастомизации интеграционных решений от учёта компетенций (специализации) сотрудников при распределении заявок. Полученные результаты имитационного моделирования позволяют на научной основе оценить эффективность различных алгоритмов управления бизнес-процессом разработки и кастомизации интеграционных решений при распределении заявок в интересах сохранения конкурентоспособности компании на рынке IT-услуг.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

[1] Чеботарев Николай. IT стратегия и интеграционные решения // Большой консалтинг. Аналитика URL: http://bk-journal.ru (дата обращения: 08.07.2019).

[2] Хаджиева С.В. Анализ проблемной области распределения трудовых ресурсов в управлении реализацией интеграционных IT-проектов // Материалы XIV Международной научно-практической конференции «Татищевские чтения. Том. 1. Актуальные проблемы информатизации науки и производства». - Тольятти: 2018. - С. 82-86.

[3] Димов Э.М., Маслов О.Н., Хаджиева С.В. Имитационное моделирование бизнес-процесса разработки и кастомизации интеграционных решений в интересах управления // Инфокоммуникационные технологии, №Т.1, № 1, 2019. - С. 49-63.

[4] Анфилатов В.С., Емельянов А.А., Кукушкин А.А. Системный анализ в управлении. Москва: Финансы и статистика, 2002. – 368 с.

[5] Н.Н. Лычкина. Имитационное моделирование экономических процессов // URL: http://simulation.su/uploads/files/default/2005-uch-posob-lychkina-1.pdf (дата обращения: 08.07.2019).

[6] Димов Э.М., Маслов О.Н., Трошин Ю.В., Халимов Р.Р Динамика разработки имитационной модели бизнес-процесса // Новые информационные технологии, Т. 11, № 1, 2013. – С 63-77.

[7] Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика. - Москва: Высшая школа, 2013. - 479 с.

[8] Официальный сайт AnyLogic URL: https://www.anylogic.ru/ (дата обращения: 08.07.2019).

[9] Димов Э.М., Маслов О.Н. Алгоритмизация квазиоптимального управления нерефлекторными системами с применением статистического имитационного моделирования // Инфокоммуникационные технологии, Т.15, №3, 2017. – С. 205-217.

Экономика внедрения одноранговой системы хранения и обработки защищаемой информации на предприятии

Хрящев В.В.
ФБОУ ВО Самарский государственный технический университет
Самара, Россия
khriashchev@gmail.com

Ненашев А.В.
ФБОУ ВО Самарский государственный технический университет
Самара, Россия
alexvlnenashev@gmail.com

***Abstract* - The method of evaluating the effectiveness of the economic parameters of the implementation of industrial enterprises "Peer-to-Peer Distributed Storage and Processing of Protected Information in Corporate Networks", designed primarily to protect distributed computing, and isolate private networks without limiting the possibilities of useful interaction in the framework of the technologies Industry 5.0 and Super Smart Society is proposed. Within the framework of these concepts, there is a gradual integration of production, logistics, sales and information systems into a global information exchange system. The proposed system provides effective countering to threats through cryptography, protection against unauthorized access using biometrics and an innovative protocol for information interaction and control of topology based on distributed registry technologies, optimizes the use of computing power, and provides tools for organizing distributed computing without changing the logic of existing software.**

Ключевые слова — моделирование вычислительных систем, сети массового обслуживания, одноранговые сети, информационная безопасность, распределенный реестр, системы распределенных вычислений.

I. Введение

Обеспечение кибербезопасности и оптимизация вычислительных мощностей являются приоритетными задачами для любой организации. Согласно оценке исследовательской компании Gartner, в 2017 году глобальные расходы на информационную безопасность (продукты и услуги) достигли $101,5 млрд. Согласно оценкам Gartner [12], в 2017 году расходы организаций на услуги киберзащиты в глобальном масштабе превысили $52,3 млрд. В 2018-м эти затраты увеличились до $58,9 млрд. В 2017 году компании потратили $2,4 млрд на защиту приложений, на защиту данных — $2,6 млрд, на защиту облачных сервисов — $185 млн. Годовые продажи решений для управления идентификацией и доступом (Identity And Access Management) оказались равными 8,8 млрд. Реализация средств защиты ИТ-инфраструктуры повысилась до $12,6 млрд. Также в исследовании говорится о затратах в размере $10,9 млрд на оборудование, используемое для обеспечения сетевой безопасности. На системах управления рисками информационной безопасности их производители заработали $3,9 млрд. Потребительские ИБ-расходы за 2017 год оценены аналитиками в $5,9 млрд. В 2017 году урон от хакерских атак для глобальной экономики составляла 110 млрд. долларов США, а средняя стоимость инцидента для бизнеса - 188 тысяч долларов США.

Индустрия 5.0, или пятая индустриальная революция, основана на интеграции физического и киберпространств. Концепция базируется на самообучении машин, копировании действий человека или других роботов и автоматической оптимизации алгоритмов производства. Big Data, IoT (Internet of Things, «Интернет вещей») и IoE (Internet of Everything, «Интернет всего») и адаптивные когнитивные системы являются ключевыми составляющими Индустрии 5.0. В процессе производства вся собранная в физическом пространстве информация в виде Big Data отправляется в киберпространство. Благодаря технологии искусственного интеллекта (ИИ) можно анализировать эти данные, находить оптимальное с точки зрения ИИ решение для производственного или финансового процесса и направлять обратно в физическое пространство [13].

Повсеместное внедрение этих технологий приведет к полной интеграции киберпространства и реального бытового и производственного окружения человека. В таких условиях, и без того значимые задачи обеспечения кибербезопасности и оптимизации вычислительных мощностей становятся приоритетными для общества в целом и его отдельных субъектов.

Современные системы хранения и обработки данных построены, в основном, в централизованной архитектуре [7], либо имеют центры управления, контроль над которыми может быть перехвачен через аппаратные, либо программные уязвимости или внедрением в состав технического персонала агентов [1, 2]. Корпоративные информационные системы, реализуются в многозвенной архитектуре, которая передает вычислительную нагрузку ресурсам центров обработки данных (ЦОД), оставляя локальные ресурсы АРМ невостребованными. А подход к построению системы киберзащиты современных ИС, основанный на применении множества узкоспециализированных подсистем влечет за собой не только проблемы их интеграции с программным обеспечением ИС и общесистемным программным, что ведет зачастую к многократному снижению производительности ИС, но и служит источником уязвимостей безопасности информации за счет случайных или преднамеренных ошибок при их имплементации и настройке.

Внедрение Индустрии 5.0 требует изменения подходов к созданию и использованию автоматизированных информационных систем управления (АИС) и общих подходов к управлению предприятиями. Переход к экосистеме подразумевает

©2019 ИПУСС РАН, СамГТУ, IEEE

трансформацию предприятий из изолированных систем, внутри которых реализованы все необходимые для производства товара или услуги производственные и бизнес-процессы, в открытые (по горизонтали и вертикали) кросс-индустриальные системы, по модели облачных сервисов. Изменение топологии, архитектуры и принципов работы информационных систем (ИС) предприятия в рамках Индустрии 5.0 предполагает широкое использование систем распределенных вычислений, интегрированных в общую экосистему автоматического управления производственными линиями, логистикой и продажами, включающую ИС различных предприятий (самостоятельных субъектов экономической деятельности), объединенных в единую цепь производства – сбыта, что устанавливает требования к ИС нового поколения: они должны быть органически интегрированы с системами обеспечения кибербезопасности, а так же автоматически выполнять все необходимые сервисные и оптимизационные процедуры. Такой подход к реализации ИС, по нашему мнению, обеспечит высокий уровень защищенности [1, 2] и позволит существенно снизить совокупную стоимость владения ИС [3, 6, 8] для предприятий.

II. Одноранговая распределенная система обработки и хранения защищаемой информации

Одноранговая распределенная система хранения и обработки защищаемой информации (ОРСХОЗИ) представляет собой распределенную операционную систему, каждый узел которой отдает свои вычислительные ресурсы (подсистему хранения, центральный и графический процессоры, оперативную память) системе и не имеет самостоятельного значения, основная функция которой предотвращение угроз информационной безопасности нацеленных на серверы, центральные вычислительные и абонентские узлы сети. Помимо полноценной защиты сети предприятия от внешних угроз информационной безопасности, ОРСХОЗИ обеспечивает максимальную защищенность информации от внутреннего нарушителя – собственного персонала предприятия. В частности, система обеспечивает полное предотвращение доступа к данным со стороны технического персонала: системных администраторов, администраторов безопасности и проч., которые не нуждаются в доступе к информации из информационных систем (ИС) предприятия для выполнения должностных обязанностей, но фактически имеют к ней доступ в современных ИС. Высокая степень защищенности данных достигается за счет того, что хранение и доступ к данным в ОРСХОЗИ осуществляется по специальному алгоритму. Этот алгоритм предполагает разделение пользовательского файла на N блоков, которые шифруются и отправляются на хранение на K·N узлов сети (K - коэффициент избыточности). При этом шифрованию подвергаются в том числе и данные в оперативной памяти, за исключением минимального оперативного блока. Перечень узлов хранения блоков помещается в блок метаданных, который в свою очередь шифруется и помещается на узлы метаданных. Блоки периодически, в периоды пониженной нагрузки сети в автоматическом режиме перемещаются между узлами. Таким образом никто, включая владельца, не знает, на каких узлах в конкретный момент времени хранятся части файла, кроме подсистемы, имеющей доступ к метаданным. Для обеспечения дополнительной защищенности этой информации, ключи шифрования метаданных меняются динамически с установленной периодичностью. Полностью данные файла может прочитать только допущенный к ним пользователь зарегистрированного в системе абонентского узла, к работе на котором он имеет специализированный допуск. При этом в каждый абонентский узел интегрирована система защиты (СЗ) от несанкционированного доступа (НСД).

Для обеспечения дополнительной защиты ОРСХОЗИ блокирует стандартные сетевые протоколы. Работа пользователя ОРСХОЗИ происходит под управлением пользовательской операционной системы (ПОС). В качестве ПОС допускается любая операционная система, используемая на предприятии. ПОС исполняется под управлением виртуальной машины (ВМ) из состава программного обеспечения узла ОРСХОЗИ и полностью изолируется от сети. А любые ресурсы, включая сетевые устройства ввода-вывода, систему хранения и интерфейс РРСУБД, передаются ПОС как локальные. Таким образом: блокируются уязвимости программного обеспечения, исполняемого под управлением ПОС, и функционал вредоносного ПО нацеленный на хищение данных пользователя с их последующей скрытой передачей удаленному получателю; маскируется топология сети предприятия от пользователя и внешнего нарушителя; ИС предприятия не требуют замены и существенной доработки. Взаимодействие с внешними сетями допустимо через специальные шлюзы, выполняющие функции маршрутизации и межсетевого экранирования (МЭ) на канальном уровне модели передачи ISO/OSI.

За счет шифрования, динамической маскировки данных, динамической избыточности, распределенности хранения и одноранговости, с точки зрения пользователя и нарушителя, узлов ОРСХОЗИ, а так же за счет встроенных в систему алгоритмов предотвращения несанкционированного доступа к узлам и данным и подсистемы защищенного и анонимного (с технической точки зрения) доступа к ресурсам вне ОРСХОЗИ, разрабатываемая система устойчива ко всем известным типам атак и методов несанкционированного съема информации по техническим каналам утечки с узлов ОРСХОЗИ. А при должной организации технической защиты информации на абонентских узлах от съема информации до момента применения алгоритмов шифрования к данным и должных организационных мер направленных на защиту информации, будет обеспечена полная защищенность сведений.

Дополнительно ОРСХОЗИ оснащается встроенной подсистемой обеспечения живучести. В случае выхода из строя любого узла, для блоков, которые хранились на нем, определяются новые места хранения, и они автоматически копируются туда с избыточных узлов. То есть потеря блока возможна только при одновременном выходе из строя всех K узлов, где он хранится. При этом к данным относятся не только пользовательские данные, но и программное обеспечение. Технический отказ узла будет означать всего лишь быстрое развертывание узла и его имплементацию (регистрацию) в ОРСХОЗИ, после чего пользователь будет иметь доступ ко всем своим программам, настройкам и данным автоматически.

Система сама обеспечивает резервирование данных. Подсистема однозначного, целостного и неразрушимого логирования действий пользователей системы позволяет автоматизировать контроль состояния аппаратного и программного обеспечения сети, процессы управления и реализовать подсистему расследования инцидентов безопасности.

Все подсистемы, интегрированные ОРСХОЗИ обычно поставляются в качестве самостоятельных программных (ПК) или программно-аппаратных (ПАК) комплексов. Внедрение и управление этими комплексами – отдельный сложный процесс, сопровождаемый риском возникновения угроз информационной безопасности связанных с ошибкой или недостаточной квалификацией исполнителя работ, а их сопровождение требует от администраторов безопасности отдельной квалификации на каждый комплекс и дополнительных трудозатрат, возникающих из-за отсутствия интегрированной единой централизованной системы управления.

III. Сравнительная оценка эффективности внедрения ОРСХОЗИ

Предлагаемая модель оценки эффективности внедрения ОРСХОЗИ на предприятии не предполагает оценивания экономического эффекта от внедрения той или иной функции рассматриваемой системы и ее необходимости в ИС предприятия, поскольку это отдельная задача подробно рассмотренная, например, в [7-9]. В статье предполагается, что внедрение на предприятии всех или части функций ОРСХОЗИ оценено отдельно и признано эффективным. Кроме того, не следует забывать, что функции ОРСХОЗИ могут быть реализованы за счет внедрения на предприятии альтернативных решений, как комплексных, так и реализующих те же функции или их часть по отдельности. Не останавливаясь на сравнительной оценке качественных и технологических характеристик ОРСХОЗИ и альтернативных систем, определим сравнительную характеристику экономической эффективности внедрения ОРСХОЗИ по совокупной стоимости владения [3, 6, 8, 10], в качестве количественного критерия оценки которой примем отношение разницы между совокупной стоимостью владения альтернативных решений (АР) и совокупной стоимости владения ОРСХОЗИ к совокупной стоимости владения АР:

$$\sigma = \left(M_b - M_o\right) / M_b \qquad (1)$$

здесь M_o - годовая совокупная стоимость владения ОРСХОЗИ в валюте оценивания, M_b - годовая совокупную стоимость владения АР в валюте оценивания, выполняющих функции ОРСХОЗИ, внедренных или планируемых к внедрению на предприятии в валюте оценивания. В соответствии с жизненным циклом ИС [4, 5, 7], к которым следует отнести и системы обеспечения кибербезопасности, эксплуатирующая организация несет основные затраты на этапах внедрения и опытной и/или промышленной эксплуатации ИС. По сравнению с ними затраты на вывод ИС из эксплуатации незначительны, поэтому в оценке относительной эффективности внедрения ОРСХОЗИ учитываться не будут. M_o можно определить как сумму затрат на внедрение M_{oi} в пересчете на один год эксплуатации и годовых расходов на эксплуатацию M_{oe} ОРСХОЗИ:

$$M_o = M_{oi} + M_{oe}, \qquad (2)$$

Срок эксплуатации T_e ОРСХОЗИ устанавливает предприятие, исходя из собственных ожиданий. В модели непосредственно не учитываем транспортные, организационные и иные прямые расходы [8, 9], принимаем их учтенными в стоимости нормо-часа работы соответствующего специалиста. Расходы на внедрение M_{oi} ОРСХОЗИ [5, 6]:

$$\begin{gathered} M_{oi} = \left(P \cdot e^{(o)} + \sum_{j=1}^{Y} P_j \cdot q_j^{(o)} + \sum_{k=1}^{X} \left(P_k \cdot w_k^{(o)} + W_k^{(o)}\right)\right) / T_e, \\ j = \overline{1,Y},\ k = \overline{1,X},\ e^{(o)} = t_e^{(o)} \cdot \left(s_w + s_a\right) + e_{sw}^{(o)} + e_{ed}^{(o)}, \\ e_{ed}^{(o)} = t_{ed}^{(o)} \cdot s_{sr},\ q_j^{(o)} = t_j^{(o)} \cdot s_w,\ w_k^{(o)} = t_k^{(o)} \cdot s_w \end{gathered} \qquad (3)$$

Годовые расходы на эксплуатацию M_{oe} ОРСХОЗИ [4, 6]:

$$\begin{gathered} M_{oe} = P_{up} \cdot t_e^{(o)} \cdot \left(s_w + s_a\right) + \sum_{j=1}^{Y} P_{up,\,j} \cdot q_j^{(o)} + \\ + \sum_{k=1}^{X} P_{up,\,k} \cdot w_k^{(o)} + \frac{P \cdot T_{st}}{N^{(serv)}} \cdot s_a \end{gathered} \qquad (4)$$

Здесь P - количество узлов в сети предприятия, $e^{(o)}$ - затраты на имплементацию узла в ОРСХОЗИ, $e_{sw}^{(o)}$ - стоимость одной лицензии ОРСХОЗИ, $e_{ed}^{(o)}$ - затраты на обучение персонала, которые определим как произведение времени на обучение $t_{ed}^{(o)}$ на среднюю заработную плату s_{sr} в организации, $t_e^{(o)}$ - затраты времени на имплементацию узла в ОРСХОЗИ, s_w - стоимость нормо-часа инженера системотехника, s_a - стоимость нормо-часа администратора безопасности, Y - количество версий операционных систем в сети предприятия, P_j - количество узлов с установленной ПОС j - го типа, $q_j^{(o)}$ - затраты на настройку ПОС j - го типа, $t_j^{(o)}$ - затраты времени на имплементацию ПОС j - го типа на абонентский узел в ОРСХОЗИ в человеко-часах, X - количество функциональных ИС предприятия P_k - количество узлов, на которых эксплуатируется k -ая функциональная ИС, $w_k^{(o)}$ - затраты на перенастройку k -ой функциональной ИС на одном узле, $t_k^{(o)}$ - время затрачиваемое на перенастройку k -ой функциональной ИС на одном узле, $W_k^{(o)}$ - затраты на модификацию программного обеспечения k -й

функциональной ИС для взаимодействия с РРСУБД, T_{st} - годовой объем рабочего времени специалиста в часах (в России он установлен трудовым законодательством равным 1976 часов), $P_{up}, P_{up,j}, P_{up,k}$ - количество узлов сети предприятия, подлежащих замене в течении года, из которых $P_{up,j}$ узлов несут на себе ПОС j - го типа, а на $P_{up,k}$ узлах установлен клиент k -й функциональной ИС, $N^{(serv)}$ - максимальное количество узлов ОРСХОЗИ, которое может обслужить администратор безопарности. Временные параметры модели (3), (4) расчета совокупной стоимости владения ОРСХОЗИ, за исключением, измеряются в часах, а стоимостные в валюте оценивания. Затраты на модификацию программного обеспечения $W_k^{(o)}$ функциональных ИС можно рассчитать по приближенной формуле:

$$W_k^{(o)} = 2 \cdot \Upsilon_k \cdot s_p \tag{5}$$

где Υ_k - количество объектов в базе данных (БД) k -й функциональной ИС, s_p - стоимость нормо-часа работы программиста. Множитель 2 в (5) это усредненное количество нормо-часов на перенос одного объекта БД в РРСУБД с учетом необходимых изменений в программном коде k -й функциональной ИС, определенное из норматива (11) с учетом классического подхода (9) к управлению проектами по разработке программного обеспечения. Затраты, полученные из (5) учитывают все возможные риски, реальная модификация программного обеспечения под эксплуатацию в рамках ОРСХОЗИ обойдется существенно дешевле, поэтому (5) следует применять в случае, если оценка затрат другими методами не выполнялась.

Совокупная стоимость владения ИС АР определим по аналогии с (2) как сумму приведенных по году затрат на внедрение $M_{i,\zeta}$ и годовых затрат на эксплуатацию $M_{e,\psi}$ АР:

$$M_b = \sum_{\zeta=1}^{\Pi_n} M_{i,\zeta} + \sum_{\psi}^{\Pi} M_{e,\psi} \tag{6}$$

Количество АР $\Pi \geq 1$ и не ограничено количеством функций, реализованных ОРСХОЗИ, поскольку на практике часто встречается ситуация, когда для реализации одной функции в ИС предприятия используется несколько различных систем, что может определяться, например, историческими особенностями развития ИС предприятия либо какими-то технологическими причинами. Так как некоторые или все АР могут быть внедрены на предприятии на момент принятия решения о переходе на ОРСХОЗИ, определим количество внедряемых АР: $0 \leq \Pi_n \leq \Pi$.Срок эксплуатации АР будем считать равным сроку эксплуатации T_e ОРСХОЗИ. Расходы на внедрение $M_{i,\zeta}$ ζ -й АР [5, 6] определим аналогично (3):

$$M_{i,\zeta} = \left(P_\zeta \cdot e^{(\zeta)} + \sum_{j=1}^{Y} P_{\zeta,j} \cdot q_j^{(\zeta)} + \sum_{k=1}^{X} \left(P_{\zeta,k} \cdot w_k^{(\zeta)} + W_k^{(\zeta)} \right) \right) \Big/ T_e ,$$
$$j = \overline{1,Y},\ k = \overline{1,X},\ e^{(\zeta)} = t_e^{(\zeta)} \cdot \left(s_w + s_a \right) + e_{sw}^{(\zeta)} + e_{ed}^{(\zeta)},$$
$$e_{ed}^{(\zeta)} = t_{ed}^{(\zeta)} \cdot s_{sr},\ q_j^{(\zeta)} = t_j^{(\zeta)} \cdot s_w,\ w_k^{(\zeta)} = t_k^{(\zeta)} \cdot s_w \tag{7}$$

А годовые расходы на эксплуатацию $M_{e,\psi}$ ψ -й АР [4, 6] аналогично (4):

$$M_{e,\psi} = P_{up,\psi} \cdot t_e^{(\psi)} \cdot \left(s_w + s_a \right) + \sum_{j=1}^{Y} P_{up,\psi,j} \cdot q_j^{(\psi)} +$$
$$+ \sum_{k=1}^{X} P_{up,\psi,k} \cdot w_k^{(\psi)} + \frac{P_\psi \cdot T_{st}}{N_\psi^{(serv)}} \cdot s_a + M_{e,\psi}^{(hw)} \tag{8}$$

$$M_{e,\psi}^{(hw)} = \begin{cases} 0, \textit{для программных АР} \\ P_{up,\psi} \cdot e_{sw}^{(\psi)}, \textit{для аппаратных АР} \end{cases}$$

Здесь все параметры имеют тот же смысл, что в (3), (4), только применительно к внедряемой ζ -й или эксплуатируемой ψ -ой АР, на что указывают соответствующие индексы. $M_{e,\psi}^{(hw)}$ - расходы повторное на приобретение вышедших из строя аппаратных АР. Для упрощения модели оценивания экономической эффективности внедрения ОРСХОЗИ, будем считать, что аппаратные АР относятся к категории неремонтируемых, что справедливо для большинства аппаратных средств защиты информации, ремонт которых при выходе из строя аппаратной части либо невозможен, либо по стоимости сравним с приобретением нового устройства.

IV. Пример расчета эффективности внедрения ОРСХОЗИ на предприятии

Проведем гипотетический расчет внедрения ОРСХОЗИ на предприятии. А также сравним эффективность внедрения относительно реальных альтернативных решений.

Для примера возьмем сеть предприятия, состоящую из 10 серверов и 500 рабочих станций. Пусть на всех рабочих станциях уставлена операционная система Windows 10, а в качестве функциональной ИС, установлена гипотетическая «функциональная ИС», база данных которой работает под управлением СУБД Microsoft SQL Server и содержит 1000 объектов.

Так как ОРСХОЗИ является комплексным решением, то для расчета альтернативных решений возьмем минимально-необходимый набор программных средств, выполняющий схожий функционал.

Список АР, применяемый в расчетах приведен в таблице I.

Срок плановой эксплуатации – 10 лет. Стоимости нормо-часа инженера системотехника и администратора безопасности взяты средние по отрасли в России, а стоимость одной единицы ψ -ой АР принята равной розничной цене на официальном сайте соответствующего производителя. В рамках примера, стоимость переноса базы ИС из Microsoft SQL Server в

РРСУБД ОРСХОЗИ с написанием соответствующего эмулятора для клиентских приложений составляет 10000$. Все расчеты проводились в долларах США.

ТАБЛИЦА I. СПИСОК АР

Наименование АР	Ψ	Количество, шт
Microsoft SQL Server	1	1
CSP CryptoPRO	2	500
АП Континент	3	7
Аккорд	4	500
Контроль резервных копий	5	1

Таким образом, для заданных условий, получились следующие значения:

$$M_b = 321904 \ (\exists), \ M_o = 52260 \ (\exists)$$

Рассчитаем экономическую эффективность внедрения ОРСХОЗИ относительно АР. Для этого воспользуемся формулой (1):

$$\sigma = \left(321904 - 52260\right) / 321904 = 0{,}84$$

Совокупная стоимость владения ОРСХОЗИ относительно АР меньше в 6 раз, а коэффициент эффективности равен 0,84. Таким образом, внедрение ОРСХОЗИ, в указанных условиях, является экономически целесообразным.

V. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предлагаемая модель оценивания (2) – (8) экономической эффективности внедрения ОРСХОЗИ, хотя и имеет некоторые упрощения, в достаточной степени учитывает все расходы, включаемые обычно в совокупную стоимость владения и:

1) Предоставляет объективный измеримый критерий (2) для принятия решения о внедрении ОРСХОЗИ.
2) Может с незначительными модификациями применяться для сравнения по параметру ССВ любых ИС.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

[1] Романец Ю.В., Тимофеев П.А., Шаньгин В.Ф. Защита информации в компьютерных системах и сетях. Под ред. В.Ф.Шаньгина. – 2-е изд. перераб. и доп. М: Радио и связь, 2001. 376с.

[2] Защита информации в компьютерных системах / под ред. д-ра экон. наук Е.В. Стельмашонок, канд. физ.-мат. наук И.Н. Васильевой. – СПб. : Изд-во СПбГЭУ, 2017. – 163 с.

[3] The Official Introduction to the ITIL Service Lifecycle. London: TCO, 2007. 238c.

[4] ITIL® Service Strategy. London: TCO, 2011. 483c.

[5] ITIL® Service Design. London: TCO, 2011. 442c.

[6] COBIT 5: Бизнес-модель по руководству и управлению ИТ на предприятии. USA: ISACA, 2012. 94c.

[7] Баронов В.В., Калянов Г.Н., Попов Ю.Н., Титовский И.Н. Информационные технологии и управление предприятием. М.: АйТи, 2009. 328 с.

[8] Скрипкин К.Г. Экономическая эффективность информационных систем. М.: ДМК Пресс, 2010. 256 с.

[9] Фредерик Брукс. Мифический человеко-месяц или как создаются программные системы. СПб.: «Символ-Плюс», 2000. 304 с.

[10] Дмитриева Е. О., Ашмарина С. И. Оценка эффективности внедрения информационных систем промышленных предприятий // Вестник СамГУ. 2011. №82 (1-1). с.78–83

[11] Типовые нормы времени на программирование задач для эвм. (утв. Постановлением Госкомтруда СССР, Секретариата ВЦСПС от 27.07.1987 n 454/22-70)

[12] Gartner Forecast Worlwide Informational Security Spending - 2018 (https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/2018-08-15-gartner-forecasts-worldwide-information-security-spending-to-exceed-124-billion-in-2019)

[13] Control Engineering (https://controlengrussia.com//rynok/obshhestvo-5-0-po-yaponski)

Повышение результативности деятельности таможенных органов на основе управления трудовым потенциалом должностных лиц

Хрящев В.В.
ФБОУ ВО Самарский государственный технический университет
Самара, Россия
khriashchev@gmail.com

Трубицын К.В.
ФБОУ ВО Самарский государственный технический университет
Самара, Россия
tef-samgtu@yandex.ru

***Abstract* – The article is submitted a system model that describes the relationship between the labor potential of customs officials and the degree of efficiency and effectiveness of the customs authorities on the example of the Samara Customs. For the aims of research used correlation analysis and Koba-Douglass function. In addition, estimated quality of model parameters and the whole model. The statistical significance of the regression equation coefficients and the assessment of the overall quality of the regression equation are evaluated.**

Ключевые слова — корреляция, корреляционный анализ, трудовой потенциал, функция Коба-Дугласса, уравнение регрессии, регрессионный анализ, показатели эффективности.

I. Введение

Для создания эффективной модели необходимо определить направления для улучшений, которые в наибольшей степени влияют на ключевые показатели. Таким образом, влияя на такие показатели, будут достигнуты лучшие результаты с наименьшими затратами.

Построение уравнения множественной регрессии начинается с решения вопроса о спецификации модели. Он включает в себя два круга вопросов: отбор факторов и выбор вида уравнения регрессии.

Для определения степени взаимосвязи ключевого показателя результативности деятельности таможенных органов и изучаемых факторов в исследование проводится корреляционный анализ.

Исследование проводится на примере Самарской таможни.

II. Корреляционный анализ

Ввиду того, что в центре внимания авторов в рамках статьи находится трудовой потенциал должностных лиц таможенных органов, наиболее интересными показателями эффективности и результативности деятельности таможенных органов должны являться показатели, на которые можно воздействовать путем управления и совершенствования трудового потенциала. Кроме того, они должны непосредственно влиять на величину таможенных платежей. Определим ряд показателей, соответствующих заданным требованиям:

1) среднее время совершения таможенных операций при выпуске товаров, помещенных под таможенную процедуру выпуска для внутреннего потребления (X1);
2) среднее время совершения таможенных операций при выпуске товаров, помещенных под таможенную операцию экспорта (X2);
3) время выпуска отдельных товаров, помещенных под таможенные процедуры экспорта или временного вывоза (X3);
4) время выпуска товаров, перемещаемых воздушным, автомобильным железнодорожным видами транспорта (X4);
5) результативность мер по минимизации рисков (общероссийские профили рисков) (X5);
6) результативность таможенных досмотров (общероссийские профили рисков) (X6);
7) результативность мер по минимизации рисков (региональные и зональные профили рисков) (X7);
8) результативность таможенных досмотров (региональные и зональные профили рисков) (X8);
9) результативность мер по минимизации рисков (целевые профили рисков) (X9);
10) результативность таможенных досмотров (целевые профили рисков) (X10);
11) сумма таможенных платежей, пеней и штрафов, доначисленных (наложенных) по результатам таможенного контроля после выпуска товаров (X11);

В качестве основного показателя результативности деятельности таможенных органов выбран показатель по исполнению контрольного задания в части доходов федерального бюджета, администрируемых таможенными органами, в отчетном периоде (Y).

В рамках исследования был проведен анализ исходных статистических данных за период с 2015 по 2017 года, разбитых поквартально.

Прежде чем построить уравнение множественной регрессии, проведем корреляционный анализ для определения наиболее значимых параметров и отсеивания лишних. Для проведения качественного анализа и корректных выводов необходимо соблюдать ряд требований:

©2019 ИПУСС РАН, СамГТУ, IEEE

ТАБЛИЦА I. МАТРИЦА КОРРЕЛЯЦИЙ

	X1	*X2*	*X3*	*X4*	*X5*	*X6*	*X7*	*X8*	*X9*	*X10*	*X11*	*Y*
X1	1											
X2	0,165	1										
X3	0,064	0,989	1									
X4	0,553	0,761	0,729	1								
X5	-0,540	-0,178	-0,125	-0,506	1							
X6	-0,500	-0,403	-0,307	-0,543	0,638	1						
X7	-0,763	-0,444	-0,362	-0,778	0,765	0,713	1					
X8	-0,011	0,636	0,647	0,369	-0,456	-0,463	-0,251	1				
X9	-0,547	-0,021	0,105	-0,113	0,414	0,761	0,489	-0,023	1			
X10	0,489	-0,492	-0,535	-0,258	-0,158	0,101	0,006	-0,192	-0,217	1		
X11	-0,129	-0,155	-0,089	-0,333	0,282	0,386	0,356	0,154	0,330	0,309	1	
Y	0,679	-0,435	-0,503	-0,020	-0,465	-0,231	-0,325	-0,245	-0,514	0,747	0,038	1

1) исследуемые параметры должны быть количественно измеримы;

2) отсутствие интеркорреляции между исследуемыми параметрами.

Если в модели факторов существует высокая интеркорреляция, то значит, что часть факторов дублируют друг друга, а это приводит к тому, что невозможно определить изолированное влияние параметров на исследуемый показатель. При наличии между параметрами интерркорреляции рекомендуется исключить из системы дублирующие факторы. При выборе параметра, который следует исключить из дальнейшего анализа, предпочтение отдается параметру, у которого, помимо тесной связи с результатом, имеется наименьшая корреляция с другими факторами.

Насыщение модели лишними факторами не только не снижает величину остаточной дисперсии и не увеличивает показатель детерминации, но и приводит к статистической незначимости параметров регрессии по критерию Стьюдента [1].

Для целей исследования ранее были определены основные факторы. Таким образом, необходимо изучить зависимость y=f(Y,X1,X2,X3,X4,X5,X6,X7,X8,X9,X10,X11) и построить матрицу парных корреляций размером 12x12, где в каждой ячейке отображается степень взаимосвязи параметров от -1 до 1 (Таблица I).

Для степени значимости в 98%, t-критерий равен 0,65807. Если коэффициент корреляции выше заданного значения, то это означает, что между параметрами, с вероятностью 98% имеется значимая корреляция. Исходя из матрицы, можно отметить, что корреляция присутствует между исследуемым параметром (показатель результативности деятельности таможенных органов выбран показатель по исполнению контрольного задания в части доходов федерального бюджета, администрируемых таможенными органами, в отчетном периоде), с заданной точностью, и факторами:

1) «Среднее время совершения таможенных операций при выпуске товаров, помещенных под таможенную процедуру выпуска для внутреннего потребления» (X1);

2) «Результативность таможенных досмотров по целевым профилям риска» (X10).

Значения корреляции равны 0,679 и 0,747 соответственно. При этом, между самими параметрами значительной корреляции не обнаружено, т.к. 0,489<0.658.

Исходя из корреляционного анализа, дальнейшее исследование будет проводится с выявленными факторами.

III. АНАЛИЗ МОДЕЛЬНЫХ РЕШЕНИЙ

Для исследуемых процессов в качестве модели выбрана нелинейная производственная функция типа Кобба-Дугласа с одним выходом – доход федерального бюджета, администрируемый таможенными органами в отчетном периоде(Y), и с двумя входными воздействиями, определенными при помощи корреляционного анализа.

На основе определенных ранее параметров модель производственной функции типа Коба-Дугласа имеет структуру, представленную на рис.1 [6].

Рис. 1. Модель производственной функции типа Коба-Дугласа с одним выходом и двумя входными воздействиями

Построим модель в виде производственной функции [5]:

$$Y(t) = MX_1(t)^{\alpha_1} \cdot X_9(t)^{\alpha_2} \quad (1)$$

где Y(t) – выбран показатель по исполнению контрольного задания в части доходов федерального бюджета, администрируемых таможенными органами, в период с 2015 г. по 2017 г.;

X1(t) – среднее время совершения таможенных операций при выпуске товаров, помещенных под таможенную процедуру выпуска для внутреннего потребления

X10(t) – Результативность таможенных досмотров по целевым профилям риска

M – масштабный коэффициент;

α1 и α2 – коэффициенты эластичности, которые являются функциями логарифмической чувствительности величины таможенных платежей, взимаемых с физических лиц, к изменению объема ввоза в денежных и натуральных единицах.

Коэффициенты эластичности:

$$\alpha_1 = \frac{X_1}{Y} \cdot \frac{\partial Y}{\partial X_1} = \frac{\partial lnY}{\partial lnX_1}, \quad \alpha_2 = \frac{X_9}{Y} \cdot \frac{\partial Y}{\partial X_9} = \frac{\partial lnY}{\partial lnX_9} \quad (2)$$

Коэффициенты эластичности численно характеризуют степень влияния исходных параметров на исследуемый. Значения коэффициентов эластичности α1 и α2 показывают, на сколько процентов изменится Y(t) при увеличении соответствующих объемов ввоза на 1 %. Показатели α1 и α2 будем полагать в модели (1) постоянными.

Далее, логарифмируя (1), получим линейное уравнение между относительными переменными Ln(X1) и Ln(X2).

$$Ln(Y) = LnM + \alpha_1 Ln(X_1) + \alpha_2 Ln(X_9). \quad (3)$$

Используя статистические данные для исследуемого процесса в целом, методом наименьших квадратов [35], [48], [56] идентифицируем параметры модели (3) lnM, α1 и α2. В качестве критерия идентификации применим минимум квадратичного отклонения модельных значений от реальных данных:

$$\sum_{i=1}^{T}(Y_m(t_i) - Y(t_i))^2 \to min, \quad (4)$$

где t_i – временные интервалы исследуемого периода (в работе t_iсоответствуют кварталу);
$Y_m(t_i)$ - модельные значения;
$Y(t_i)$ - реальные значения.

На рис.2 графически сопоставлены модельные расчеты и реальные данные.

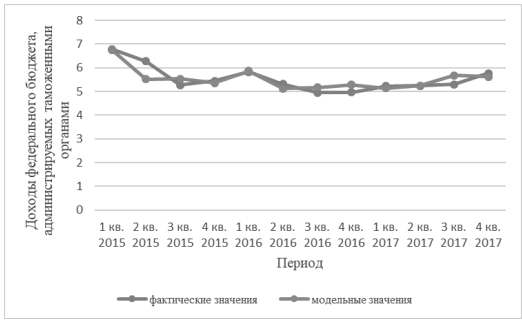


Рис. 2. Сравнение фактических и модельных значений функции Коба-Дугласа

Для анализа эффективности функции, определим следующие параметры[7]:

1) средняя эффективность ресурсов;
2) предельная эффективность ресурсов;
3) норма замещения ресурсов.

Для определения качества модели и ее параметров, найдем следующие характеристики качества модельных решений:

1) α1 и α2 – коэффициенты регрессии для параметров модели;
2) R – коэффициент корреляции, показывает тесноту связи между исследуемыми параметрами;
3) R2 – коэффициент детерминации, определяет долю разброса выходной переменной. Если качество уравнения регрессии хорошее, то показатель стремится к единице;
4) F- критерий Фишера – определяет статистическую значимость модели;
5) A – коэффициент аппроксимации, определяет погрешность в расчетах;
6) t-критерий Стьюдента – определяет статистическую значимость различий средних величин.

Значения параметров для оценки качества модели представлены в таблице II.

ТАБЛИЦА II. ЗНАЧЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА МОДЕЛИ

Показатель	Значение
α_1	0,30527
α_2	0,986732
R	0,8195
R2	0,67158
F-критерий Фишера	9,99
t-критерий Стьюдента	3,16
A	3,8%

Так как коэффициент корреляции (R=0,8195) больше 0,7, то можно сделать вывод, что существует значимая связь между показателем по исполнению контрольного задания в части доходов федерального бюджета, администрируемых таможенными органами, в отчетном периоде(Y); сокращением времени выпуска товаров, перемещаемых воздушным, автомобильным или железнодорожным видами транспорта(X3) и результативностью досмотров по целевым профилям рисков(X12). Коэффициент детерминации, определяющий аппроксимативные свойства модели имеет удовлетворительное значение для описания модели. Статистическая значимость модели с вероятностью 98% подтверждается значением коэффициента Фишера (9,99), т.к. его фактическое значение превышает табличное (Fтабл. = 6,23). Достоверность полученных параметров модели подтверждается значением критерия Стьюдента. Значение коэффициента аппроксимации (A) меньшее 8% показывает, что погрешность в расчетах находится в рамках нормы.

Проведем анализ эффективности функции. На рисунке 3 представлен график изменения средней эффективности параметра «Среднее время совершения таможенных операций при выпуске товаров, помещенных под таможенную процедуру выпуска для внутреннего потребления» (Рис. 3).

На рисунке 4 представлен график изменения предельной эффективности параметра «Среднее время совершения таможенных операций при выпуске товаров, помещенных под таможенную процедуру выпуска для внутреннего потребления.

Показатели предельной и средней эффективности параметра «Среднее время совершения таможенных операций при выпуске товаров, помещенных под таможенную процедуру выпуска для внутреннего потребления» имеют положительную динамику.

На рисунке 5 представлен график динамики средней эффективности показателя результативность досмотров по целевым профилям рисков.

На рисунке 6 представлен график динамики предельной эффективности показателя результативность досмотров по целевым профилям рисков.

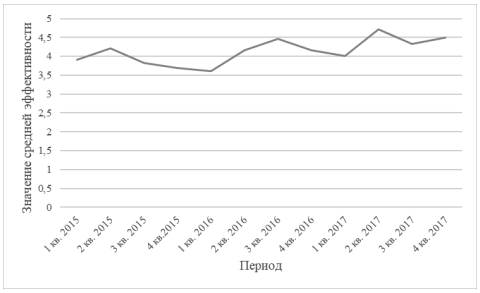


Рис. 3. Изменение средней эффективности параметра «Среднее время совершения таможенных операций при выпуске товаров, помещенных под таможенную процедуру выпуска для внутреннего потребления».

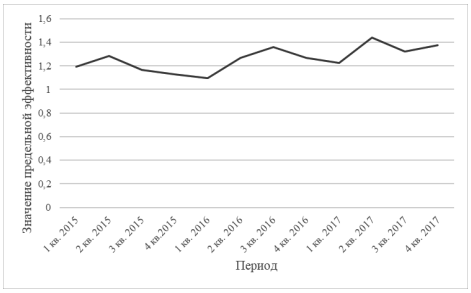


Рис. 4. Изменение предельной эффективности параметра Среднее время совершения таможенных операций при выпуске товаров, помещенных под таможенную процедуру выпуска для внутреннего потребления.

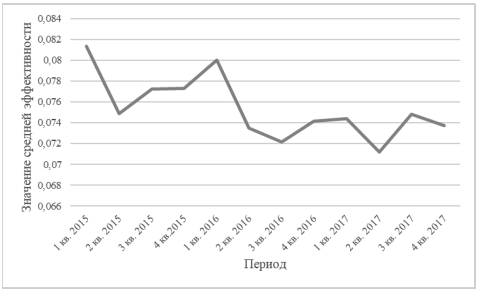


Рис. 5. Динамика средней эффективности показателя результативность досмотров по целевым профилям рисков

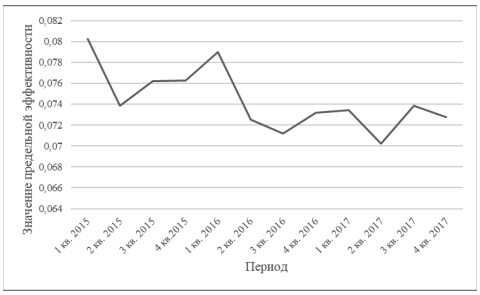


Рис. 6. Динамика предельной эффективности показателя результативность досмотров по целевым профилям рисков

IV. Заключение

Анализ полученных результатов показывает, что средняя и предельная эффективность показателя результативности досмотров по целевым профилям рисков имеют отрицательную динамику. При этом, коэффициент регрессии, который в то же время является коэффициентом эластичности показателя, равен 0,986732. Т.к. этот показатель значительно превышает коэффициент регрессии для показателя сокращения времени выпуска товаров, перемещаемых воздушным, автомобильным или железнодорожным видами транспорта, то совершенствование и управления трудовым потенциалом именно в сфере досмотров по целевым профилям рисков принесет наибольший эффект в плане показателя доход федерального бюджета, администрируемый таможенными органами.

Список литературы

[1] Эконометрика: Учебник / Под ред. И.И. Елисеевой. – М.: Финансы и статистика, 2002. – 344 с.

[2] Костина А.О. Совершенствование управления нагрузкой должностных ли таможенных постов в интересах повышения качества таможенных услуг: дис. … канд. экон. наук. Москва, 2014.

[3] Кибанов А.Я., Митрофанова Е.А., Эсаулова И.А. Экономика управления персоналом: учебник / Под ред. А.Я. Кибанова. – М.: ИНФРА-М, 2013. – 638 с.

[4] Генкин Б.М. Экономика и социология труда. – 7-е изд., доп. – М.: Норма, 2007. – 448 с.

[5] Кремер Н.Ш., Путко Б.А. Эконометрика: Учебник для вузов / Под ред. проф. Н.Ш. Кремера. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2002. – 311 с.

[6] Магнус Я.Р., Катышев П.К., Пересецкий А.А. Эконометрика. Начальный курс: Учебник. – М.: Дело, 2001. – 400 с.

[7] Катышев П.К., Магнус Я.Р., Пересецкий А.А. Сборник задач к начальному курсу эконометрики. – М.: Дело, 2002. – 208 с.

[8] Прикладная статистика. Основы эконометрики: Учебник для вузов: В 2-х т. – Т. 1. Айвазян С.А., Мхитарян В.С. Теория вероятностей и прикладная статистика. – М: ЮНИТИ-ДАНА, 2001. – 656 с.

Прикладная статистика. Основы эконометрики: Учебник для вузов: В 2-х т. – Т. 2. Айвазян С.А. Основы эконометрики. – М: ЮНИТИДАНА, 2001. – 432 с.

Модель совершенствования и управления трудовым потенциалом должностных лиц таможенных органов

Хрящев В.В.
ФБОУ ВО Самарский государственный технический университет
Самара, Россия
khriashchev@gmail.com

***Abstract* – In the article is considered the model of management and improvement of labor potential developed by the authors, based on the relationship of the labor potential of customs officials and the quality of customs services. The management system and improvement of labor potential is considered as a continuous process with input and output data, as well as the necessary resources. A system of indicators has been developed to assess the effectiveness of the processes.**

Ключевые слова — трудовой потенциал, трудовой потенциал должностных лиц таможенных органов, процессный подход, управление качеством, системы управления

I. Введение

В процессе создания модели управления и совершенствования трудового потенциала следует сделать акцент на связь трудового потенциала должностных лиц таможенных органов и качества таможенных услуг. При разработке использовались модель системы менеджмента качества (СМК) и различные стандарты, такие как ISO 9000, ISO 9001 и т.д.

В рамках предлагаемой модели, система управления и совершенствования трудового потенциала рассматривается в качестве процесса с входными и выходными данными, а также необходимыми ресурсами. Результаты работы процессов должны отслеживаться.

Процессный подход заставляет определить источники и систему поступления информации о процессе, правила работы и принятия управленческих решений, ресурсы и обратную связь для достижения наилучших результатов. Алгоритм действий по управлению процессом совершенствования трудового потенциала должностных лиц таможенных органов представлен на рисунке 1.

II. Модель управления и совершенствования трудового потенциала должностных лиц таможенных органов

Представим реализацию и внедрение системы управления и совершенствования трудового потенциала как процесс и разделим его на соответствующие этапы: планирование, выполнение, проверка, последующие действия. Эту последовательность называют циклом Деминга [1].

Этап планирования начинается с определения результата процесса (требуемый уровень трудового потенциала).

Рис. 1. Система управления и совершенствования трудового потенциала должностных лиц таможенных органов (источник: составлено авторами)

Следующий шаг – установление цели процесса.

Цель процесса должна быть ориентирована, в первую очередь, на удовлетворенность качеством оказываемой услуги государства и участников ВЭД, как основных потребителей результатов деятельности таможенных органов.

Анализ зарубежной литературы по менеджменту и управлению качеством [2-8], международных и государственных стандартов (ISO 9000, ISO 9001, ГОСТ Р 50646-2012, ГОСТ Р 50691-2013, ГОСТ Р 52113-2014), законодательства Российской Федерации и комплексной программы развития Федеральной таможенной службы России (далее – ФТС России) на период до 2020 года позволяют определить основные показатели качества таможенных услуг:

- адекватность – отражает соответствие параметров модели и соответствующих свойств моделируемого объекта;
- правомерность – является качественной характеристикой фактических действий, деятельности, отражающей их правовой (правомерный) характер;
- результативность – показывает степень реализации запланированной деятельности и достижения запланированных результатов;
- оперативность – отражает способность вовремя принимать ключевые решения, делать правильные выводы и эффективно их реализовать;

©2019 ИПУСС РАН, СамГТУ, IEEE

- технологичность – является одной из комплексных характеристик, выражающих качество выполнения таможенных услуг с точки зрения технологий.

После установления требований и характеристик качества таможенных услуг проводится анализ на их соответствие общей стратегии развития таможенных органов. Согласно Комплексной программе развития ФТС России на период до 2020 года главной задачей таможенных органов является клиентоориентированность с одновременным повышением уровня добросовестности участников ВЭД, основанного на добровольном соблюдении таможенных правил [9].

Комплексная программа призвана обеспечить автоматизацию бизнес-процессов, связанных с таможенным администрированием, и взаимодействие таможенных органов с бизнесом преимущественно в электронном виде, сократить временные и финансовые издержки для участников ВЭД и повысить эффективность таможенного контроля.

Исходя из вышеперечисленного можно сделать вывод, что основной целью системы управления и совершенствования трудового потенциала является совершенствование процессов таможенного администрирования, повышения конкурентоспособности российских участников ВЭД на международном рынке и инвестиционной привлекательности государства на основе формирования нового, более совершенного трудового потенциала должностных лиц таможенных органов.

Для оценки результативности процессов необходимо использовать определенную систему показателей. Все значения показателей должны устанавливаться на основе анализа их выполнения на данный момент, с учетом постепенного улучшения.

Следующим шагом является определение входных данных в процесс, т.е. текущего состояния. На этом этапе проводится анализ текущего состояния трудового потенциала, количественных и качественных характеристик персонала, анализ системы внутренних и внешних факторов, уровень удовлетворенности потребителей услуг, анализ требований и ожиданий потребителей, SWOT анализ деятельности таможенных органов, проводятся анкетирования, опросы и т.д.

Далее в процессе планирования разрабатывается механизм реализации процесса, включающий его документирование. Эта работа включает обработку имеющейся нормативно-правовой базы, определение необходимости разработки процедур (порядка действий при осуществлении операций) и непосредственно их разработку, а также определение перечня недостающих документов и их разработку.

Перечень предложенных документов представлен на рисунке 2.

Рассмотрим более подробно регламент выполнения процесса.

При внедрении процессного подхода к управлению одной из важнейших задач является регламентация процессов. Регламентация процессов означает создание документов, определяющих:

Рис. 2. Документы, используемые при управлении процессом

- полномочия и ответственность руководителей процесса по управлению процессом;

- спецификацию границ процесса (поставщики / входы, потребители / выходы);

- согласованные требования к входам и выходам процесса;

- спецификация ресурсов (количественные и технические требования к ресурсам), необходимых для выполнения процесса;

- описание технологии выполнения процесса;

- матрицу ответственности по процессу.

Таким образом, регламент процесса (бизнес-процесса) – это один из видов документов, который разрабатывается в процессе проектирования системы управления организацией. Регламент говорит о последовательности выполнения работ, их очередности и результатах отдельных блоков работ. Часто регламент процесса содержит методическую информацию о том, как выполнять процесс [10].

Этап планирования – многогранный и трудоёмкий, но от того, насколько правильно спланирован процесс, будет зависеть вся дальнейшая работа.

Следующий этап в управление процессом – организация и выполнение работ.

На этом этапе происходит разработка и создание системы отношений как между отделами, так и между отдельными сотрудниками. Составляются регламенты по взаимодействию, определяется распределение задач, обязанностей и ресурсов. Проводится отработка существующих и разработанных бизнес-процессов, координация реализации планов и целей.

На этапе организации и выполнения работ происходит управление взаимодействием персонала, использование технических средств и координация работы в рамках экономических отношений.

Основная цель мероприятий – подготовка и обеспечение выполнения запланированных действий и достижение запланированных целей.

На данном этапе необходимо осуществлять регулярный обмен информацией по процессу. Вся информация должна быть прозрачной для его участников (цели, показатели, документация по

процессу, осуществляемые записи, результаты мониторингов и измерений, информация от потребителей, результаты анализа всех данных по процессу и т.д.). Для этого следует максимально использовать все доступные информационные системы. Все заинтересованные участники должны знать, где получить ту или иную информацию.

Кроме того, руководителю процесса необходимо проводить систематический анализ достаточности процесса в части ресурсного обеспечения.

Ещё один важный этап управления процессом – осуществление контроля его деятельности (рисунок 3).

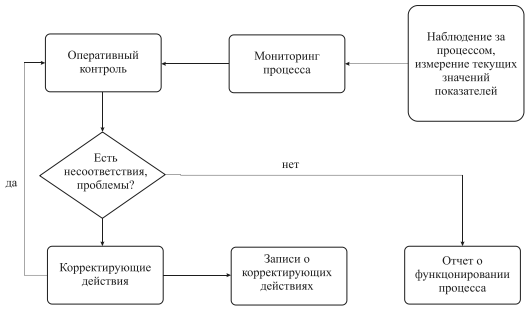


Рис. 3. Контроль процесса

Основным способом получения данных о функционировании процессов является мониторинг процессов, поэтому контроль основывается на осуществлении мониторинга, регистрации данных и расчета результативности. Мониторинг – это система наблюдений за состоянием процесса, дающая возможность наблюдать его в развитии, оценивать, оперативно выявлять результаты воздействия различных внешних факторов. Результаты дают возможность получить истинную информацию о функционировании и вносить корректировки по управлению процессом. В случае появления несоответствий или потенциальной угрозы их появления предпринимаются корректирующие и предупреждающие действия.

Перейдем к последнему этапу - постоянное улучшение процесса.

Здесь следует отметить, что улучшение качества – это непрерывная деятельность, и усилия по повышению качества должны быть направлены на постоянный поиск возможностей по улучшению.

Для этого необходимо уметь давать оценку результативности осуществленных действий (качества результатов (по показателям), удовлетворенности потребителей (информация от потребителей) и качества осуществляемого менеджмента процесса (насколько правильно и результативно организована процедура осуществления управления процессом: качество входных данных в процесс; достаточность ресурсов и регламентации действий (документированных процедур); результативность процесса; анализ причин, выявленных несоответствий; осуществление обратной связи с потребителем; управление рисками)).

Модель диагностирования процесса представлена на рисунке 4. Необходимо систематически анализировать все данные по процессу.

Рис. 4. Схема диагностирования процесса

III. Заключение

Изучение процесса должно проходить на постоянной основе. В результате такого изучения необходимо:

1) уметь идентифицировать проблемы и устанавливать их причины;
2) находить области для улучшений;
3) устанавливать лучшую практику осуществления действий;
4) разрабатывать, осуществлять и оценивать результативность корректирующих / предупреждающих действий.

Отсутствие системного подхода к управлению приводит к опасности возникновения разрыва между реальным качеством продукции (в нашем случае – таможенные услуги) и результативностью и завышенной информацией о результатах и качестве, предоставляемой только на основе системы показателей.

Таким образом, для эффективного осуществления управленческих действий с трудовым потенциалом, на наш взгляд, целесообразно использовать методологию системного анализа. Это связано с тем, что трудовой потенциал представляет собой организованное целое, в котором составляющие его элементы взаимоопределяются и взаиморазвиваются в процессе трудового поведения, благодаря чему он получает функциональную ценность.

Список литературы

[1] Портер М. Международная конкуренция / пер. с англ. под ред. В. Д. Щетинина. М. : Международные отношения, 1993. 896 с

[2] Elmar Sauerwein , Franz Bailom, Kurt Matzler, Hans H. Hinterhuber, ”THE KANO MODEL: HOW TO DELIGHT YOUR CUSTOMERS”, Vol. I, International Working Seminar on Production Economics, Innsbruck: academic, 1996.

[3] M. Young, The Technical Writer’s Handbook, Mill Valley, CA: University Science, 1989.

[4] Dauw-Song Zhu, Chih-Te Lin, Chung-Hung Tsai, Ji-Fu Wu A, ”STUDY ON THE EVALUATION OF CUSTOMERS’ SATISFACTION - THE PERSPECTIVE OF QUALITY”, International Journal for Quality research, pp. 105-116, 2009.

[5] C.H. Yang, ”The Refined Kano’s Model and its Application”, Total Quality Management, Vol. 16, No. 10, pp. 1127–1137, 2005.

[6] Kurt Matzler, H. Hans, Hinterhuber, ”How to make product development projects more successful by integrating Kano's model of customer satisfaction into quality function deployment”, Technovation, Volume 18, Issue 1, pp. 25–38, January 1998.

[7] M.A. Kaulio, ”Customer, consumer and user involvement in product development: A framework and a review of selected methods”, TOTAL QUALITY MANAGEMENT, Vol. 8, Is. 1, pp. 141-149, February 1998

[8] A. Griffin, Jr. Hauser, ”The voice of the custo+mer”, Marketing science, Vol. 12, Is. 1, pp. 1-27, 1993..

[9] Комплексная программа развития ФТС России до 2020 года (http://customs.ru/index.php?option=com_content&view=article&id=25512&Itemid=2727)

[10] Кибанов А. Я., Митрофанова Е. А., Эсаулова И. А. Экономика управления персоналом: учебник / под ред. А. Я. Кибанова. М. : ИНФРА-М, 2016. 427 с.

Многопродуктовая нелинейная модель рынка макроэкономической системы

Чернышев С.Л.
Московский государственный технический енверситет им. Н.Э.Баумана
Москва, Россия
chernshv@bmstu.ru

Грибов А.Ю.
ООО «Киберплат»
Москва, Россия
info@cyberplat.ru

***Abstract* — A nonlinear dynamic web-based model of the market, taking into account possible overproduction or shortage, is given. Its use in combination with the L. Valras model allowed us to obtain a multi-product model of the market link of the economic system, the output variable of which is the price of products corresponding to general equilibrium.**

Ключевые слова — макроэкономика, модель рынка, спрос, выпуск, динамика цены

I. Введение

В условиях рыночной экономики при свободной конкуренции рыночная цена определяется спросом и предложением. При моделировании макроэкономической системы [1,2] важное место занимает модель рынка. К таким моделям относится модель общего равновесия Л.Вальраса [3], развитая в модели Эрроу-Дебрё [4], которую можно применить и для макроэкономики. Эта модель предполагает равновесие на рынке, при котором спрос равен предложению. Однако в динамике такое равновесие существует лишь короткий промежуток времени, но на деле может возникать и неудовлетворенный спрос (дефицит товара) и остатки товара [5]. Кроме этого, зависимость рыночной цены от спроса и предложения на практике имеет нелинейный характер. Целью настоящей статьи является разработка такой модели рынка, в которой бы учитывалось множество продуктов, а также нелинейный характер рынка.

II. Нелинейная модель

Зависимость отношения рыночной цены p к равновесной цене p_{eq} от разности между спросом D и предложением S на свободном конкурентном рынке имеет вид, изображенный на рис.1.

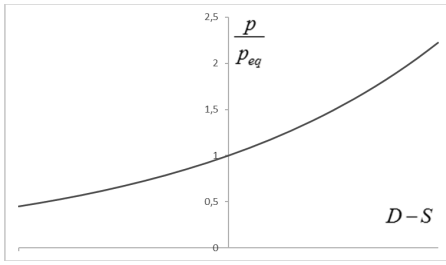


Рис. 1. Зависимость рыночной цены от спроса и предложения

Как видно, эта зависимость нелинейная. Справа от вертикальной оси имеет место дефицит, а слева – остаток товара.

Механизм изменения рыночной цены таков: если есть дефицит товара, то на свободном рынке повышается цена, а если возникает переизбыток товара, то цена вынужденно снижается.

Пусть в k-ый день разница между спросом и предложением составила

$$\Delta Q(k) = D(k) - S(k) .$$

Если $\Delta Q(k) > 0$, следовательно, спрос превысил предложение и на следующий день цена снижается. Если $\Delta Q(k) < 0$, в конце дня остался остаток товара, который вместе с новой поставкой должен быть продан на следующий день. Если при этом уровень спроса не изменится, для продажи необходимо снизить цену. В целом этот механизм можно описать уравнением

$$p(k) = p(k-1)\exp[\gamma \Delta Q(k-1) / p_{eq}], \qquad (1)$$

γ - эластичность цены по запасу.

Это уравнение определяет динамику изменения цен от прироста остатка (дефицита) не только вблизи точки равновесия, но и при ощутимых отклонениях от нее. Отметим, что при $\Delta Q \to 0$ экспоненту в (1) можно аппроксимировать линейной зависимостью, более известной в литературе. Однако для других значений ΔQ расхождения нелинейной и линейной моделей увеличиваются по мере удаления от равновесия – как при большом дефиците, так и при больших запасах.

III. Модель динамики цены с учетом спроса и предложения

Рассмотрим теперь модель многопродуктового рынка с учетом производителя и потребителя. Этот учет состоит в том, что в модель введены дополнительные уравнения:

уравнение, описывающее производственную функцию

$$S_i = S_{i0}(N_i / N_{i0})^{\alpha_{i1}} (K_i / K_{i0})^{\alpha_{i2}} ; \qquad (2)$$

©2019 ИПУСС РАН, СамГТУ, IEEE

уравнение, описывающее прибыль производителя

$$P_i = S_i p_{yi} - p_1 N_i - p_2 K_i;$$

а также уравнение для функции полезности

$$U = \prod_{i=1}^{n} D_i^{\beta_i};$$

и уравнение бюджета потребителя

$$B = \sum_{i=1}^{n} p_{yi} D_i,$$

где p_{yi} - цена на i – й продукт, p_1 и p_2 - цены на трудовые ресурсы N_i и основные фонды K_i, соответственно, $S_{i0}, N_{i0}, K_{i0}, \alpha_{1i}, \alpha_{2i}$ - коэффициенты производственной функции, β_k - коэффициенты функции полезности.

В формуле (2) учтем, что при неизменной технологии справедливы соотношения $N_0 / K_0 = N / K$. Тогда $S_i = S_{i0}(N_i / N_{i0})^{\alpha_i}$, где $\alpha_i = \alpha_{i1} + \alpha_{i2}$ - эластичность производства.

Если учесть при этом, что производитель стремится к максимизации своей прибыли, то есть

$$P_i = \max,$$

то на многопродуктовом рынке оптимальное предложение на i – й продукт будет определяться следующим выражением:

$$S_i = p_{yi}^{\frac{\alpha_i}{1-\alpha_i}} S_{i0}^{\frac{1}{1-\alpha_i}} \left(\frac{\alpha_i}{N_{i0} p_1 + K_{i0} p_2} \right)^{\frac{\alpha_i}{1-\alpha_i}}, \quad (3)$$

В [6] найдено, что из условия максимизации полезности при имеющемся у потребителя бюджете B, то есть $U = \max$ при постоянном бюджете B, следует, что оптимальный спрос на i – й продукт со стороны потребителя равен величине

$$D_i = \frac{B}{p_{yi}} \frac{\beta_i}{\sum_{k=1}^{n} \beta_k}. \quad (4)$$

Подставляя (4) и (3) в (1), получаем

$$p_{yi}(k) = p_{yi}(k-1) \exp\{\gamma[\frac{C_i}{p_{yi}(k-2)} - p_{yi}(k-1)^{\frac{\alpha_i}{1-\alpha_i}} A_i]/ p_{eq}\}, \quad (5)$$

$$C_i = \frac{B\beta_i}{\sum_{k=1}^{n} \beta_k}, \quad A_i = S_{i0}^{\frac{1}{1-\alpha_i}} \left(\frac{\alpha_i}{N_{i0} p_1 + K_{i0} p_2} \right)^{\frac{\alpha_i}{1-\alpha_i}}.$$

Выражение (5) является уравнением модели и определяет динамику изменения рыночных цен (при k - момент времени) на многопродуктовом рынке с учетом затрат, производственной функции и стремления производителя к максимизации прибыли, а также бюджета и функции полезности потребителя и его стремления максимизировать полезность при покупке.

IV. Анализ динамики цен

В случае изменения цен на производственные факторы (трудовые ресурсы и основные фонды) меняются, как видно из (3), и выпуски. При этом меняются и цены на товары (5). При изменении бюджета потребителя изменяется спрос (4), и рыночные цены также изменяются, что также следует из (5).

Так, согласно закону убывающей отдачи производства при экстенсивном расширении эластичность производства $\alpha_i < 1$. Поэтому при повышении покупательной способности конечного потребителя, т.е. с ростом бюджета B, как видно из (5), возрастают цены на товары, и, как следует из (3), возрастает и предложение.

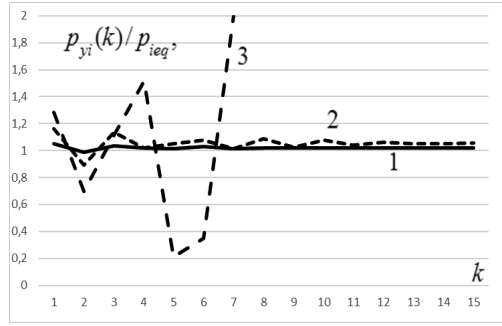


Рис. 2. Динамика изменения цены при увеличении бюджета потребителя на 10% (кривая 1), 30% (2) и 50%(3)

На рис.2 приведен пример изменения цены для $\alpha_i = 0{,}8$ при приросте бюджета потребителя в момент равновесия на рынке на 10% 30%, 50%. В первом и втором случаях цена устанавливается с разным временем установления примерно на 2% и 5,5% выше прежней, а в третьем динамика изменения цены оказывается неустойчивой (расходящейся), что говорит о том, что резкие изменения бюджета потребителя могут вызвать кризис.

На рис.3 показано изменение выпусков в первых двух случаях. В первом случае в установившемся режиме выпуск увеличивается примерно на 8%, а во втором – на 23%.

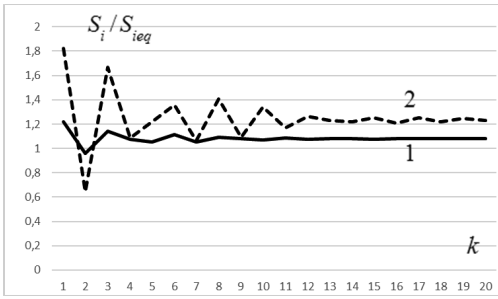


Рис. 3. Динамика изменения выпусков при увеличении бюджета потребителя на 10% (кривая 1), 30% (2)

При росте цен на трудовые ресурсы и производственные фонды растут цены и на товары.

На рис.4 показано изменение цены на товары при повышении цены p_1 на трудовые ресурсы N_i и цены p_2 на основные фонды K_i на 10% и 30%.

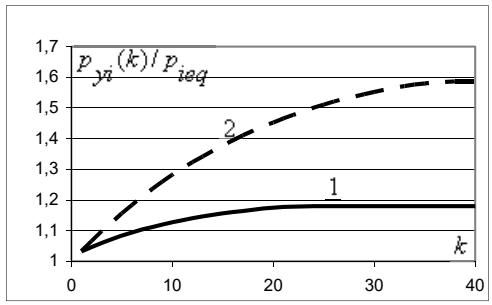


Рис. 4. Динамика изменения цены при увеличении цен на производственные факторы на 10% (кривая 1), 30% (2)

Из этих графиков видно, что цены на товары со временем устанавливаются на новом уровне. При увеличении цены на производственные факторы на 10% уровень цены на товары повышается в этом примере на 18%, а в случае увеличения на 30% цена на товары повышается примерно на 60%. Такое непропорциональное повышение объясняется тем, что одновременно с изменением выпусков изменяется и спрос, который с повышением цены снижается. Следует отметить и то, что в отличие от кривых на рис.2 и рис.3, рост цены на товары на рис.4 происходит плавно, без периодических колебаний. В то же время рост цены на товары, то есть инфляция, становится больше, чем при таком же увеличении бюджета потребителей. Из этого можно сделать вывод, что рост цен на производственные факторы более критичен для рынка.

V. Заключение

Рассмотренная модель рыночного звена может быть применена, как часть общей макроэкономической модели, представляющей собой замкнутую систему управления с многочисленными обратными связями. Входными переменными такого звена являются предложение, формирующееся в производственном секторе, и спрос, формирующийся в потребительском секторе, а выходной переменной является рыночная цена. Динамика ее изменения в макроэкономической модели и будет описывать инфляционный процесс. Подобная модель рынка может применяться для разных секторов макроэкономики: производство потребительских товаров и услуг, производство средств производства, топливно-энергетический комплекс, кредитно-финансовый сектор и др.

Список литературы

[1] Петров А. А., Поспелов И. Г., Шананин А. А. Опыт математического моделирования экономики. – М.: Энергоатомиздат, 1996, 544 с.

[2] Blanchard Olivier. Macroeconomics.-7th Ed. – Pearson, 2016, 572 p.

[3] Экономическая теория / Под ред Камаева В.Д. – 8-е изд. – М.: ВЛАДОС, 2002, 640с.

[4] Arrow, K. J. Debreu, G. The Existence of an Equilibrium for a Competitive Economy". Econometrica. 22 (3), 1954, pp. 265–290.

[5] Neylor Tomas H. Computer simulation experiments with models of economic systems. John Wiley & Sons Inc. New York, London, Sydney, Toronto, 1971, 502p.

[6] Чернышев С.Л. Моделирование экономических систем и прогнозирование их развития. – М: Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2002, 232с.

Методика создания нейросетевой модели для решения задач классификации по оптимизации пожарных рисков

Чупакова А.О.
ФГБОУ ВО Академия ГПС МЧС России
Москва,Россия
bazarovaann@gmail.com

Гудин С.В.
ФГБОУ ВО Академия ГПС МЧС России
Москва, Россия
sergey.gudin@firerisks.ru

Хабибулин Р.Ш.
ФГБОУ ВО Академия ГПС МЧС России
Москва, Россия
kh-r@yandex.ru

***Abstract* — the main drawbacks of the existing models used in decision support systems in the field of fire safety management of industrial facilities are Identified. Given the rationale for the use of intellectual systems of support of decision-making, in particular, neural network technology for optimization of existing systems to support managerial decision-making. An array of objects with different combinations of fire protection systems and geometric parameters was generated. The technique of neural network classification of objects of protection on a set of factors for optimization of values of fire risks is presented.**

Ключевые слова — пожарная безопасность, искусственный интеллект, искусственные нейронные сети, машинное обучение, пожарный риск.

I. Введение

Обеспечение пожарной безопасности — одна из важнейших функций любого государства. В современном мире эта проблема стоит достаточно остро ввиду того, что технический прогресс в градостроительной деятельности значительно превосходит возможности пожарной охраны в области профилактических мероприятий и тушения возникающих пожаров. Для оптимизации профилактических мероприятий, повышения их эффективности, во всем мире активно внедряется риск-ориентированный подход [1], позволяющий распределить все объекты по категориям риска и скорректировать график проведения профилактических мероприятий. Зачастую, руководителями объектов проводится независимая оценка пожарного риска (аудит пожарной безопасности) [2], в которую включается расчет пожарного риска при несоответствии объекта защиты требованиям пожарной безопасности. Тем не менее, проблемы в области управления пожарной безопасностью остаются актуальными и требуют эффективного и своевременного решения.

II. Применение искусственных нейронных сетей для решения задач классификации

В пожарной охране основным параметром обеспечения безопасности является соответствие объекта защиты требованиям пожарной безопасности, указанным в технических регламентах и нормативных документах.

Для выявления вопросов и проблематики разработки систем поддержки управленческих решений в области пожарной безопасности были проанализированы работы ученых, занимающихся данной тематикой.

В работах [3-9] Топольского Н.Г., Мешалкина Е.А, Бутузова С.Ю., Федорова А.В., Хабибулина Р.Ш. и некоторых других поднимается проблематика применения информационных технологий для создания автоматизированных систем пожарной безопасности, систем поддержки принятия решений в области управления пожарной безопасностью различных объектов защиты в целом, связанная с недостаточностью информационных ресурсов, и программного обеспечения в данной области.

В работах Брушлинского Н.Н., Соколова С.В., Буркова В.Н., Бакирова И.К., Сметанкиной Г.И. и др. [10-13] проводились исследования в области оценки пожарной опасности объектов защиты и управления пожарными рисками, и возможностях ее совершенствования, что говорит об актуальности исследования данной проблематики и необходимости её детального изучения.

Некоторыми авторами проводился анализ пожаров, их причин и последствий и основных проблем в области пожарной безопасности. В работе [14] автор провел исследование пожаров нефтегазовой отрасли. Результаты исследования показали, что, зачастую, объектом пожара является технологическая установка или оборудование, в то время, как источник зажигания возникает при нарушении технологического процесса или же нарушении техники безопасности при проведении ремонтных или обслуживающих работ. Это еще раз подчеркивает, что главная проблема сводится к эффективному управлению как персоналом так и технологическим процессом в целом, ввиду того, что процесс автоматизации производства предполагает уменьшение количества персонала и размещение технологического оборудования на значительно меньших площадях. Это, в свою очередь, значительно повышает степень ответственности лица, принимающего управленческие решения. Своим исследованием автор показал, в первую очередь, существующую опасность производственных объектов для населения, а так же недостатки, существующие в системе управления объектами защиты.

Одной из основных проблем в области оценки пожарной безопасности объектов защиты, а также расчета пожарных рисков является неопределенность.

Проблема неопределенности и неточности при расчете рисков рассматривалась достаточно большим количеством ученых, работающих в данной области [15, 16]. Эти проблемы связаны с неполнотой или неточностью исходных данных, неверным выбором

©2019 ИПУСС РАН, СамГТУ, IEEE

сценария развития пожара или неверной аварийной ситуации, множеством этапов по расчету риска (рис. 1). Также много вопросов вызывает несовершенство методов самих расчетов и использующихся моделей. Например, в работе [18] приводятся методы шкалирования и оптимизации неопределенности. Не смотря на то, что для каждого типа неопределенности или определенности существуют количественные значения, как таковая, критериальная шкала отсутствует, что не позволяет с точностью определить степень значимости каждого типа неопределенности. Учеными предлагается много различных методик, основанных на теории надежности или же вероятностных представлениях, методе прецедентного подхода, но ни одна из них не в состоянии полностью избавиться от проблемы неопределенности.

Рис. 1. Схема этапов по расчету пожарного риска.

Несомненно, что такое количество проводимых этапов значительно увеличивает время проведения расчетов и их трудоемкость. Помимо этого, каждый этап связан с определенной расчетной моделью, что приводит к возникновению погрешностей на каждом их этапов и искажает конечный результат.

Безусловно, что целесообразность и эффективность принимаемых управленческих решений помогает, в значительной степени, снизить риск и последствия чрезвычайных ситуаций, возникающих на объектах защиты, но как понять какое именно решение является наиболее эффективным и целесообразным?

В работах [18, 19] рассматриваются возможности применения нейросетевых технологий в управлении социальными и экономическими системами. В работах приводится описание различных типов задач, решаемых искусственными нейронными сетями (далее - ИНС). Указывается довольно широкий спектр их применения для оптимизации систем поддержки принятия решений в различных сферах деятельности.

Искусственные нейронные сети нашли свое применение в различных областях науки: медицина, экономика, биоинформатика и др. Помимо этого, их активно внедряют руководители корпораций для оптимизации рабочего процесса и сокращения времени, затрачиваемого на анализ имеющейся или же поступающей информации, поиск эффективных управленческих решений, а также решение задач прогнозирования.

Применение технологий искусственного интеллекта на основе искусственных нейронных сетей в системах поддержки принятия управленческих решений в области управления пожарной безопасностью поможет устранить неопределенности, вызванные погрешностью при проведении расчетов пожарных рисков за счет отсутствия необходимости полноты исходных данных. Помимо этого, при помощи ИНС возможно формирование эффективных комбинаций мероприятий систем противопожарной защиты объектов, а также генерирование эффективных управленческих решений типовых объектов или технологических процессов за счет имеющегося массива статистических данных и постоянного самообучения сети. Подобный программный модуль, встроенный в систему поддержки принятия управленческих решений, поможет значительно ускорить процесс расчета пожарных исков на объекте защиты, повысить его эффективность и точность, снизить себестоимость из-за отсутствия необходимости приглашения экспертов данной области "со стороны".

III. Методика создания нейросетевой модели для решения задч классификации

Основным этапом, при использовании искусственных нейронных сетей является их обучение. Если провести его некачественно, то получить адекватный результат будет просто невозможно. На данный момент существует два вида обучения ИНС: с учителем и без учителя [20].

Важнейшим этапом при обучении нейросетей является создание качественного массива входных данных обучающей выборки. Массив входных данных, для решения поставленной задачи, включает в себя перечень технологических объектов с различными комбинациями характеристик. Генерирование массива происходит в соответствии с алгоритмом, в котором в качестве технологических установок было принято решение использовать резервуары вертикальные стальные для хранения нефти и нефтепродуктов различных модификаций. В качестве используемых мероприятий принимаются: обвалование, дыхательная арматура, автоматическая пожарная сигнализация, автоматическая установка пожаротушения, вероятность пребывания человека в зоне технологической установки, расстояние от местонахождения человека до установки. При этом, каждое мероприятие имеет свой интервал числовых значений.

На начальном этапе необходимо прописать параметры технологического оборудования. Допускаем, что максимальное число итераций не превышает 10 000 и прописываем условия для каждого из трех видов резервуаров: резервуар вертикальный стальной (РВС), резервуар вертикальный стальной с понтоном (РВСП), резервуар вертикальный стальной с плавающей крышей (РВСПК). Для каждого технологического объекта задаются численные параметры, соответствующие наличию/отсутствию определенных мероприятий на технологической установке.

Таким образом, при помощи вышеуказанного алгоритма, генерируются объекты для массива обучающей выборки. Алгоритм генерирования объектов со случайным набором мероприятий представлен на

рис. 2, в котором представлены следующие условные обозначения: K – количество объектов; H – высота точки координат; W – ширина точки координат; O – генерирование массива технологических установок; O [i] – генерирование массива резервуаров; Da - дыхательная арматура; Ot – остальные типы установок пожаротушения; As – автоматическая пожарная сигнализация; At – автоматическая установка пожаротушения; P – вероятность нахождения человека в зоне поражения; L – расстояние от человека до технологического объекта; M – массив сгенерированных проектов.

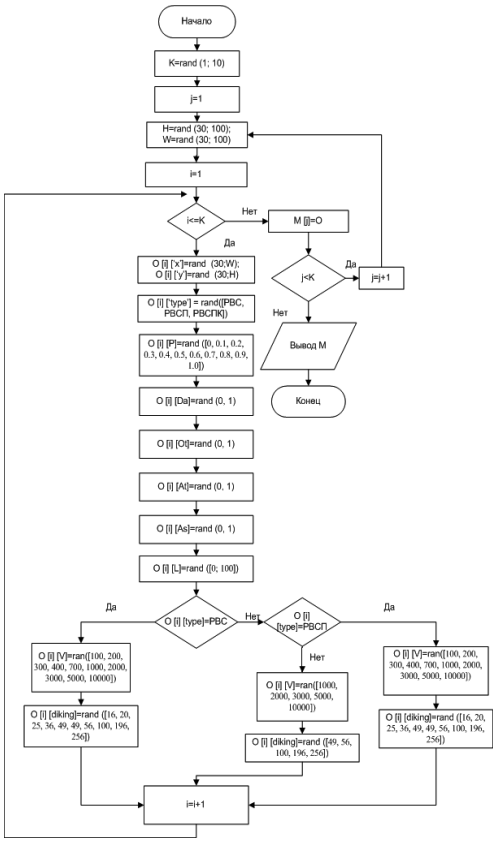


Рис. 2. Алгоритм генерирования технологических объектов.

Следующим этапом обучения является распределение веса каждого входного нейрона ИНС. Так как у нейросетей отсутствует четкая вычислительная логика, основным критерием важности значения каждого значения является его вес.

В качестве инструмента, при помощи которого возможно целесообразное распределение весов, применяется метод регрессионного анализа, применение которого обусловлено тем, что с его помощью возможно определение статистической зависимости нескольких независимых переменных (мероприятий) на зависимую переменную (величина значения пожарного риска).

В соответствии с полученными значениями происходит распределение весов связей нейронов входного слоя — чем большее влияние мероприятие оказывает на конечное значение риска — тем больший вес данное мероприятие имеет в структуре сети.

Так как нейросеть умеет работать только с числовыми показателями, помимо распределения весов необходима нормализация данных, т.е. перевод в числовые значения, а после — масштабирование, подразумевающее приведение каждого показателя в числовое значение в интервале [-1; 1].

После того, как массив данных объектов сгенерирован, целесообразно приступать непосредственно к обучению самой нейронной сети. При успешном завершении обучения нейросеть сможет, по определенным параметрам технологического процесса, определять степень его опасности и предлагать комбинации мероприятий, направленных на снижение значений пожарного риска на объектах защиты.

Методика нейросетевой классификации состоит из нескольких этапов. На начальном этапе, при помощи метода регрессионного анализа сгенерированного массива данных, происходит выборка комбинаций мероприятий, имеющихся на технологических установках, наиболее значительно влияющих на величину значения пожарного риска объекта защиты.

Следующим этапом является непосредственно обучение. Для решения задачи классификации возможно применение метода обучения "Без учителя" при помощи метода опорных векторов. Данный метод подразумевает разграничение основной плоскости, в которой находятся данные гиперплоскостями. Полученный массив данных задается сети, которая, в процессе обучения, самостоятельно производит классификацию полученных значений в соответствии с определенными критериями значимости.

После завершения обучения нейросети необходимо ее тестирование и корректировка обучения (при необходимости). Необходимо помнить, что чем выше должна быть точность результатов, тем большее количество объектов необходимо задать в качестве тренировочных. Для проверки работоспособности в качестве входных данных задается объект с определенным набором мероприятий и, в случае эффективного обучения, нейросеть должна определить степень опасности данного объекта защиты в случае возникновения чрезвычайной ситуации.

Это особенно важно учитывать при проектировании объектов или их реконструкции, так как имеющихся мероприятий может быть недостаточно или же в избытке, что влияет на экономический эффект эксплуатации объекта.

Помимо этого, данный модуль поможет лицу, ответственному за принятие управленческих решений подобрать наиболее эффективную модель в короткий срок, основываясь на решениях, принимаемых на типовых объектах и их последствиях.

IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Определена методика обучения искусственных нейронных сетей для решения задач классификации. Составлен алгоритм генерирования объектов со случайным набором комбинаций противопожарной защиты объектов. Были сделаны следующие выводы:

-применение технологий искусственного интеллекта на основе искусственных нейронных сетей в области управления пожарной безопасностью объектов защиты может решить проблему устранения неопределенности при расчете пожарных рисков различными методиками, возникающей из-за неточных или же некорректных исходных данных;

-структура нейросети предусматривает автоматический процесс "доработки" исходных значений на основе результатов обучения. Помимо этого, с применением данной технологии, не требуется привлечение сторонних экспертов для формирования списка мероприятий, направленных на снижение значения пожарного риска объекта защиты, что значительно понижает себестоимость расчетов, и временные затраты, а также, повышает их эффективность за счет исключения человеческого фактора;

-применение искусственных нейронных сетей в системах поддержки принятия управленческих решений в области пожарной безопасности позволит в короткие сроки генерировать эффективные, а главное, применимые к конкретному объекту защиты решения.

В качестве направления дальнейшего исследования предлагается создание массива данных обучающей выборки для известных технологических установок и оборудования, с учетом имеющихся мероприятий противопожарной защиты объектов. Обучение модели нейросети в соответствии с обновленными данными, а также использование данной модели при расчете пожарного риска на объектах защиты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

[1] Федеральный закон "О защите прав юридических лиц и индивидуальных предпринимателей при осуществлении государственного контроля (надзора) и муниципального контроля" от 26.12.2008 N 294-ФЗ (последняя редакция).

[2] Постановление Правительства РФ от 12.04.2012 N 290 (ред. от 21.12.2018) "О федеральном государственном пожарном надзоре" (вместе с "Положением о федеральном государственном пожарном надзоре").

[3] Топольский, Н.Г. Моделирование автоматизированных интегрированных систем безопасности объектов [Текст] / Н.Г. Топольский, А.В. Фирсов, А.Т. Рвачев, А.В. Слабченко // Труды XV международной конференции «Проблемы управления безопасностью сложных систем». – 2007. – Т. 2. – С. 79-83.

[4] Тетерин, И.М. Применение систем поддержки принятия решений руководителями оперативных подразделений при тушении пожаров в крупных городах [Текст] / И.М. Тетерин, Н.Г. Топольский, В.М. Климовцов, Ю.В. Прус // Технологии техносферной безопасности. – 2008. – № 4. – С. 20-26.

[5] Разанов, М.Р. К вопросу анализа риска на объектах топливноэнергетического комплекса [Текст] / М.Р. Разанов, Н.Г. Топольский // Пожаровзрывобезопасность. – 2007. – № 2. – С. 29-33.

[6] Holland, J.N. Adaptation in Natural and Artificial Systems [Text]: an introductory analysis with applications to biology, control, and artificial intelligence. / J.N. Holland. – Univ. Michigan Press. – 1975.

[7] Топольский Н. Г., Арзуманян Р. В. О возможности использования нейрокомпьютеров в автоматизированных системах безопасности. Материалы 1-й международной конференции ИСБ-1992 //М.: Международная академия информатизации. – 1992.

[8] Тетерин И. М. и др. Применение систем поддержки принятия решений руководителями оперативных подразделений при тушении пожаров в крупных городах //Технологии техносферной безопасности. – 2008. – №. 4. – С. 20.

[9] Мешалкин Е. А. К вопросу автоматизации информационной поддержки действий должностных лиц на пожаре/Мешалкин ЕА, Крылов АГ, Олейников ВТ, Абрамов АП //Материалы. – 2002. – Т. 11. – С. 11-13.

[10] Топольский Н. Г., Арзуманян Р. В. О возможности использования нейрокомпьютеров в автоматизированных системах безопасности. Материалы 1-й международной конференции ИСБ-1992 //М.: Международная академия информатизации. – 1992.

[11] Шевцов Сергей Александрович, Каргашилов Дмитрий Валентинович, Быков Илья Альбертович К методике определения расчетных величин пожарного риска наземных резервуаров с нефтепродуктами // Вестник ВИ ГПС МЧС России. 2017. №1 (22). URL: https://cyberleninka.ru/article/n/k-metodike-opredeleniya-raschetnyh-velichin-pozharnogo-riska-nazemnyh-rezervuarov-s-nefteproduktami.

[12] Бакиров И. К., Садыкова З. Х. Совершенствование методики оценки показателя пожарной опасности на нефтеперерабатывающем заводе //Пожарная безопасность: проблемы и перспективы. – 2016. – Т. 1. – №. 1 (7).

[13] Бакиров И. К., Халиуллина И. Р. О сложностях определения пожарного риска и угрозы жизни людей от пожара // Пожаровзрывобезопасность. 2015. №1. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/o-slozhnostyah-opredeleniya-pozharnogo-riska-i-ugrozy-zhizni-lyudey-ot-pozhara.

[14] Хабибулин, Р.Ш. Разработка научно-исследовательских компьютерных информационных систем в области управления пожарной безопасностью [Текст] / Р.Ш. Хабибулин, Д.В. Шихалев, О.С. Малютин, С.В. Гудин // Труды XXII Международной научной конференции «Проблемы управления безопасностью сложных систем». – М., 2014. – С. 344-347.

[15] Колесников Е.Ю., Теляков Э.Ш. О роли методологии анализа риска в управлении пожарной и промышленной безопасностью // Вестник Казанского технологического университета. 2015. №1. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/o-roli-metodologii-analiza-riska-v-upravlenii-pozharnoy-i-promyshlennoy-bezopasnostyu.

[16] Янковский И.Г., Бушнев Г.В., Смирнова А.М. О новом подходе оценки риска к управлению промышленной безопасностью потенциально опасных объектов // Научно-аналитический журнал «Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России». 2016. №2. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/o-novom-podhode-otsenki-riska-k-upravleniyu-promyshlennoy-bezopasnostyu-potentsialno-opasnyh-obektov.

[17] Петрова Н.В., Чешко И.Д., Галишев М.А. Анализ практики экспертного исследования пожаров на объектах хранения нефти и нефтепродуктов // Научно-аналитический журнал «Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России». 2016. №3. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-praktiki-ekspertnogo-issledovaniya-pozharov-na-obektah-hraneniya-nefti-i-nefteproduktov.

[18] Тетерин Д. А., Хабибулин Р. Ш., Гудин С. В. Обзор применения искусственных нейронных сетей в управлении социальными и экономическими системами //Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Экономика. Информатика. – 2018. – Т. 45. – №. 3.

[19] Станкевич Т. С., Бутузов С. Ю., Рыженко А. А. Разработка алгоритма реализации нейро-нечетких моделей элементов процесса принятия решений руководителем при тушении пожаров в морских портах //Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2016. – №. 6 (113).

Кузнецов Н. А. и др. Нейронные сети, их применение и принципы работы //Modern Information Technology–Сучасні Інформаційні Технології 2017. – Одеса: ОНПУ, 2017. – Т. 2. – С. 11-12.

Индекс авторов
Author index

А

Агадуллина, А.И. 340
Агафонов, А.А. 200
Акулов, В.А. 178
Алехин, М.Д. 211
Алиев, А.Г. 349
Андрюшин, А.В. 206
Анохин, Д.А. 102
Антипов, А.С. 59
Асанов, А.З. 354
Атаев, С.Г. 264
Атаманюк, О.В. 359
Ахмедзянов, Д.А. 154
Ахтямов, Р.Н. 171

Б

Байков, Р.А. 30
Батаев, В.В. 362
Батищев, В.И. 178
Бежаева, О.Я. 21, 403
Белоглазов, Д.А. 63
Белопухов, В.Н. 117
Белоусов, А.И. 122
Блюмин, С.Л. 367
Бобряков, А.В. 312
Богомолов, А.В. 211
Бойков, И.В. 126
Большаков, А.А. 378
Боргест, Н.М. 9
Борисов, В.В. 217, 229, 312
Боровик, С.Ю. 117
Боровкова, Г.С. 367
Боровых, П.А. 293
Бородинов, А.А. 200
Бочкарев, А.В. 188
Буканова, Ю.В. 183
Булгакова, Д.В. 221, 225
Быков, Д.Е. 15

В

Вайнштейн, С.Н. 111
Васильев, Е.М. 96
Васильев, М.В. 293
Васильев, С.Б. 221
Васяйчева, В.А. 373
Вешнева, И.В. 378
Виленский, А.Р. 175
Войку, И.П. 383
Воронин, Н.В. 272
Ворох, Д.А. 136
Выходцева, Е.А. 418

Г

Габдуллина, Э.Р. 278
Гаврилова, А.А. 387, 392
Гаранин, О.И. 229
Гафаров, Р.Р. 255
Гашенко, Ю.В. 107
Гвоздев, В.Е. 21, 403
Герасимов, Б.Н. 373
Герасимова, И.Б. 398, 409
Гилев, И.В. 503
Глотова, Т.В. 429
Глущенко, А.И. 74, 234
Головнин, О.К. 15
Горбунова, Ю.Н. 516
Городецкий, А.Е. 69
Грибов, А.Ю. 548
Гримайло, А.Ю. 306
Губанов, Н.Г. 171
Гудин, С.В. 551
Гусева, М.Н. 418

Д

Дадоян, Р.Г. 154
Данилин, А.И. 136
Данилушкин, И.А. 268
Даринцев, О.В. 80
Дашевский, В.П. 211
Демина, А.И. 479

Е

Еременко, Ю.И. 239
Еремин, А.В. 132

Ж

Жуков, В.В. 132
Жуков, С.В. 136

З

Забержинский, Б.Э. 183
Зайцева, А.А. 30
Закиева, Е.А. 278
Земляков, В.А. 111
Зобнин, П.Ю. 188

И

Иванова, И.Ф. 483
Иващенко, А.В. 15, 244
Ильясов, Б.Г. 409

К

Кадасев, Д.А. 272
Калмыкова, О.Ю. 516
Карамзина, А.Г. 409
Карпова, Н.Е. 414
Кецко, Ю.Л. 249
Кий, К.И. 102
Киндаев, А.Ю. 467
Киселев, Д.В. 42
Ковалев, И.А. 284
Коваленко, А.М. 221
Коготкова, И.З. 418
Колобова, Е.А. 423
Колоденкова, А.Е. 249
Колпащиков, Л.А. 461
Коновалова, В.Г. 455
Корганова, О.Г. 140
Корнеева, А.А. 145
Краснова, С.А. 59
Кревский, И.Г. 429
Кривулин, Н.П. 126
Крутолевич, С.К. 293, 297
Кузина, Г.П. 508
Кузнецов, В.А. 140
Курбанов, В.Г. 69
Куркина, В.В. 158
Куссый, М.Ю. 435

Л

Лада, А.Н. 255
Лазарев, В.С. 63
Лазарев, Ю.Н. 162
Ланге, П.К. 149
Ларюхин, В. 46
Ласточкин, К.А. 74
Леонидов, А.В. 221, 225
Лещева, Д.В. 260
Ливщиц, М.Ю. 441
Лиманова, Н.И. 264
Лобачев, В.В. 508
Лукьянов, Е.П. 297
Луферов, В.С. 217, 312
Львович, И.Я. 26
Львович, Я.Е. 26
Лысенко, Д.С. 268
Ляпин, С.А. 272

М

Майоров, И. 46
Макарова, Е.А. 278
Малахова, А.И. 483
Мартинов, Г.М. 284
Мартыненко, Е.Г. 446
Мартынов, В.В. 30
Мартышкин, А.И. 301
Марьясин, О.Ю. 36
Машков, А.В. 178, 183
Мельников, Е.В. 188
Меньших, В.В. 289
Мигранов, А.Б. 80
Миляков, Д.А. 86

Мирский, А.В. 450
Мисник, А.Е. 293, 297
Митрофанова, А.Е. 455
Митрофанова, Е.А. 455
Михайлов, А.Е. 154
Михайлов, В.В. 461
Михайлова, А.Б. 154
Михеев, Ю.В. 171
Моисеев, А.В. 467
Моисеева Т.В. 471, 475
Морев, А.С. 107, 171
Муратова, В.В. 149
Мухачев, А.Д. 461
Мышкина, И.Ю. 354
Мясников, В.В. 200
Мятишкин, Ю.В. 475

Н
Насырова, Р.А. 21
Ненашев, А.В. 534
Нестеров, А.Ю. 479
Никитин, А.В. 166
Никулина, Н.О. 306, 483
Новожилова, И.В. 331
Новокщенов, С.Г. 249

О
Одинцов, В.П. 171
Орлов, С.П. 92
Орлова, Е.В. 489
Осипенко, У.Ю. 158
Останков, Н.А. 446

П
Павлов, О.В. 497
Павловский, В.Е. 102
Панфилова, И.Е. 414
Пащенко, Д.В. 301
Петров, В.А. 74, 234
Пиявский, С.А. 42
Подвальный, С.Л. 96
Подлипнов, П.Е. 117
Подопросветов, А.В. 102
Полещенко, Д.А. 239
Политова, Г.А. 111
Попов, А.И.
Преображенский, А.П. 26
Преображенский, Ю.П. 26
Прокопенко, С.А. 293, 297
Пугачев, А.И. 92
Пушнина, А.А. 63
Пьянков, О.В. 503

Р
Ремонтов, А.П. 423
Ризаева, Ю.Н. 272
Русинов, Л.А. 158

С
Сагитова, Л.А. 392
Сазонова, Е.Ю. 340
Салов, А.Г. 387, 392
Санду, И.С. 383
Свиридов, В.П. 162
Свистунов, В.М. 508
Седельников, А.В. 122, 512
Секисов, Ю.Н. 117
Семенова, В.А. 260
Серебрянникова, Е.Е. 221, 225
Сидоренко, К.В. 107
Симонова, Е. 46
Синев, М.П. 301
Ситников, П.В. 15, 244
Скобелев, О.П. 117
Скобелев, П. 46
Сметанина, О.Н. 340
Смирнов, С.В. 260
Смордин, Д.В. 446
Солдаткин, В.В. 166
Солдаткин, В.М. 166
Соловьев, В.В. 63
Спиридонова, Н.Е. 289
Старцева, Е.Б. 306
Степанец, Д.В. 132
Стефанцов, А.Г. 312
Сурнин, О.Л. 15, 244
Сусарев, С.В. 92, 107
Суятинов, С.И. 317
Сысоев, А.С. 322, 367

Т
Тарасова, И.Л. 69
Терентьев, А.А. 503
Трегубов, Д.О. 221
Трокоз, Д.А. 301
Трубицын, К.В. 516, 539
Тупицына, О.В. 446
Тупоносова, Е.П. 441, 522
Тюрин, Е.А. 188

Ф
Федорова, А. 378
Филимонов, А.В. 111
Филосова, Е.И. 30
Финаев, В.И. 63
Фотиади, А.Э. 111
Франк, Е.В. 15, 441

Х
Хабибулин, Р.Ш. 551
Хаджиева, С.В. 526
Хамидуллина, А.Е. 403
Хасанова, Н.В. 398
Хнырева, Е.С. 512
Хорина, А.А. 244
Христодуло, О.И. 403
Хрящев, В.В. 534, 539, 544

Ц
Цапенко, М.В. 441
Цуриков, Г.Н. 206
Цыганков, Ю.А. 239

Ч
Червоннова, Н.Ю. 284
Черепашков, А.А. 327
Черняховская, Л.Р. 306
Чернышев, С.Л. 175, 548
Чжан, Е.А. 145
Чигирева, И.В. 423
Чистякова, Т.Б. 331
Чопоров, О.Н. 26
Чупакова, А.О. 551

Ш
Шайдуров, В.В. 145
Шаповалов, И.О. 63
Шарапов, Р.В. 335
Шарапова, Е.В. 335
Шараухова, А.Г. 327
Шахвердиева, Р.О. 52
Шигина, Н.А. 423
Ширяев, О.В. 30

Щ
Щеглеватых, Р.В. 322
Щербатов, И.А. 206

Ю
Юсупова, Н.И. 340

Я
Якимов, В.Н. 178, 183
Яловенко, О. 46
Ярославкин, А.Ю. 188
Ярославкина, Е.Е. 149, 188

A
Andreeva, E.I. 195

H
Horaždťovský, P. 3

K
Kozhevnikov, S. 3

P
Paramonov, N.B. 195
Poludov, D. 3
Pogorelskih, X. 3

S
Slavin, O.A. 195
Svítek, M. 3

Научное издание

Труды XXI Международной конференции
Том II

ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЯ В СЛОЖНЫХ СИСТЕМАХ

3-6 сентября 2019, Самара, Россия

Редакторы:
С.А. Никитов, Д.Е. Быков,
С.Ю. Боровик, Ю.Э. Плешивцева

Proceedings of the XXI International Conference

COMPLEX SYSTEMS: CONTROL AND MODELING PROBLEMS

September 3-6, 2019, Samara, Russia

Editors:
S.A. Nikitov, D.E. Bykov,
S.Yu. Borovik, Yu.E. Pleshivtseva

Подписано в печать _____г.
Формат 70x100/16. Бумага офсетная. Печать офсетная.
Объём 45,5 усл. печ. л. Тираж 300 экз. Заказ № _____.

Издательство ООО «Офорт».
443080, Самара, ул. Революционная, 70, лит. 3, оф. 405-02.
Тел.: 973-70-80, 973-70-55
e-mail: ofort-samara@mail.ru

Отпечатано в типографии ООО «Офорт».