Российская академия наук
Институт проблем управления сложными системами

Труды XX Международной конференции

Proceedings of the XX International Conference

ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЯ В СЛОЖНЫХ СИСТЕМАХ

COMPLEX SYSTEMS: CONTROL AND MODELING PROBLEMS

3-6 сентября 2018, Самара, Россия

September 3-6, 2018, Samara, Russia

Редакторы:

Академик Е.А. Федосов

Академик Н.А. Кузнецов

Д.т.н. С.Ю. Боровик

Editors:

Academician E.A. Fedosov

Academician N.A. Kuznetsov

Dr.Tech.Sc. S.Yu. Borovik

ИЗДАТЕЛЬСТВО
ОФОРТ
Самара 2018

УДК 519.7
ББК 32.817
П78

П78 **Проблемы управления и моделирования в сложных системах:** *Труды XX Международной конференции* (3-6 сентября 2018 г. Самара, Россия) / Под ред.: акад. ***Е.А. Федосова***, акад. ***Н.А. Кузнецова***, д.т.н. ***С.Ю. Боровика***. - Самара: ООО «Офорт», 2018.– 576 с.

ISBN 978-5-473-01200-2

В сборнике содержатся труды XX Международной конференции «Проблемы управления и моделирования в сложных системах», распределенные по направлениям: методы управления и оптимизации в сложных технических системах, процессы управления в обществе, интеллектуальные технологии в сложных системах, проблемы разработки и реализации сложных информационных и киберсистем, измерения, контроль и диагностика в экстремальных условиях, биокибернетика и биоинформатика, цифровое сельское хозяйство и агрокибернетика.

УДК 519.7
ББК 32.817

ISBN 978-5-473-01200-2

© Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем управления сложными системами Российской академии наук, составление, оформление, 2018
© Оформление ООО «Офорт», 2018
© Все права принадлежат авторам публикуемых работ, 2018

The XX International Conference ”Complex Systems: Control and Modeling Problems” (CSCMP’2018), was held on September 3-6, 2018 in Samara (Russia) by the National Committee of Automatic Control of Russia, Institute for Control of Complex Systems of Russian Academy of Sciences (ICCS RAS) with the participation of the Volga Region University of Telecommunications and Informatics and SEC “Smart Solutions” (Samara, Russia).

The Conference was funded by Russian Foundation for Basic Research
according to the project № 18-08-20068

The conference reports were presented on the following sections:

- Control and Optimization Methods in Complex Technical Systems;
- Management Processes in the Society;
- Intellectual Technologies in Complex Systems;
- Measuring, Control and Diagnostics in Extreme Conditions;
- Biocybernetics and Bioinformatics;
- Problem of the elaboration and implementation of complex informational and cyber systems;
- Digital agriculture and agrocybernetics.

The scientists from universities and research institutes of Azerbaijan, Germany, Latvia and Israel participated at the conference. The Russian participants represented the Russian Academy of Sciences, research institutes, universities, research and development centers, enterprises and governmental authorities.

XX Международная конференция «Проблемы управления и моделирования в сложных системах» (ПУМСС-2018) проводилась в г. Самаре (Россия) с 3 по 6 сентября 2018 года Российским Национальным комитетом по автоматическому управлению, Институтом проблем управления сложными системами Российской академии наук (ИПУСС РАН) при участии Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики, а также научно-производственной компании «Разумные решения» (г. Самара).

Конференция получила финансовую поддержку Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 18-08-20068)

На конференции были представлены доклады по следующим направлениям:

- Методы управления и оптимизации в сложных технических системах;
- Процессы управления в обществе;
- Интеллектуальные технологии в сложных системах;
- Измерения, контроль и диагностика в экстремальных условиях;
- Биокибернетика и биоинформатика;
- Проблемы разработки и реализации сложных информационных и киберсистем
- Цифровое сельское хозяйство и агрокибернетика.

В конференции приняли участие ученые из университетов и научных учреждений Азербайджана, Германии, Латвии и Израиля. Отечественные ученые представляли Российскую академию наук, научно-исследовательские институты, вузы, научно-производственные объединения и промышленные предприятия страны, органы государственной власти.

ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ КОНФЕРЕНЦИИ

1.	*Боровик С.Ю.*	д.т.н., ИПУСС РАН, г. Самара, *Председатель*
2.	*Смирнов С.В.*	д.т.н., ИПУСС РАН, г. Самара, *Заместитель председателя*
3.	*Моисеева Т.В.*	к.э.н., ИПУСС РАН, г. Самара, *Учёный секретарь*
4.	*Васильев С.Н.*	академик РАН, ИПУ РАН, г. Москва
5.	*Гречников Ф.В.*	академик РАН, СамНЦ РАН, г. Самара
6.	*Золотухин Ю.Н.*	д.т.н., ИАиЭ СО РАН, г. Новосибирск
7.	*Ильясов Б.Г.*	д.т.н., УГАТУ, г. Уфа
8.	*Инден У.*	проф., Кёльнский университет г. Кёльн, Германия
9.	*Кузнецов Н.А.*	академик РАН, г. Москва
10.	*Лупи С.*	проф., Падуанский университет, г. Падуя, Италия
11.	*Мау Й.*	проф., Университет им. Г.Гейне, г. Дюссельдорф, Германия
12.	*Мишин Д.В.*	д.т.н., ПГУТИ, г. Самара
13.	*Наке Б.*	д-р., Институт электротехнологии Университета им. Лейбница, г. Ганновер, Германия
14.	*Новиков Д.А.*	чл.-корр. РАН, ИПУ РАН, г. Москва
15.	*Рапопорт Э.Я.*	д.т.н., ИПУСС РАН, г. Самара
16.	*Ржевский Г.А.*	проф., Открытый университет, г. Лондон, Великобритания
17.	*Себряков Г.Г.*	чл.-корр. РАН, ФГУП ГосНИИАС, г. Москва
18.	*Скобелев П.О.*	д.т.н., АО «Группа компаний «Генезис знаний», г. Самара
19.	*Соловьев В.А.*	чл.-корр. РАН, ОАО РКК «Энергия», г. Королёв
20.	*Федосов Е.А.*	академик РАН, ФГУП ГосНИИАС, г. Москва
21.	*Филимонов Н.Б.*	д.т.н., МГУ им. М.В. Ломоносова, г. Москва
22.	*Шевченко С.Н.*	чл.-корр. РАН, ФГБНУ "Самарский НИИСХ", г. Самара

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ КОНФЕРЕНЦИИ

1.	*Боровик С.Ю.*	д.т.н., ИПУСС РАН, г. Самара, *Председатель*
2.	*Смирнов С.В.*	д.т.н., ИПУСС РАН, г. Самара, *Заместитель председателя*
3.	*Моисеева Т.В.*	к.э.н., ИПУСС РАН, г. Самара, *Учёный секретарь*
4.	*Гвоздев В.Е.*	д.т.н., УГАТУ, г. Уфа
5.	*Губанов Н.Г.*	к.т.н., СамГТУ, г. Самара
6.	*Клещев А.С.*	д.ф.-м.н., ИАиПУ ДВО РАН, г. Владивосток
7.	*Кузнецов С.В.*	ИПУСС РАН, г. Самара
8.	*Кустова М.Н.*	к.т.н., ПГУТИ, г. Самара
9.	*Матюшин М.М.*	д.т.н., ФГУП ЦНИИМАШ, г. Королёв
10.	*Орлова Л.В.*	к.э.н., НП «НДСЗ», г. Самара
11.	*Плешивцева Ю.Э.*	д.т.н., ИПУСС РАН, г. Самара
12.	*Соколов В.О.*	к.т.н., СамНЦ РАН, г. Самара
13.	*Чекалов Л.Л.*	к.т.н., ООО «Транс-Мобил-Спедишн», г. Самара

CONTENTS
СОДЕРЖАНИЕ

Plenary Papers
Пленарные доклады

1. *J. Mau* 3
On Mathematics of Human-body System Dynamics in Social Context

2. *С.Ю. Боровик, П.О. Скобелев* 13
Конвергенция наук и технологий на пути к цифровому обществу Society 5.0

3. *Д.В. Горбунов, А.Ю. Нестеров* 22
От «ракеты» к «граалю»: модели развития экономической среды в логике НТИ

4. *С.И. Кретов* 29
Процессы управления в обществе.
К вопросу об интеллектуальной составляющей экономики России,
переводимой на цифровые технологии

5. *С.Ф. Сергеев* 34
К проблеме техномодификации и интеграции человека в техногенном мире

6. *В.В. Шпак* 40
Пути развития российского информационно-технологического комплекса
«в обгон» мировых лидеров

Control and Optimization Methods in Complex Technical Systems
Методы управления и оптимизации в сложных технических системах

1. *M. Baldan, A. Nikanorov, B. Nacke* 45
Multi-stages optimization analysis in designing
of a surface hardening induction process

2. *M. Birjukovs, A. Jakovics, A. Klokovs* 51
Luminaire design and optimization using ray tracing simulations

3. *D. Köppen, E. Baake, P. Vontobel* 57
Influence of electromagnetic stirring on formation of macro-crystalloid structure
of solidifying gallium

4. *M. Schulze, A. Nikanorov, B. Nacke* 61
Successive approach to numerical shape optimization
of transverse flux heating induction coil

5. *С.А. Белоконь, Ю.Н. Золотухин, М.Н. Филиппов* 68
Представление аэродинамических характеристик летательного аппарата
с использованием нечеткой кластеризации полетных данных

6. *В.В. Бирюк, В.В. Урлапкин, Л.П. Шелудько, С.А. Гулина* 74
Технологическая газотурбинная электростанция промышленных предприятий

7. *Е.М. Воронов, Я.Н. Михопаркин, В.А. Серов, С.И. Сычев, А.М. Савчук* 79
Генетический алгоритм многокритериальной оптимизации
траекторного управления противокорабельной ракетой

8. *В.Е. Гвоздев, Б.Г. Ильясов, А.С. Давлиева, В.В. Тесленко* 86
Влияние структурных решений на компенсацию последствий от проявления дефектов в компонентах аппаратно-программных комплексов

9. *В.Е. Гвоздев, Л.Р. Черняховская, Д.В. Блинова* 93
Системообразующие факторы стадий жизненного цикла систем обработки данных

10. *О.М. Горбачева, А.С. Боровский* 101
К вопросу разработки автоматической системы управления процессом очистки отработанного масла на двигателе тепловоза

11. *Е.А. Дёмина, Г.Н. Коробкова, О.И. Лахин, Е.А. Мартынчев* 106
Подход к долгосрочному планированию программ научно-прикладных исследований на российском сегменте Международной космической станции с применением мультиагентных технологий и онтологий

12. *А.Н. Дилигенская* 112
Параметрическая оптимизация в обратных задачах теплопроводности в условиях интервальной неопределенности возмущений

13. *А.А. Дьяченко, Д.Я. Иванов, В.Б. Шабанов* 119
Модель применения коалиций интеллектуальных мобильных воздушных роботов в условиях ограниченных коммуникаций на примере решения задачи мониторинга

14. *Д.Я. Иванов, В.Б. Шабанов* 125
Строевая задача в коалициях интеллектуальных мобильных роботов в условиях ограниченных коммуникаций

15. *А.А. Кацурин* 131
Планирование траектории движения автомобилеподобного мобильного робота с помощью телекамеры

16. *А.И. Коваленко, С.В. Смирнов* 138
Анализ аппроксимационных свойств гиперэкспоненциального распределения специального вида

17. *С.И. Колесникова* 145
Распространение метода агрегированных регуляторов на стохастический нелинейный дискретный объект

18. *Е.А. Ларин, М.Ю. Лившиц, Л.П. Шелудько* 151
Особенности применения газотурбогенераторных энергетических установок на тепловых электрических станциях

19. *А.А. Липатов, В.А. Бугаков* 157
Исследование методов выявления групп воздушных объектов на основе неопределённых количественных и качественных данных

20. *Ю.К. Машунин* 163
Векторная оптимизация в сложных технических системах: условия определенности и неопределенности

21. *Д.А. Миляков* 176
Об управлении большой группой беспилотных летательных аппаратов как системой с распределенными параметрами

22. *В.В. Михайлов, М.Б. Игнатьев, Д.В. Кузьмин* 182
Стереотипы движения как элементы интеллектуальной системы управления шагающего робота

23. *О.В. Моргунова* 189
Имитационное моделирование деятельности компании по созданию сайтов и интернет маркетингу

24. *А.И. Никитенко, Е.М. Воронов, А.Л. Репкин* 196
Оптимизация управления активными ресурсами группировки управляемых средств поражения в конфликтной ситуации с группой ракетных катеров

25. *В.В. Попеленков, К.Ю. Котов, А.С. Мальцев* 206
Разработка алгоритма управления траекторным движением группы мобильных роботов

26. *Э.Я. Рапопорт, Ю.Э. Плешивцева* 212
Альтернансный метод в векторных задачах оптимального управления системами с распределенными параметрами

27. *А.Б. Филимонов, Н.Б. Филимонов, А.А. Барашков* 218
Задача перемещения твердого тела группой мобильных агентов

28. *С.В. Хаджиева* 223
Имитационное моделирование производственной деятельности IT-компании

Management Processes in the Society
Процессы управления в обществе

1. *Orkin D.* 231
A new way to study anatomy and effectively manage time amongst med students

2. *М.М. Аббаси* 236
Инструменты эмоционального анализа текстов в процессе управления обществом

3. *А.З. Асанов, И.Ю. Мышкина, Л.Ю. Грудцына* 242
Прогнозирование востребованности компетенций с помощью когнитивных моделей

4. *Г.П. Виноградов, Н.В. Кирсанова, Е.Е. Фомина* 247
Модель целенаправленного субъективно рационального выбора

5. *Б.Н. Герасимов* 255
Исследование и построение моделей управления процессами организаций

6. *Г.И. Горемыкина, Н.А. Щукина, И.Н. Мастяева* 261
Моделирование оценки операционного риска в экспресс-кредитовании

7. *Я.Н. Имамвердиев* 267
Модель координации инвестиций в иерархических системах управления информационной безопасностью

8. *Т.В. Моисеева, Ю.В. Мятишкин* 273
Противодействие правонарушениям посредством внедрения интерсубъективного управления в сообществе собственников многоквартирного дома

9. *Т.В. Моисеева* 279
Поиск смысла в теории интерсубъективного управления

10. *М.В. Цапенко, Е.Н. Кириллова* 285
Синтез критериев системной оценки эффективности инновационных проектов

Intellectual Technologies in Complex Systems
Интеллектуальные технологии в сложных системах

1. *А.Д. Бахмут, В.Н. Коромысличенко, А.В. Крылов, М.Ю. Охтилев, П.А. Охтилев, Б.В. Соколов, А.В. Устинов, А.Э. Зянчурин* 299
Концептуальное моделирование основных компонентов интеллектуальных систем поддержки принятия решений при управлении сложными объектами на всех этапах их жизненного цикла

2. *А.Д. Бахмут, В.Н. Коромысличенко, А.В. Крылов, М.Ю. Охтилев, П.А. Охтилев, Б.В. Соколов, А.В. Устинов, А.Э. Зянчурин* 307
Обзор состояния исследований задач автоматизированного проектирования интеллектуальных систем поддержки принятия решений при управлении сложными объектами на всех этапах их жизненного цикла

3. *А.С. Боровский, Н.А. Шумилина* 314
К вопросу о синтезе системы управления проектами промышленных предприятий

4. *К.П. Брянцева* 321
Имитационное моделирование мультиагентных систем на примере инновационной системы Самарской области

5. *Г.Р. Валиуллина, Д.Н. Демьянов, Р.В. Хаматьянов* 327
Интеллектуальный алгоритм построения обобщённой ранжировки

6. *В.Е. Гвоздев, Д.В. Блинова, Д.Р. Ахметова, Р.А. Насырова* 332
Метод количественной оценки надежности базовых структурных компонентов GRID-систем и определение требований к статистическим характеристикам надежности составляющих их элементов

7. *Ж.С. Гусейнов, Н.М. Боргест* 338
Совершенствование информационного взаимодействия акторов при подготовке конструкторской документации на авиационном предприятии

8. *А.Ю. Катьянов* 344
Применение технологий нейронных вычислений в учебных заведениях с целью определения профессиональной направленности абитуриентов

9. *С.В. Краснов, С.В. Казарин, Н.О. Куралесова* 348
Особенности формирования базы медицинских данных
для интеллектуальной системы диагностики заболеваний

10. *О.Ю. Марьясин* 352
Мультиагентная система управления микроклиматом и энергопотреблением
зданий

11. *Д.Е. Самойлов, В.А. Семенова, С.В. Смирнов* 358
Паттерны структурной организации системы измеряемых свойств
в онтологическом анализе данных

12. *П.О. Скобелев, А.А. Жиляев, О.И. Лахин, И.В. Майоров, Е.В. Симонова* 367
Применение онтологии в мультиагентной системе адаптивного планирования

13. *Ю.А. Скобцов, О.В. Ченгарь* 376
Многокритериальная оптимизация производственного расписания
методом муравьиных колоний

14. *А.В. Царев* 382
Особенности мультиагентного подхода к планированию сетей снабжения

15. *Л.Р. Черняховская, В.Е. Гвоздев, Р.И. Мухаметьянова* 391
Прогнозирование эффективности работы сотрудников
после прохождения разработанных программ обучения

16. *Н.И. Юсупова, О.Н. Сметанина, Е.Ю. Рассадникова* 396
Методы и средства онтологического инжиниринга
в системах поддержки принятия решений транспортного менеджмента

Measuring, Control and Diagnostics in Extreme Conditions
Измерения, контроль и диагностика в экстремальных условиях

1. *В.Н. Белопухов, С.Ю. Боровик, М.М. Кутейникова, П.Е. Подлипнов,* 405
Ю.Н. Секисов, О.П. Скобелев
Принципы построения систем измерения радиальных зазоров
с самокомпенсацией температурных воздействий

2. *В.Н. Белопухов, С.Ю. Боровик, М.М. Кутейникова, П.Е. Подлипнов,* 408
Ю.Н. Секисов, О.П. Скобелев
Функции преобразования одновитковых вихретоковых датчиков и
измерительных цепей с самокомпенсацией температурных воздействий

3. *М.А. Габидулин* 410
Синтез и анализ математических моделей фазовращателей преобразователей
скорости перемещений

4. *А.Н. Жирабок, А.Е. Шумский, Е.Ю. Бобко, А.В. Зуев* 424
Решение задачи аккомодации в нелинейных системах
с использованием линейных методов

5. *В.Н. Якимов, В.И. Батищев, А.В. Машков* 432
Рекуррентный алгоритм оценивания импульсной переходной функции линейной динамической системы на основе метода статистической идентификации и бинарного дискретно-временного представления сигналов

Biocybernetics and Bioinformatics
Биокибернетика и биоинформатика

1. *A.V. Khalyavkin, V.N. Krut'ko* 441
Holistic approach to origin of aging and black box phenomenology of macro-systems behaviour in different environments

2. *S. Vogel, S. Rudolph* 446
Complex System Design with Design Languages: Method, Applications and Design Principles

3. *Р.В. Насыров, А.С. Кружков* 455
Оценка характеристик резонанса длинных трубчатых костей на основе метода функциональных биомеханических проб

Problem of the elaboration and implementation of complex informational and cyber systems
Проблемы разработки и реализации сложных информационных и киберсистем

1. *П.А. Глыбовский, С.В. Новиков, А.М. Сухов* 461
Метод прогнозирования состояния защищенности информационных систем

2. *В.Н. Калинин, А.Г. Ломако, В.А. Овчаров, С.А. Петренко* 467
Метод расследования инцидентов кибербезопасности с использованием профилирования поведения динамических сетевых объектов

3. *С.В. Пилькевич, М.А. Еремеев, Д.Д. Ступин* 481
Синтез системы управления социотехническими системами

4. *Т.Р. Сабиров, Д.Н. Бирюков, А.Г. Ломако* 487
Метод порождения знаний на основе абдуктивного вывода по аналогии

5. *Д.В. Самойленко, М.А. Еремеев, О.А. Финько* 493
Безопасный генератор Q-значных псевдослучайных последовательностей

6. *Д.Д. Ступин, С.А. Петренко, А.Г. Ломако* 499
Научная проблема раннего предупреждения о компьютерном нападении

7. *Д.Д. Ступин, А.Н. Сухарева* 505
Применение мультиагентных технологий при организации научно-производственных кластеров предприятий, ориентированных на разработку и создание наукоемкой продукции

8. *А.М. Сухов, Д.Д. Ступин, А.Г. Ломако* 509
Модель проактивного обнаружения компьютерных атак

9. *А.В. Харжевская, А.Г. Ломако, С.А. Петренко* 513
Метод обеспечения устойчивости
выполнения специальных расчетных программ
в условиях возмущений на основе многослойных инвариантов подобия

Digital agriculture and agro cybernetics
Цифровое сельское хозяйство и агрокибернетика

1. *И.С. Козубенко, С.Н. Косогор* 535
Влияние цифровой экономики на развитие сельского хозяйства

2. *Л.В. Орлова* 541
Создание цифровой платформы базы знаний
на примере комплексного применения инновационных технологий
на основе прямого посева с CTF с целью достижения экономической и
экологической эффективности сельхозпроизводства

3. *Е. Пантелей, Н.А. Гусев, Г.Ю. Вощук, А.В. Желонкин* 548
Разработка программно-аппаратного комплекса управления
группой беспилотных летательных аппаратов
для решения задач предприятий растениеводства

4. *Д.А. Усанов, А.М. Пальчун, К.В. Еремеев* 554
Информационная система «АНТ»: видеть всё, знать необходимое

Authors index 556
Индекс авторов

Plenary Papers
Пленарные доклады

ON MATHEMATICS OF HUMAN-BODY SYSTEM DYNAMICS IN SOCIAL CONTEXT

J. Mau[1, 2]

[1] Heinrich Heine University Düsseldorf,
School of Medicine, Institute of Statistics in Medicine
P.O. Box 10 10 07, 40001 Düsseldorf, Germany
j.mau@hhu.de
[2] iqmeth - Institut für Quantitative Methodik,
Privates Akademisches Beratungsbüro für Forschung und Enwicklung
47800 Krefeld, Germany
iqmeth@t-online.de
phone: +49 (0) 2151-512-9675
fax: +49 (0) 2151-512-9676

Key words: *mathematical biology ; mathematical sociology ; personal motivation; biokybernetik*

Аннотация

Исследуется функциональная структура человеческого организма как системы, и обсуждаются аспекты поведения человека в социальном контексте. В качестве базовой концепции математического описания динамики внутри и вокруг человеческого тела выбирается понятие интенсивности.

Introduction

Civil life in communities, politics, economics, industry and trade, and social life in general, are commonly described as interaction between persons, or groups of persons who share a common attribute, family or origin, occupation, or some common interest. In recent years, human behavior, cognitive ability to control operations and making decisions on options, economic or other, was associated with patterns of brain activity in experimental set-ups [1]. More recently, a holistic viewpoint of whole human-body system was advocated based on the simple observation that human brain does not work independently from whole-body physiology, and that behavior must then be seen as outcome of the whole [1,2].

A function-level approach permits a holistic top-down description of human-body system functionality, starting from a person's whole and continuing to a level-one canonical partitioning into base functional subsystems, the sets of vital, of productive, and of operational functions. Person's behavior as perceived from his or her body's outside-world surroundings emerges from a basically physiological interaction of these canonical subsystems, and dynamics of their interaction then translate into dynamics of person's behavior. With behavior driven by person's operational objectives, response from outside world may not only modify objectives but will also imply backward translation into within-body dynamics – received hits from backfire, or a re-assuring voice in a situation of operational confusion, are two obvious examples. Hitherto, separate concepts were developed for inside and outside world, rooted in biology and in psycho-sociology (or in economics), respectively.

A mathematical theory of effectuation dynamics in a single functionally hierarchical system [3] shall be expanded to interaction of systems in a social context, though without natural or man-made environment. For clarity of exposition, recourse to human-body systems is avoided and *greifbagger* (excavator) for its analogous axiomatic wirk-gefuege and more intuitive canonical wirk-components used as individual, instead; two 'sexes' must then be assumed, one a grab excavator equipped with a grip arm and a grab bucket, the other a shovel dozer.

1 Individual Person

One may then ask, what is “human” about the greifbagger? First, one has to draw a line between the machine in “power off”, and the machine in “power on”, the engine running, and the system - machinery with human operator - in action: only this permits a comparison with a living system that similarly exists for purpose of achieving something, for “productivity” - at the least for “lasting”, in some wide sense, then. It is no incidence, that both systems share a structure of effectuation dynamics, a *wirkgefuege* [3], that consists of three *canonical wirk-components* [1,3], conceptually,

- vital body functions, V ,
- (re-)productivity motor functions, P,
- operational cognitive functions, O,

in their respective material realization, either human body-system's cellular system Z or the engineered product according to construction-machinery technology.

Operations of human body system H are generated in its bio-sphere B(H) = (V, P, O, Z). From a functional viewpoint however, one can abstract from material realization and focus on {H |Z} for person's functioning, and see its operations as outcome from coordination of functioning of its three *canonical wirk-components* $\{V\,|Z\}$, $\{P\,|Z\}$, and $\{O\,|Z\}$. Though $\{P|Z\}$-enacted, a person's operations still emerge from functional interaction of all three, symbolically (with × to denote functional interaction):

$\{H\,|Z\}$-operations ← $\{V\,|Z\} \times \{P\,|Z\} \times \{O\,|Z\}$.

Given the apparatus now, what makes a motivation then for any operational activity that will require coordinated functional interaction of its canonical wirk-components?

Looking at person's H biological body, ***bio-sphere*** B(H), then, its driving forces are **reproduction** and **preservation of physical entirety** [7]; maturation towards the former requires the latter. Life-goal **destiny** is death and the predetermined life cycle is characterized by three phases, maturation in childhood, adulthood, and ageing as a system wear-out. As life is only borrowed, granted for an undetermined while, its termination is always imminent and reasons may be exogenous impact or endogenous component failures, in other words, fatal accidents or lethal disease.

Life needs a life environment that can provide **base life resources**, which are air, water, eatables, space for disposal of organic residuals, and suitable temperature, air pressure, and also space to move. Call this human-body's ***eco-sphere*** of (natural or man-made) habitual environment, denote it by E(H), and imagine an eremitic life in a socially detached location, for illustration of what may be minimal conditions E(H) that permit human body system H to lead a self-sustained life that is exclusively based on H"s own vital capacity $\{V\,|Z\}$, physical potentials $\{P\,|Z\}$ and operational smartness $\{O\,|Z\}$ in exploitation of surrounding resources – given H"s cellular material Z.

There is nothing particularly human in this description, since one can imagine quite similar conditions and needs for an autonomously operating machine-human-operator system, simplest and closest in detail when it involves a steam engine and the grab excavator can dig coal from the ground or get wood from the forest while the human operator lives on what can be done with a grab excavator in farming.

Any more diverse life must be based on social interaction in a community, person H's ***socio-sphere*** of economic opportunities and social embedding, denoted by S (H). A person's adult social life serves three basic purposes: first, **trading** own resources for *person's life-necessaries* supply, second, **learning** from others to improve one's skills for *person's life fitness*, including the cleverness to exploit others in unfair trade, and third, a **gene-pool access** for reproduction to *let “it” last* - the closer social community in particular, and the wider population in general. In an analogous society of engineered systems, the grab excavator then needs another 'sex', e.g. the shovel dozers mentioned above; note that detail on human life mimics is of no concern at this level of exposition.

2 Person in Society

When all that person H needs for a single self-sufficient life after having left parental home becomes "accessible" from exploitation of resources in eco-sphere E(H) by his or her own body-system B(H) abilities, to re-start or seek re-access to social life may not be a priority, even less a vital necessity. So, what may then be a motivation - for example, to either refound one's "own society" as a pioneer-entrepreneur emigrating to new territories (as animals of some species do), or to enter an established society as a work immigrant - even though?

The base motivation will rest in person H's bio-sphere B(H) and driving forces that are operative therein by its design motifs, i.e. life preservation in physical entirety, and also, effective reproduction which — beyond mating — implies to provide offspring with food, shelter and instructions for their own adult-life fitness.

From this view point, social life is sought for an increased **efficiency** that applies both in exploitation of environmental resources to satisfy life-necessaries, and in protection from environmental threats to life or property as come e.g. with natural disasters and hostile wildlife. However, these benefits are not obtained for free: in social life, person H also incurs **extra risks** of loss and deprivation of goods, food, shelter and privileges beyond his or her control, just due to activities of H's socio-sphere S(H) co-inhabitants who may act more like "co-animals" in wildlife or aggressive "cage-mates".

H's ever-present fear or fundamental anxiety about loss of (access to) base resources-for-life – taken here as an interpretation of "life necessities", is simply a consequence of bio-sphere B(H)'s vital driving force, preservation of bio-sphere entirety, and can then be seen as a matching genetic disposition – more or less pronounced in different human-body systems B(H°), H° ϵS(H), and more or less cultivated according to ambitions and aspirations of each – to an expressive *vitality* that marks the differences between personality characteristics of the one and personality characteristics of the others.

Such persisting fear or anxiety drives H to pursue securement of his or her socio-sphere S(H) privileges and access to eco-sphere E(H) resources for self and dependent family according to opportunity and accessibility, in essentially three rather different ways. One is by *amassing* consumable goods or tradable equivalents, creating excess stocks or store in a wide sense, such that some loss does not cause vital harm, by far – the 'very-capitalist option', say, exotic in its extreme forms of giga-fortunes, but by far not rare in milder extent of real fortunes at mega scale or less; another is by *force*, physical or other often law or rule breaking action, to keep intruders, aggressors and other trouble-makers away – the 'violent, so-called "robust" option', say, with its potential to entail legal prosecution, detainment for 'social correction', or at least 'acceptance problems' or ethical ban in social re-integration towards a decent life; when both of these are not a realistic option, H may have to take the common 'dependents' option, say, of law-abiding behavior, socially compliant independent occupation or dependent work as employee, put money back for savings or into insurances, and seek and maintain integration into a supportive network of social groups. When all defenses fail and vital loss is imminent or has occurred, one will have to cope with the consequences, either by re-storation of a status *quo ante* from peculiar compensation or from one's own ability, or by re-installation into previous privileges after a re-habilitation, as applicable, or to suffer in disappointment and hope for the better.

To summarize the above, in due pursuit of benefits from social life, of protection against losses or restoration if loss was suffered, person H must then plan his or her moves, execute the plan, check on its outcome, and adapt according to any goal-outcome mismatch - within socio-sphere S(H), and any activity in such pursuit expresses as bio-sphere B(H) *operations*, is perceived as H's behavior, and then interpreted in H's socio-sphere S(H) as H's *operational intention*. The procedural means available for operations in S(H) are *learning* and *trading* in resource acquisition and *mating* in reproduction.

3 Intensity – The Concept

Velocity is a familiar concept of mechanical physics, known as a change of position in a movement $w(t)$ relative to time spent on a position change $\mathrm{d}w(t)$ during an infinitesimal time interval of length $\mathrm{d}t$:

$$w'(t) = \mathrm{d}w(t) / \mathrm{d}t$$

in a notation for derivative w' of real function $w = [w(t) ; t > 0]$. For application to *change in time* in any more general context, one may want a related concept independent of the unit of measurement of change of position, $\mathrm{d}w(t)$, the *intensity* of an action,

$$\lambda_w(t) = w'(t) / \hat{w}(t) ,$$

with $\hat{w}(t)$ the *residual "path to go"* at time t. Clearly, the dimension of intensity is the reciprocal of dimension of time,

$$[\lambda_w(t)] = 1/[t],$$

and the concept then lends itself to application in any context of dynamics that involves a *current velocity* of on-going 'status' change and a *current deficit* of 'status' change *still ahead*. For completeness, however, one has to introduce a *maximal path length*, $w_{\max}(T)$, say,

$$\hat{w}(t) = w_{\max}(T) - w(t) , \; 0 \le t \le T,$$

that applies during some time interval $[0, T]$.

Intensity is then a dynamic version of the ratio of what had been done over what still has to be done, symbolically,

$$w(t) / \hat{w}(t) ,$$

which is tantamount to the ratio of *relative achievement over relative deficit-to-be-attended-yet,* then,

$$[\, w(t) / w_{\max}(T) \,] : [\, \hat{w}(t) / w_{\max}(T) \,] = w(t) / \hat{w}(t) ,$$

for any t, $0 \le t \le T$.

That kind of ratio is familiar in *metrics of recovery* from over-shoot or *return to normal* after an intervention, for example in a *time series* of measurements of a *clinical 'parameter'*, such as blood pressure or any other physiologically changing variable in human body system: *observed change (improvement) after t time units* of observation over *maximal change (improvement) possible* will be particularly meaningful when absolute sizes of change cannot be compared between different patients because of different baseline values of their individual deficits.

The same conceptual idea underlies the *odds* for chance occurrence of an *event A, say,* in probability theory: when $p(A)$ denotes the probability of observation of A in some random experimentation, then the *odds* of occurrence of A are the probability of occurrence of A relative to the probability of non-occurrence of *A,*

$$p(A) : [\, 1 - p(A) \,] ,$$

also known as *betting odds* in such context.

When $F(t)$ denotes probability of *not* surviving age *t,* say, with respect to a person "drawn at random" from a population in a life-table context, $F(t)$ is a (*probability*) *distribution function* (*df*) and - if differentiable, $f(t) = \mathrm{d}F(t) / \mathrm{d}t$, -

$$\mu(t) = f(t) / [\, 1 - F(t) \,] ,$$

referred to as *force of mortality*, is a probabilistic *intensity* (*function*) of passing away at age *t,* conditional on survival up to time *t.* The analogy can be carried even farther as any distribution function F defines some probability distribution: Hence, with

$$F(t) = w(t) / w_{\max}(T) , \; 0 \le t \le T,$$

one can then associate a '*synthetic probability*' without any contextual randomness; however, one can exploit pertinent probabilistic concepts as for example from reliability theory / survival-data analysis,

in particular those equally based on intensity concepts, such as *exponential-distribution* model's constant hazard assumption, or more interesting ones, as *Weibull* or *Gamma* distributions, can be investigated for their adequacy in some situations. The majorly significant benefit is the availability of a rich 'tool box' of statistical methods for data analysis, then.

4 Behavioral Intensity

Behavior is a person's *physical activity* perceived from an outside-world perspective, and it then needs energy to perform implied human-body movements. Disreading occurrence of erratic bodily movement in some pathologies, person's planned, or spontaneously executed, or automatic movements (so-called *reflexes*) are assumed to serve a *purpose*, volitive or not.

Pursuit of a purpose will then start and end with investing energy, and the evolving time course of dedicated *energy consumption* in such pursuit may be denoted by

$w = [\ w(t)\ ;\quad 0 \le t \le T\ ]$.

Assumption (Exclusion of parallel pursuit or real 'multi-tasking'): In any arbitrarily short time interval [t, t + dt [, human-body system does not act in pursuit of more than one purpose.

Practically speaking, it is assumed that a person's body system can address only one behavioral task at a time, notwithstanding that pursuit of different purposes can change very quickly from one short 'time slice' to the next which may generate a false impression of addressing several tasks simultaneously.

Then, by intent or by circumstances, several purposes may simultaneously be in 'halt' - awaiting the *call-to-immediate-action* in their due pursuit. A closely analogous situation arises in survival and reliability analysis when awaiting occurrence of a multivariate event, for example a component failure in a multi-component engineered system exposed to active service conditions, where it is described as "*being at risk*" for several *causes of failure*, simultaneously.

This assumption introduces a severe limitation in comparison with multi-purpose engineered systems that are designed to do exactly that – address completely different tasks at the same time, the multi-weaponry response of a battle ship under fire from air, sea, and underwater generating a very compelling illustration of such unpleasant situation.

However, discussion of whether and to what extent human-body system may have similar abilities shall be postponed for ease of exposition. For the time being, let an assumed inability of *multivariate pursuit* of multiple purposes be compensated by an ability of *fast-switching pursuit* between multiple purposes that simultaneously demand attention and active response.

Rephrasing the foregoing in a symbolic language, let there be k purposes in concurrent pursuit in time interval [0 , T], and assume for pursuit of each purpose i a *purpose-pursuit-specific* profile w_i of accumulating *energy-demand*, hence also called a *cumulative energy-demand profile,*

$w_i = [\ w_i(t)\ ;\quad 0 \le t \le T\ ],\ i = 1, \dots , k\ ,$

independent of all other pursuits during [0 , T]. Note that demand depends on the chosen approach, the *route of pursuit*, as gasoline demand for car-driving from A to B depends on the chosen roads, but also on adopted *driving behavior* among many other, though often relatively less dominant factors.

At any time t , $0 \le t \le T$, there are k *residual demands*,

$\hat{w}_i(t) = w_{\max,i}(T) - w_i(t)\ ,\ i = 1, \dots , k\ ;$

clearly, for any purpose i , $1 \le i \le k$, the required energy demand $w_{\max,i}(T)$ for its achievement during [0 , T] can only be satisified from a total amount $W]\ 0\ ,\ T\ ]$ of consumable energy during [0 , T] when

$\sum_{i=1, \dots , k} w_{\max,i}(T) \le W]\ 0\ ,\ T\ ]\ ;$

correspondingly, *total residual energy* $W]\ t\ ,\ T\ ]$ available for consumption in pursuit of prevalent purposes in remaining time interval $]\ t\ ,\ T\ ]$ sets a bound to the sum of *residual purpose-pursuit-specific energy demands* $\hat{w}_i(t)$, $1 \le i \le k$,

$\sum_{i=1,\ \dots\ ,\ k}\ \hat{w}_i(t) \le W]\ t\ ,\ T\ ]$.

Assume that first derivatives exist and consider then *purpose-pursuit-specific energy-demand intensity functions* $\lambda_{w,i}$,

$\lambda_{w,i}(t) = \ w_i'\ (t)\ /\ \hat{w}_i(t)\ ,\quad 0 \le t \le T\ ,\ i = 1,\ \dots\ ,\ k\ .$

The concept is very intuitive in car-driving, again, when considering the foot on the accelerator pedal: incremental energy consumption $dw_i(t)$ in an arbitrarily short time interval $[\ t,\ t + dt\ [$ is a product of $[\ t,\ t + dt\ [$-currently accumulating intensity and t-prevalent *residual purpose-pursuit-specific energy demand* $w_i(t)$,

$dw_i\ (t)\ =\ \lambda_{w,i}(t)dt\ \hat{w}_i(t)\ ;$

since w_i is an isotonic (i.e. non-decreasing) function of time t , and $dw_i\ (t) = w_i\ (t + dt\ ) - \ w_i\ (t) > 0$, the representation

$w_i\ (t + dt\ ) = \ w_i\ (t) + \lambda_{w,i}(t)dt\ \ [\ w_{max,i}\ (T) - w_i\ (t)\ ]$

shows intensity as an intuitive *controller variable* in a *feed-back loop* for accelerated or decelerated energy-demanding pursuit of purpose i with an *energy allowance* $w_{max,i}\ (T)$ of the maximally consumable amount of energy during $[\ 0\ ,\ T\ ]$: in other words, as soon as $w_{max,i}\ (T) - w_i\ (t) = 0$ for some $t \le T$, "game i is over". In the control-loop interpretation, t-current residual energy demand $\hat{w}_i(t)$ is known and multiplied by intensity $\lambda_{w,i}(t) > 0$ for incremental energy-consumption in $[\ t,\ t + dt\ [;\ \lambda_{w,i}(t)$ then lends itself easily to entering influencing variables into the equations for complex modeling. For example, game-theory concepts for strategic allocation of total residual energy $W]\ t\ ,\ T\ ]$ among t-prevailing purposes has its entry point here.

5 Functional Human-Body System Dynamics

The preceding section described dynamics of concurrent pursuit of several *operations* - purposeful by definition and competitive in demand for currently accessible energy resources. The operational *agent* is a human body system, which is only relevant for the human social context of operations: As discussed in [1], any person's operations are subject to *social feed-back* from at least four competitively, though not always simultaneously, *compliance-demanding* social environments with a strong, potentially even self-destructive, *stressing potential* from conflicting requirements in a lasting exposure to *social multi-tasking*. Design of *rational* strategies of allocation of resources then becomes a questionable endeavor in a human society and seems better invested in models of operations of *robots* in a *robotic society*.

To motivate the following, consider the "society" of racing cars in an on-going formula-I racing competition. Clearly, all cars on the circuit permanently interact, and specifically, all attention is devoted to only three aspects of concern: speed as an expression of engine performance and its translation onto the road via wheels and tyres, and operational decisions made by the pilot – noteworthily not the pilot himself is of interest, as long as the race is going on. In fact, during the race, car and human operator form a whole, act as a whole and are perceived as a whole – and as matter of fact, if one of the pilots were a real robot one would not care.

Understanding a person and his or her body-system as a physical production system, then, permits simple analogies with cars in a formula-I race, or with active engineered systems of different complexity in general, according to two *function levels*: from the holistic perspective, whole-body (racing car) behavior is some – by far not unique - perception of holistic outside-world expression of interaction of next-level's three *canonical wirk-components* [3] of vital (engine) functions $\{V\ |Z\}$, physical (wheel-tyres) productivity functions $\{P\ |Z\}$, and operational (piloting) functions $\{O\ |Z\}$

within the range of their properties; functional components within each of these three wirk-components are clearly relevant for next-level interactions [4-6] but can be disregarded for the present level of functional granularity.

The *axiomatic wirkgefuege* in [3] is a *synthetic effectuation structure*; it involves a *generic twin-circuit* for supply and demand with *buffer*, and *first-order kinetics* of charge transfers. In built-up of a synthetic functionally hierarchical structure, a generic twin-circuit is imputed for each functional component and a parallel connection of imputed twin-circuits on a common scale created a functional aggregate which – at its scale – takes the role of a functional unit that acts as a logical unit of again the generic twin-circuit form; effectively, several lower-scale logical units are combined into an upper-scale logical unit.

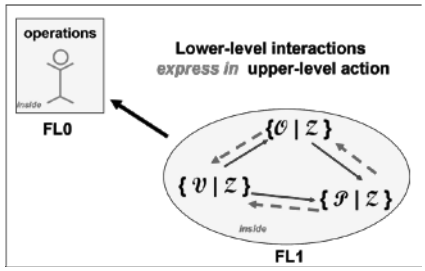


Fig. 1 – Illustration of emergence of behavior as human-body operations from function level-one

The generic twin-circuit: It consists of a *source*, ubiquitous throughout wirkgefuege, with potential difference (voltage) U_0 , and for every single logical unit of the structure, of a *supply-part condenser* of capacity C for buffer storage of *supply charge* $Q_s(t)$ by time t, a *resistor* with resistance $R_s(t)$, the *supply-part resistor*, for passage control of *supply current* (amperage) $I_s(t)$ to the supply-part condenser, and of another condenser, the *demand-part condenser* for charge consumption, conceived as a mirror of the supply-part condenser, with current voltage $U_c(t)$ generated by its current charge $Q_c(t)$ as source for the demand part, and also another resistor, the *demand-part resistor*, with resistance $R_d(t)$ for passage control of *demand current* (amperage) $I_d(t)$ to an *end consumer* with demand wattage $P_e(t)$, cf. Def. 2 in [3]. The generic twin-circuit is depicted in Fig. 2.

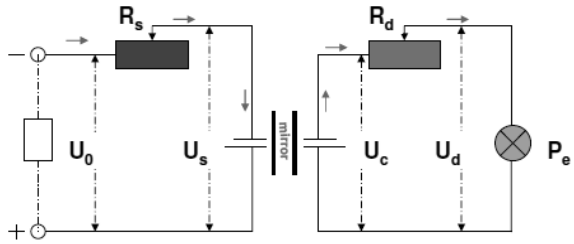


Figure 2: The generic twin-circuit (from [3])

The quadruple $[U_0 , (R_s(t))_{t>0} , C , (Q_s(t))_{t\geq 0}]$ of supply-part components then determines *first-order linear dynamics* of charging the supply-part condenser, and implied *intensity of charging*,

$$\lambda_s(t) = Q_s'(t) \; [U_0 \, C - Q_s(t)]^{-1}$$

takes the form

$$\lambda_s(t) = [R_s(t) \, C]^{-1} ;$$

similarly, the quadruple $[(Q_c(t))_{t\geq 0} , C , (R_d(t))_{t>0} , (P_e(t))_{t>0}]$ of demand-part components determines *first-order quadratic dynamics* of discharging from demand-part condenser and charge transfer to the end-consumer to satisfy a power demand $P_e(t)$; implied *intensity of discharging* from the condenser,

$$\lambda_c(t) = - Q_c'(t) \; [Q_c(t)]^{-1}$$

takes the form

$$\lambda_c(t) = [R_c(t) \, C]^{-1} ,$$

with total resistance $R_c(t) = R_d(t) + R_e(t)$; note that end-consumer's resistance is introduced by its power demand $P_e(t)$. It can be shown to carry over to work involved in respective charge transfers,

$\lambda_s(t) = \lambda_s^w(t)$ and $\lambda_c(t) = \lambda_c^w(t)$.

The serial arrangement of the two resistors in the demand-part implies additivity of respective reciprocals of intensities at the demand-part current control resistor and the end-consumer,

$\lambda_c^{-1}(t) = \lambda_d^{-1}(t) + \lambda_e^{-1}(t)$,

each taken with respect to residual amount of discharge from the condensor at the respective location, $Q_d(t)$ and $Q_e(t)$ with $Q_c(t) = Q_d(t) + Q_e(t)$.

It is then of interest to understand how holistic energy-demand of an effectuation structure – the whole - in pursuit of selected puprposes can be satisfied from partial energy-demands of next-level functionally interacting partial structures. In fact, the question is about effectuation dynamics of a functional aggregate generated in up-scaling from effectuation dynamics of the aggregate's functional components.

Function level zero (FL0) – "the Whole": A generic twin-circuit is assumed for the whole. End-consumer power demand $(P_e(t))_{t>0}$ at whole-body function-level gives then the *coupling* between supply of *consumable power* from within whole-body system and person's holistic energy demand in pursuit of his or her ambitions in body-system outside-world of person's social context, symbolically,

$\lambda_e^w(t)dt$ must match $\lambda_{w,i}(t)dt$

for any t-prevalent pursuit of purpose i . In case of mismatch, pursuit cannot be optimally supported by person's body system.

Function level-one (FL1) – "Canonical wirk-components" of the Whole: Separate copies of the generic twin-circuit, one for each of the three components of vital (engine) functions $\{V\,|Z\}$, physical (wheel-tyres) productivity functions $\{P\,|Z\}$, and operational (piloting) functions $\{O\,|Z\}$, are *connected in parallel,* as shown in Fig. 3.

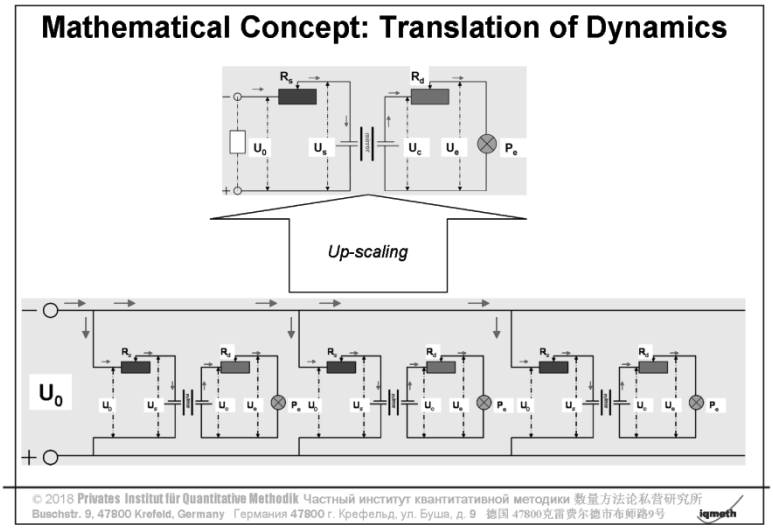


Figure 3 – Schematic triple-circuit in parallel connection of three replicates of the generic twin-circuit of Fig. 2 at Function Level FL1 (bottom) and figurative up-scaling to single twin-circuit at Function Level FL0 (top) (adopted from [3])

Details of the upscaling from function-level one (FL1) to whole body function-level zero (FL0) are given in [3]; for the present exposition it suffices to explain the whole-body end-consumer energy

demand in any short time interval [t , $t + \mathrm{d}t$ [from the end-consumer power (wattage) demands of its FL1 components,

$$P_e^{\mathrm{FL0}}(t)\ \mathrm{d}t\ =\ P_{e\,\cdot}^{\mathrm{FL1}}(t)\ \mathrm{d}t\ ,\ \mathrm{t} > 0\ ,$$

in which the subscripted dot denotes a summation over individual power (wattage) demands of the three wirk-components $\{V\,|Z\}$, $\{P\,|Z\}$, and $\{O\,|Z\}$.

Though built for up-scaling, the significance of this equation appears in a *top-down perspective*:

$$P_{e,\{V\,|Z\}}^{\mathrm{FL1}}(t)\ \mathrm{d}t + \ P_{e,\{P\,|Z\}}^{\mathrm{FL1}}(t)\ \mathrm{d}t + P_{e,\{O\,|Z\}}^{\mathrm{FL1}}(t)\ \mathrm{d}t\ =\ \ P_e^{\mathrm{FL0}}(t)\ \mathrm{d}t\ ,$$

a person cannot (plan to) spend more energy in [t , $t + \mathrm{d}t$ [than what its *canonical wirk-components* jointly permit to spend. Since the equation may falsely suggest that unsatified energy-demand in one component might be compensated with over-supply from one of the other components, one has to recall that behavioral action involves all three FL1 components simultaneously, is then an expression of their interaction,

$\{H\,|Z\}$-operations ← $\{V\,|Z\} \times \{P\,|Z\} \times \{O\,|Z\}$.

Therefore, supply that matches current energy-demand in each FL1 component is still a prerequisite.

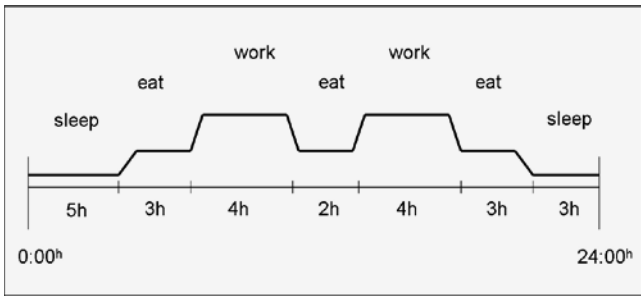


Figure 4 – Schematic power (wattage) demand profile of one person from midnight to midnight (power without a scale) to point to variant involvement of FL1 wirk-components; actual involvement may be more or less highly volatile, even within any of the shown levels of demand

Discussion

An effectuation structure (*wirkgefuege*) is a structure by which effects are generated; effects are changes of physical state, and generation of effects is then mediated by transfer of *charges* of some kind, matter (mass) or energy. Transfers are operated from a *source* to an *end-consumer*, best with a *buffer* in-between to comply with variant end-consumer's demand.

The very particular effectuation structure of axiomatic wirkgefuege [3] adopted here needs some legitimization: It is motivated by the so-called [4-6] *Kybernetic Paradigm* which postulates that the structure of couplings between functional components at all levels of a wirkgefuege, the *schaltgefuege*, is independent of its physical realization [7]. This motivates exploration of wiring diagrams of functionally equivalent engineered systems of comparable complexity. By the same token, re-engineering human-body system's *schaltgefuege* – not body system's *wirkgefuege* made from living cells – from a synthetic wirkgefuege that is considered to be functionally sufficiently 'close' to the real-life biological wirkgefuege, is a legitimate approach.

The present exposition started from a person's perspective and realization of his or her ambitions in society with other persons, though any physical or mental feedback or other kinds of interaction in a more general way – for example, avoiding conflict by evasion – were not considered. Then, a person's demand for energy in pursuit of ambitions was briefly considered from the viewpoint of his or her body's functionally hierarchical structure of effectuation; the intensity concept was seen to be a useful tool since it lends itself easily to a focus on very small – infinitesimal – steps.

Nevertheless, the presented concepts permit an interesting turn of perspective: model person's behavior in society from the viewpoint of physiological wirkgefuege. Which function levels and which of their functional components are involved when one lifts an arm for waving good-bye? What can already be said about a person's interaction with society, his or her behavior then, when one does not go deeper than function level FL1? A few very simple examples are shown in Tab. 1: Only 'on' and 'off' are used to indicate 'functionally active' and 'functionally inactive / disabled', respectively.

This can already be interesting when starting at function-level one: which ambitions can be pursued — other than to raise an arm for waiving a hand — in terms of interaction of wirk-components for emergent properties? With extended specification of function levels and detail within the functional hierarchy, more interesting operational activity can obviously be addressed. See the monograph by Karl Theodor Kalveram [8] for a different and deep treatise of the topic.

Tab.1 – Behavior matrix from function-level FL1 three cannonical wirk-components in 'on' or 'off'

$\{V \mid Z\}$	$\{P \mid Z\}$	$\{O \mid Z\}$	Behavior
On	Off	Off	Coma
On	Off	On	Physically completely dependent; e.g. late stage multiple sclerosis
On	On	Off	Unable to make operational decisions, acts by reflexes only; e.g. head trauma
Off	→Off	→Off	Dead

So, the objectives listed in the Introduction must be seen as a guidance into further elaboration, but the repertoire of mathematical tools has been exposed and the way to go been shown.

Literature

[1] Mau, J.: Behavior, society, and neuroexperimentation. In: Proceedings of The XIX International Conference on Complex Systems: Control and Modeling Problems, 12-15 September 2017, Samara, Russia. Ed. by Acad. E.A. Fedosov, Acad. N.A. Kuznetsov, Prof. V.A. Vittikh. OFORT Ltd., Samara, Russia, pp. 261-272, 2017.

[2] Mau, J.: Chapter 59: Systems Neuroergonomics. In: Advances in Cognitive Neurodynamics (V). Ed. by Wang, R.; Pan, X.; Springer Science+Business Media Singapore, pp. 431-437, 2016.

[3] Mau, J.: Translation dynamics in holistic analysis of functional human-body system. In: Proceedings of the XIII Russian German Conference on Biomedical Engineering, 23-25 May 2018, Aachen, Germany. Ed. By S. Leonhardt; J Biomed Radioelectronics 7: 43-46, 2018. (http://www.radiotec.ru/article/20714)

[4] Mau, J.: Re-engineering human body system controls. In: Proceedings of International Conference on Information Technology and Nanotechnology (ITNT-2016), 17- 19 May 2016, Samara, Russia. CEUR Workshop Proceedings, 2016; 1638: 622-635, 2016.

[5] Mau, J.: Kybernetic modeling of human body system. In: XII RGC'2016 – Proceedings of the 12 th Russian German Conference on Biomedical Engineering, 4-7 July 2016, Suzdal, Russia. Ed. by Sushkova, L.T.; Selishev, S.V.; Yuldashev, Z.M.; Shukin, S.I.; Vladimir State University named after Alexander and Nikolay Stoletovs, Vladimir, Russia, (ISBN 978-5-905527-12-8), pp.11-15, 2016.

[6] Mau, J.: Reducing Complexity in Modeling Human Body. In: Proceedings of The XVIII International Conference on Complex Systems: Control and Modeling Problems, 20-25 September 2016, Samara, Russia. Ed. by Acad. E.A. Fedosov, Acad. N.A. Kuznetsov, Prof. V.A. Vittikh. OFORT Ltd., Samara, Russia, pp. 23-28, 2016.

[7] Sachsse, H.: Einführung in die Kybernetik. Rowohlt Taschenbuch Verlag, Reinbek bei Hamburg, 1974.

[8] Kalveram, K.T.: Wie das Individuum mit seiner Umgebung interagiert. Psychologische, biologische und kybernetische Betrachtungen über die Funktion von Verhalten. Pabst Science Publishers, Lengerich, 1998.

КОНВЕРГЕНЦИЯ НАУК И ТЕХНОЛОГИЙ НА ПУТИ К ЦИФРОВОМУ ОБЩЕСТВУ SOCIETY 5.0[1]

[1]Боровик С.Ю., [1,2]Скобелев П.О.

[1]Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт проблем управления сложными системами Российской академии наук
443020, Самара, ул. Садовая, 61, Россия
borovik@iccs.ru
тел: +7 (846) 333 26 77

[2]Непубличное акционерное общество Группа компаний «Генезис знаний»
129085, г. Москва, ул. Звёздный бульвар, д. 21, стр. 3–I, к. 5, Россия
petr.skobelev@gmail.com

Ключевые слова: *industry 4.0, цифровое общество Society 5.0, интернет вещей и людей, эмерджентный интеллект, эвергетика, онтологии, базы знаний, мультиагентные системы*

Abstract
The fourth industrial revolution named Industry 4.0, combines physical and virtual worlds. The man with his intellect, creativity and will lies beyond this ideology. The new paradigm of Society 5.0 involves the penetration of Artificial Intelligence in man's common life, their "cooperation" with the aim of enhancing the man capacity and the return of the man at the "Centre of the Universe". The paper outlines modern technologies – from internet-of-things (IoT) up to emergent intelligence and evergetics, the convergence of which, according to authors mind, will provide the transformation to digital Society 5.0.

Введение

Благодаря прорыву в технологиях мир стоит на пороге четвертой промышленной революции, получившей в литературе название «Industry 4.0». В ходе реализации концепций «Industry 4.0» кардинально меняются как подходы к проектированию и производству сложных технических изделий, так и представления о роли компьютеров в управлении предприятиями. В первую очередь это касается методов и средств промышленной автоматизации заводов и фабрик, прошедших путь от автоматизации технологических процессов - к интеллектуальной поддержке принятия решений пользователями.

Как известно, термин «Industry 4.0» был введен в 2011 году представителями Германии и определен как средство повышения конкурентоспособности промышленности через усиленную интеграцию «киберфизических систем» (CPS) в производственные процессы [1]. При этом, если 3-4 года назад концепция «Industry 4.0» воспринималась многими как очередной рекламный ход, то сейчас интерес к ней перерос в реальные инвестиции и результаты. По данным исследований PwC к 2020 году годовой объем инвестиций в цифровые технологии в рамках «Industry 4.0» превысит 900 млрд. долларов США [2].

Следует отметить, что до сих пор термин «Industry 4.0» не имеет четкого определения. Очень красноречиво в этом смысле высказывание одного из топ-мэнеджеров автоконцерна «Audi», который сказал: «Несмотря на то, что термин Industry 4.0 сегодня является одним из самых часто обсуждаемых, я не могу объяснить своему сыну, что же он обозначает» [3]. В частности, в работах [4, 5] Industry 4.0 определяется как «зонтичный термин, используемый для описания группы взаимосвязанных технологий, которые дают основу для «цифровизации»

[1]По материалам выступления на конференции "Industry 4.0", 13-16 декабря 2017 г., Боровец, Болгария

бизнеса и его окружения». Это согласуется и с определением McKinsey, где Industry 4.0 трактуется как «следующая фаза цифровизации производственного сектора, определяемая 4 вызовами: огромным увеличением обрабатываемого объема данных, вычислительных мощностей и возможностей передачи информации, особенно посредством новых маломощных широкополосных сетей данных; появлением новых технологий интеллектуального анализа данных; новыми формами человеко-машинного взаимодействия…; и новыми возможностями по передачи цифровых сигналов и инструкций из виртуального мира реальным объектам, включая роботехнические системы и аддитивные технологии» [6].

Как видно из приведенных определений, основное внимание в Industry 4.0 сосредоточено вокруг технических аспектов, а человек, со своими интеллектуальными, творческими и волевыми способностями оказывается за пределами этой идеологии [7]. Единственное, чему быть может и уделяется внимание в части человеческих ресурсов, так это вызванные новой промышленной революцией возможные изменения рынка труда [8-10]. Такое положение дел является явно неудовлетворительным, что находит отражение в ряде работ, посвященных. В частности, в [11] отмечается, что «мир труда в Industry 4.0 немыслим без человека», а автор [12] задается принципиальным вопросом «Какие преимущества получат человек и общество от Industry 4.0?»

Поэтому, несмотря на то, что Industry 4.0 находится только на начальном этапе своего развития и по прогнозам основные достижения можно ожидать не ранее 2020-2025 гг. [10], уже сейчас видны контуры новой парадигмы, которая подразумевает проникновение технологий искусственного интеллекта в повседневную жизнь людей и их «сотрудничество», направленное на расширение возможностей человека, возвращение его в «центр Вселенной». Так, например, в 2016 Правительство Японии совместно с бизнес-федерацией Keidanren ввели в обращение термин «Society 5.0» (Общество 5.0, SuperSmart Society) [13]. В отличие от концепции Industry 4.0, Society 5.0 не ограничивается только производственным сектором, а решает социальные проблемы с помощью интеграции физического и виртуального пространств. По сути, Society 5.0 - это общество, где передовые IT-технологии активно используются в повседневности, промышленности, здравоохранении и других сферах жизнедеятельности не ради прогресса, а ради блага и удобства каждого человека [14]. Статья посвящена обзору современных наук и технологий, конвергенция которых, по мнению авторов, и должна обеспечить переход от Industry 4.0 к Society 5.0.

1 На пути к цифровому обществу Society 5.0

На рис. 1 представлена условная «пирамида наук и технологий», конвергенция которых, по нашему мнению, может обеспечить переход к цифровому обществу Society 5.0. Распределение слоев в пирамиде от основания к ее вершине происходит по мере абстрагирования от мира реальных объектов к концептам Society 5.0 и, прежде всего, к эвергетике, как науке о процессах управления в человеческом обществе.

1.1 Новые типы распределенных компьютеров и группы роботов

Аппаратным базисом для создания интеллектуальных самоорганизующихся систем различных типов являются распределенные компьютерные сети и распределенные роботехнические системы («рои роботов»), которые имеют многоуровневую сложную топологическую сетевую структуру и обеспечивают многопоточные параллельные и асинхронные вычисления. При этом речь идет не только и не столько про антропоморфные роботы, сколько про распределенные умные технические системы. Примером может служить интеллектуальный газотурбинный двигатель с умными лопатками, каждая из которых «договаривается с соседями» о том, какое ей занять положение (развернуться) в газовоздушном тракте, чтобы обеспечить оптимальные условия протекания рабочего тела (газа) и не допустить аварийных режимов работы силовой установки [15]. Сюда же относятся и самоорганизующиеся группировки малых

космических аппаратов (нано- и пикоспутников), которые подобно рою пчел, могут быть многофункциональными и гибко конфигурируемыми, дешевыми в исполнении, надежными и живучими в самых различных ситуациях [16-18], «рои» беспилотных тракторов и других сельскохозяйственных машин, которые «…разговаривают друг с другом…» и находятся «…в постоянной связи между собой, сотрудничая друг с другом» [19, 20] и т.п.



Рисунок 1 - Пирамида наук и технологий в цифровом обществе Society 5.0

1.2 Интернет людей и вещей

Интернет вещей (IoT), в том числе и промышленный (IIoT) - это бурно развивающиеся технологии, которые дополняют традиционный и привычный для нас интернет людей и могут служить основой автоматизации в Industry 4.0 и Society 5.0.

Как следует из официального определения, приведенного в Рекомендации МСЭ-Т Y.2060, «Overview of the Internet of Things», IoT представляет собой «глобальную инфраструктуру для информационного общества, которая обеспечивает продвинутые сервисы путем объединения (физического и виртуального) вещей на основе существующих и вновь создаваемых взаимодействующих информационных и коммуникационных технологий [21]. При этом под «вещью» понимается «объект реального (физическая вещь) или виртуального (виртуальная вещь) мира, который может быть идентифицирован и интегрирован в телекоммуникационную сеть» [21].

В 2013 году компанией Cisco был предложен термин «Всеобъемлющий Интернет» (Internet of Everything, IoE), который считается более широким чем IoT и определяется как «сеть, объединяющая людей, данные, процессы и вещи,…,включая интернет вещей» [22].

Очевидно, что реализация IoT (IIoT, IoE) требует развития целого ряда перспективных технологий, включая сенсорные (интеллектуальный датчики, smart dust и др.), телекоммуникационные (RFID, NFC, Wi-Fi, 6LoWPAN и др.) и т.д. Это позволит встраивать «интеллект» в «вещь» еще на этапе ее производства. При этом в Society 5.0 (как, впрочем, и в Industry 4.0) IoT (IoE) не должен быть технологией ради технологии. Его возможности должны быть направлены, прежде всего, на благо человека, на повышение качества его жизни.

1.3 Мультиагентные системы и технологии

Реализация технологий IoT (IIoT) предполагает перенос вычислений в виртуальный мир («облако»), где каждый «виртуальный» двойник объектов реального мира действует согласно

выбранному алгоритму и правилам. Для связи реального и виртуального миров используются интеллектуальные агенты, которые могут воспринимать информацию из реального мира, принимать решения и согласовывать эти решения с другими объектами или пользователями в реальном времени. При этом сами реальные объекты могут работать автономно или быть частями более сложных объектов (гибкая производственная линия, группировка беспилотных самолетов и др.)

В [23] многоагентная (мультиагентная) система определяется как сеть слабо связанных решателей частных проблем (агентов), которые существуют в общей среде и взаимодействуют между собой для достижения тех или иных целей системы. Взаимодействие может осуществляться агентами либо прямым образом – путем обмена сообщениями, либо некоторым косвенным образом, когда одни агенты воспринимают присутствие других агентов через изменения во внешней среде, с которой они взаимодействуют.

Мультиагентные системы и технологии могут применяться как для решения экстремально сложных задач (например, планирования и оптимизации ресурсов и извлечения знаний класса Big Data и Small Data), так и для создания цифровых эко-систем («систем систем») сервисов, способных кооперировать и конкурировать между собой, позволяющие из простого Интернета вещей сделать умный Интернет людей и вещей (Интернет агентов).

1.4 Базы знаний на основе онтологий

Онтология – это система представления знаний о предметных областях [24-26]. Как отмечается в работе [27], онтологию «часто понимают как “спецификацию концептуализации”… или даже считают синонимом “концептуальной модели предметной области” (точнее, набора сосуществующих концептуальных моделей)..». Там же говорится, что «в простейшем случае онтология определяется как “некоторый общий словарь понятий, используемых в качестве строительных кирпичиков в системах обработки информации”. Обычно она описывает иерархию понятий, связанных между собой отношениями категоризации» [27].

Онтологический подход получил широкое распространение в мультиагентных системах, где онтологии собственно и являются теми базами знаний интеллектуальных агентов, в которых содержатся как знания о конкретной предметной области, так и знания, относящихся к методам решения задач или принятия решений [28]. На основе онтологий, агенты получают возможность совершать поиск в базах знаний и данных, а также применяют их для обмена сообщениями (например, в современных версиях языков коммуникации агентов и, в частности, ACL) [23]

1.5 Теория сложных адаптивных систем

Наибольшая известность в области изучения сложных самоорганизующихся систем принадлежит научной школе лауреата Нобелевской премии Ильи Пригожина, который использовал термины «теория диссипативных структур», «теория открытых систем», «теория самоорганизующихся систем» [29]. Пригожинское видение сложной системы характеризуется разупорядоченностью, неустойчивостью, разнообразием, неравновесностью, нелинейными соотношениями, в которых малый сигнал па входе может вызвать сколь угодно сильный отклик на выходе.

Собственно теория сложных адаптивных систем появилась в 90-х гг. Одним из наиболее известных исследователей в этой области является Дж. Холланд [30]. Суть теории Дж. Холланда заключается в том, что сложные формы живых систем возникают из адаптивного поведения простых, а адаптивное поведение можно свести к последовательностями микровзаимодействий со средой, из которых складывается динамика более сложных структур (например, муравейника, роя пчел, стаи птиц и т.д.) [31]. Можно считать, что теория сложных адаптивных систем является базисом мультиагентных систем. Именно она устанавливающая связь между мультиагентными системами и нелинейной термодинамикой, когда решение любой сложной

задачи достигается в ходе самоорганизации и трактуется как «устойчивое неравновесие» (временный консенсус).

1.6 Эмерджентный интеллект

Эмерджентный интеллект (интеллектуальный резонанс, интеллект роя) – это проявление неожиданных свойств, которыми обладает система, но не обладает ни один из входящих в нее отдельных элементов [32]. Ключевая особенность эмерджентного интеллекта заключается в динамике и непредсказуемости процесса принятия решений посредством большого количества взаимодействий (сотен и тысяч), которые почти невозможно отследить. В частности, [33] эмерджентность определяется как «глобальное поведение сложной системы, возникающее от взаимодействия агентов и, в итоге, определяющее их поведение», при этом «эмерджентное поведение непредсказуемо, но не случайно…».

Свойство эмерджентности зачастую связывают с мультиагентными технологиями, которые реализуют взаимодействия относительно простых «умных элементов» (агентов) в ходе их самоорганизации для решения конкретной задачи.

1.7 Эвергетика

Эвергетика – это развивающаяся ценностно-ориентированная наука о процессах управления в человеческом обществе. Ее название происходит от греческого слова «Ευεργέτης», которое обозначает «благодетель» и уже в нем заложена ориентация на «благие действия» в процессах управления (принятия решений), что отличает эвергетику от классической науки об управлении (management science) и кибернетики, инвариантной по отношению к каким-либо ценностям [34, 35] (в своем навигаторе по кибернетике Д.А. Новиков причисляет эвергетику к кибернетике третьего порядка для взаимодействующих субъектов управления [36]).

В [37] автор этой науки проф. В.А. Виттих дает следующее определение: «Эвергетика – наука об организации процессов управления в развивающемся обществе, каждый член которого заинтересован в преумножении производимого им культурного наследия, влекущего за собой повышение культурного потенциала общества в целом и, как следствие, увеличение доли нравственных управленческих решений и соответствующих им благих действий в общественной жизни». По мнению В.А. Виттиха «междисциплинарная наука должна опираться как на гуманитарные и социальные науки, так и на теорию управления, информатику и на некоторые другие дисциплины, относящиеся к разряду точных наук. Такая полипредметность связана с тем, что в эвергетике человек рассматривается, с одной стороны, как субъект, вооружённый методами и средствами исследования ситуаций и принятия решений по их урегулированию, а с другой стороны, - как объект воспитания, обучения, формирования мировоззрения и умения коммуницировать с другими людьми и т.п.» [37]. При этом эвергетика В.А. Виттиха ни в коем случае не отвергает традиционный «системный» подход к управлению социо-техническими системами, а дополняет и расширяет его возможности [38].

В основе эвергетики лежит теория интерсубъективного управления [39], в которой каждый активный человек может проявить себя в качестве неоднородного «актора», осознающего себя «погружённым» в некоторую проблемную ситуацию и готовым участвовать в её урегулировании совместно с другими акторами [40]. При наличии большого числа акторов решение любой задачи оказывается весьма трудоёмким и здесь могут быть использованы рассмотренные выше мультиагентные системы, которые обеспечивают принятие решений по управлению ситуацией в реальном масштабе времени (в темпе развития ситуации). При этом решение принимается на основе консенсуса, базирующегося на взаимных убеждениях, компромиссах, уступках и т.п., что создаёт преграду проявлениям насилия, зла, агрессивности и иных пороков, поскольку в процессах переговоров и принятия решений людьми включаются ценностные факторы, если не устраняющие, то «сглаживающие» эти негативные явлений [41].

Все вышесказанное позволяет с уверенностью утверждать, что эвергетика, как наука о процессах управления в социо-технических системах, нацелена на использовании знаний, воли

и энергии людей, раскрытие их талантов ради блага и удобства каждого человека. Это полностью соответствует концепции Society 5.0. Поэтому на рис. 1 эвергетика и поставлена на вершину «пирамиды наук и технологий» в Society 5.0, на которую опирается человек.

2 Научные и технические заделы: преемственность и развитие

Представленные в разделе 2 ключевые науки и технологии, обеспечивающие переход к цифровому обществу Society 5.0, находятся и будут находиться в центре внимания исследователей и IT-разработчиков со всего мира в ближайшем и дальнем будущем. При этом многое уже достигнуто сегодня. В частности, исследованиями в области мультиагентных систем и технологий в Самаре ведутся уже более 25 лет (с 1990 г.) [42]. Изначально была направленность на разработки новых методов и средств решения сложных задач, основанных на принципах самоорганизации и эволюции (то, что называется «эмерджентный интеллект»).

В частности, в мультиагентных системах В.А. Виттихом и П.О. Скобелевым были разработаны модели сетей потребностей и возможностей (ПВ-сетей) и метод сопряженных взаимодействий для управления ресурсами в реальном времени, развитые в трудах [43, 44]. Предложенный подход позволил единым образом рассматривать процессы решения сложных многокритериальных задач управления ресурсами как процессы самоорганизации с выявлением и разрешением конфликтов между агентами путем переговоров с уступками для достижения ими согласия (консенсуса) [45]. Разработанные в рамках подхода методы и реализованные на их основе мультиагентные системы использовались для решения широкого круга задач – от кластеризации и понимания текстов до динамического управления ресурсами аэрокосмических, транспортных систем и промышленных предприятий [46-53]. Их промышленное внедрение доказывает эффективность разработанного подхода и определяет перспективы для решения широкого круга сложных задач как в рамках концепции Industry 4.0, та и далее в рамках развития цифрового общества Society 5.0.

Как уже отмечалось, организация системы знаний о предметной области и способах использования знаний в мультиагентных системах осуществляется на основе онтологий, которые позволяют описывать разнородные, многосвязные и неполные знания, содержащие, в т.ч., некорректную информацию, связанные не только иерархическими, но и сетевыми структурами, и т. д. [26]. Пионерскими работами в области онтологического анализа данных являются труды С.В. Смирнова [25, 54-56], который внес существенный вклад в решение одной из значимых проблем в этой области - задачи автоматизации формирования онтологий предметных областей на основе измерений [57]. Основу предложенной С.В. Смирновым методики выявления понятийной структуры и, в конечном счёте, формальной онтологии экспериментально исследуемой предметной области, составляет анализ формальных понятий [56]. Им была обобщена стандартная модель представления объектно-признаковых данных, а для её обработки были использованы модели и аппарат многозначной векторной логики.

Следует также отметить, что формальные онтологии могут служить теоретической и технологической платформой для реализации положений формирующейся теории интерсубъективного управления – эвергетики [58]. В частности, для идентификации смысла проблемной ситуации для актора можно использовать метод онтологического анализа данных, основой которого служит теоретически хорошо обоснованный анализ формальных понятий, а необходимую всем акторам коммуникативную смысловую модель проблемной ситуации можно получить как объединение субъективных онтологий акторов.

Заключение

Приведенный обзор показывает, что растущая популярность цифровой экономики и бесчисленное число практических приложений уже в настоящее время создало прочную основу для развития технологий Industry 4.0 и в перспективе может служить стартовой площадкой для

построения цифрового общества Society 5.0. А теоретической основой для такого «общества будущего» может служить эвергетика, которая возвращает «простых» людей из повседневности в мир интеллектуальных систем, что дает возможность использовать персональные интеллектуальные ресурсы каждого человека и делать среду обитания привлекательной для людей, «областью притяжения», а не зоной их временного проживания.

Список литературы

[1] Kagermann H., Lukas W., Wahlster W. Industrie 4.0: Mit dem Internet der Dinge auf dem Weg zur 4. Industriellen Revolution. VDI nachrichten, Nr.13, 2011.

[2] Industry 4.0: Building the digital enterprise. http://www.pwc.com/ee/et/publications/pub/Industry%204.0.pdf

[3] Hermann M., Pentek T., Otto B. Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios: A Literature Review. Working Paper No. 01. 2015. http://www.snom.mb.tu-dortmund.de/cms/de/ forschung/Arbeitsberichte/Design-Principles-for-Industrie-4_0-Scenarios.pdf

[4] Davies R Industry 4.0. Digitalisation for productivity and growth, Briefing for the European Parliament (PE 568.337) September 2015. European Parliamentary Research Service

[5] Kagermann H Change Through Digitization—Value Creation in the Age of Industry 4.0. In: Albach H, Meffert H, Pinkwart A, Reichwald R (eds) Management of Permanent Change. Springer Fachmedien, Wiesbaden, pp 23–45

[6] Industry 4.0 is more than just a flashy catchphrase. A confluence of trends and technologies promises to reshape the way things are made. June, 2015. https://www.mckinsey.com/business-functions/operations/our-insights/manufacturings-next-act

[7] Rada M. INDUSTRY 5.0 definition. https://www.linkedin.com/pulse/industrial-upcycling-definition-michael-rada/

[8] Gehrke L., Kühn A.T., Rule D., Moore P., Bellmann C., Siemes S., Dawood D., Singh L., Kulik J., Standley M. A Discussion of Qualifications and Skills in the Factory of the Future: A German and American Perspective. April 2015. https://www.researchgate.net/publication/279201790

[9] Hecklaua F., Galeitzkea M, Flachsa S., Kohlb H. Holistic approach for human resource management in Industry 4.0 Procedia CIRP 54 (2016) pp.1–6

[10] Lorenz M., Rüßmann M., Strack R., Lueth K., Bolle M. Man and Machine in Industry 4.0. How Will Technology Transform the Industrial Workforce Through 2025? https://www.bcg.com/publications/2015/technology-business-transformation-engineered-products-infrastructure-man-machine-industry-4.aspx

[11] German standardization roadmap Industry 4.0. Version 2. https://www.din.de/blob/65354/f5252239daa596d8c4d1f24b40e4486d/roadmap-i4-0-e-data.pdf

[12] Buhr D. Social Innovation Policy for Industry 4.0. Publisher: Division for Social and Economic Policies, Friedrich-Ebert-Stiftung. 2017. 24 pp. http://library.fes.de/pdf-files/wiso/11479.pdf

[13] Nirmala J. Super Smart Society: Society 5.0. RoboticsTomorrow, 2016 https://www.roboticstomorrow.com/ article/2016/09/super-smart-society-society-50/8739

[14] Society 5.0: Japan's digitization http://www.cebit.de/en/ news-trends/news/society-5-0-japans-digitization-779

[15] Morgan G., Rzevski G., Wiese P. Multi-Agent Control of Variable Geometry Axial Turbo Compressors. Journal of Systems and Control Engineering, issue I3 vol. 218 (2004), pp. 157-171.

[16] Schilling K. Networked Distributed Pico-Satellite Systems for Earth Observation and Telecommunication Applications // Airspace Guidance, Navigation and Flight Control Systems Workshop (IFAC 2009), June 30–July 02, 2009. — Samara, Russia. http://www.federalspace.ru/main.php?id=402 4.

[17] De Florio S. Performances Optimization of Remote Sensing Satellite Constellations: a Heuristic Method // Proc. of 5th Intern. Workshop on Planning and Scheduling for Space (IWPSS 2006), October 22–25, 2006. — Space Telescope Science Institute Baltimore, USA. http://www.stsci.edu/largefiles/iwpss/20069151043Paper.pdf

[18] Соллогуб А.В., Скобелев П.О., Симонова Е.В., Царев Е.В., Степанов М.Е., Жиляев А.А. Интеллектуальная система распределенного управления групповыми операциями кластера малоразмерных космических аппаратов в задачах дистанционного зондирования Земли // Информационно-управляющие системы. №1. 2013. С. 16-24

[19] Daniels J. Future of farming: Driverless tractors, ag robots https://www.cnbc.com/2016/09/16/future-of-farming-driverless-tractors-ag-robots.html
[20] Remarks By Prime Minister Abe at 14th Annual Meeting of the STS Forum October 1, 2017 https://japan.kantei.go.jp/97_abe/statement/201709/_00012.html
[21] Y.2060: Overview of the Internet of things http://www.itu.int/rec/T-REC-Y.2060-201206-I
[22] #InternetOfEverything. http://ioeassessment.cisco.com/ learn
[23] Городецкий В.И., Бухвалов О.Л., Скобелев П.О., Майоров И.В. Современное состояние и перспективы индустриальных применений многоагентных систем // Управление большими системами. №66. 2017. –с.94–157
[24] Найданов Д.Г., Шеин Р.Е. Онтологии в мультиагентных системах // XII Всероссийское совещание по проблемам управления ВСПУ-2014: Сборник трудов. М.: Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН. 2014. С. 9044-9049.
[25] Смирнов С.В. Онтологии как смысловые модели // Онтология проектирования. №2 (8). – 2013. С.12-19.
[26] Matushin M. M., Vaku r i na T. G., Kotelya V.V., Skobelev P. O., Lakhin O. I., Kozhevnikov S. S., Simonova E. V., Noskova A. I. Methods and Software for Creation of Ontologies for Visualizing Connected Information Objects of Random Nature in Complex Information-Analytical Systems // Информационно-управляющие системы. №2. 2014. –с. 9-17
[27] Тарасов В.Б. От многоагентных систем к интеллектуальным организациям: Философия, психология, информатика М.: Едиториал УРСС. 2002. 352 с.
[28] В.В. Андреев, С.В. Батищев, К.В. Ивкушкин, Т.В. Искварина, П.О. Скобелев Инструментальные средства для разработки мультиагентных систем промышленного масштаба // Проблемы управления и моделирования в сложных системах: Труды VI Международной конференции. Самара: СамНЦ РАН. 2004. с.233-240.
[29] Пригожим И., Стенгерс И. Порядок из хаоса: Новый диалог человека с природой. — М.: Прогресс, 1986. — 432 с.
[30] Holland J.H. Hidden Order: How Adaptation Builds Complexity. Readings (MA): Addison-Wesley Publishing Company, 1995. P.38.
[31] Галкин Д.В. О некоторых эпистемологических основаниях искусственной жизни // Вестник НГУ. Серия: Философия. Том 10. Выпуск 2. – 2012. –с.43-51.
[32] Граничин О., Кияев В. Управление на базе мультиагентных систем // Информационные технологии в управлении предприятием. СПГУ. М. 2011 http://www.intuit.ru/studies /courses/13833/1230/lecture/24081.
[33] Rzevski G. Self-organization in social systems // «Ontology of Designing» scientific journal, 4(14). 2014. pp.8-17
[34] Vittikh V.A. Problemy evergetiki [Problems of Evergetics] // Problemy upravleniya. –2014. –No.4 - P. 69-71.
[35] Vittikh V.A. Concept of intersubjectivity in evergetics // Ontologiya proyektirovaniya [Ontology of Designing]. -2014. –No.4 (14). – P.90–97.
[36] Новиков Д.А. Кибернетика: Навигатор. История киберне-тики, современное состояние, перспективы развития. – М.: ЛЕНАНД, 2016. – 160 с.
[37] Vittikh, V.A. Evolution of Ideas on Management Processes in the Society: From Cybernetics to Evergetics // Group Decision and Negotiation. September 2015, Volume 24, Issue 5, pp. 825–832 https://doi.org/10.1007/s10726-014-9414-6
[38] Виттих В.А. Дополнительность системного и обыденного подходов к урегулированию проблемных ситуаций в повседневности // Проблемы управления и моделирования в сложных системах: Труды XIX Международной конференции. Самара: Офорт. 2017. с.4-11.
[39] Vittikh VA (2014) Introduction in the theory of intersubjective management. Group Decision and Negotiation. January 2015, Volume 24, Issue 1, pp 67–95. https://doi.org/10.1007/s10726-014-9380-z
[40] Vittikh V.A. Heterogeneous Actor and Everyday Life as Key Concepts of Evergetics. - Group Decision and Negotiation, volume 24, issue 6, November 2015, p. 949-956. https://doi.org/10.1007/s10726-014-9423-5
[41] Vittikh V.A., Moiseeva T.V., Skobelev P.O. Priniatiye resheniy na osnove konsensusa s primeneniyem multiagentnykh tekhnologiy [Decision Making by Consensus with Application of Multi-Agent Technology] // Ontologiya proyektirovaniya [Ontology of Designing]. -2013. – No.2. – P.20–25.

[42] Скобелев П.О. Мультиагентные технологии в промышленных применениях: к 20-летию основания Самарской научной школы мультиагентных систем // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2010, No12 с.33-46
[43] Виттих В. А., Скобелев П.О. Мультиагентные модели взаимодействия для построения сетей потребностей и возможностей в открытых системах //Автоматика и телемеханика. –2003. –No. 1. –С. 177-185.
[44] Виттих В. А., Скобелев П. О. Метод сопряженных взаимодействий для управления распределением ресурсов в реальном масштабе времени // Автометрия. –2009. –Т. 45. –No. 2. –С. 84-86.
[45] Виттих В.А., Моисеева Т.В., Скобелев П.О. Принятие решений на основе консенсуса с применением мультиагентных технологий // Онтология проектирования. –2013. –No. 2 (8) –С. 20-25.
[46] UK Patent Application No. 304995 -Data Mining. Authors G. Rzevski, I. Minakov, P. Skobelev.
[47] UK Patent Application No. 305634 -Automated Text Analysis. Authors: G. Rzevski, I. Minakov, P. Skobelev.
[48] Skobelev P.O., Travin V.S., Zhilyaev A.A., Simonova E.V. Application of multi-agent technology in the scheduling system of swarm of earth remote sensing satellites // Procedia Computer Science 12th. Сер. "12th International Symposium Intelligent Systems, INTELS 2016" 2017. pp. 396-402.
[49] Rzevski G., Soloviev V., Skobelev P., Lakhin O. Complex adaptive logistics for the international space station // International Journal of Design and Nature and Ecodynamics. 2016. vol. 11. No3. pp. 459-472.
[50] Belousov A.A., Stepanov M.E., Goryachev A.A., Skobelev P.O. A multi-agent method for adaptive real-time train scheduling with conflict limitations // International Journal of Design and Nature and Ecodynamics. 2016. Vol. 11. No. 2. pp. 116-126.
[51] Rzevski G., Lakhin O., Knezevic J., Skobelev P., Borgest N. Managing aircraft lifecycle complexity // International Journal of Design and Nature and Ecodynamics. 2016. Vol. 11. No2. pp. 77-87.
[52] Tsarev A., Skobelev P. Multi-agent supply scheduling system prototype for energy production and distribution // Lecture Notes in Computer Science. 2016. Т. 9662. С. 290-293.
[53] Тугаев М.Ю., Речкалов А.В., Скобелев П.О. Управление машиностроительной корпорацией в реальном времени // Сборник трудов XII всероссийское совещание по проблемам управления ВСПУ-2014 Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН. 2014. С. 9030-9043.
[54] Смирнов С.В. Онтологическая относительность и технология компьютерного моделирования сложных систем // Известия Самарского научного центра РАН. 2000. Т. 2. № 1. С. 66-71.
[55] Смирнов С.В. Онтологический анализ предметных областей моделирования // Известия Самарского научного центра РАН. 2001. Т. 3. № 1. С. 62-70.
[56] Смирнов, С.В. Онтологическое моделирование в ситуационном управлении // Онтология проектирования. -2012. -№2(4). -С. 16-24.
[57] Самойлов Д.Е., Семенова В.А., Смирнов С.В. Анализ неполных данных в задачах построения формальных онтологий // Онтология проектирования. –Т.6. №3(21). 2016 –с.317-339. DOI: 10.18287/2223-9537-2016-6-3-317-339
[58] Виттих В.А. Ситуационное управление с позиций постнеклассической науки // Онтология проектирования. -2012. -№2(4). -С. 7-15.

ОТ "РАКЕТЫ" К "ГРААЛЮ": МОДЕЛИ РАЗВИТИЯ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ СРЕДЫ В ЛОГИКЕ НТИ

Д.В. Горбунов, А.Ю. Нестеров

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева
443086, Самара, Московское шоссе, 34, Россия
phil@ssau.ru
тел: +7 (846) 267-47-87

Ключевые слова: *Национальная технологическая инициатива, инновационное развитие, управление инновациями, проблема будущего, управление технико-экономическим балансом, третья природа, сингулярность, проблема человека, управление идеологиями*

Abstract

The article shows that solving the task of developing a technological innovation ecosystem requires attracting not only managers and specialists in engineering development, but also philosophers, sociologists, historians. The purpose of the article is to show the transformation of the technical and economic balance of society, inevitable in the conditions of explosive technological growth, to isolate and analyze the basic stages of this transformation, their philosophical foundations and main features. The purpose of the article is to show the transformation of the technical and economic balance of society, inevitable in the conditions of explosive technological growth, to isolate and analyze the basic stages of this transformation, their philosophical foundations and main features. The question of the development of a technological innovation ecosystem in the general philosophical manner is formulated as a problem of constructing ontologies that entail significant technological, economic and social transformations. The trial solution of the problem is formulated in the form of a scheme of eight stages of development - from the model "Funnel" to the model "Grail" - and is a deductive construction, open to verification and falsification procedures. Verification and approbation of the solution formulated in the article of the problem of the development of the technical and economic balance require the participation of a wide range of specialists in the socio-humanitarian, technical and natural-science field.

Введение

Проблема развития как вопрос о будущем – это предмет философского знания, проблема учёта воздействия технологий на состояние социума – предмет социологии, проблема собственно технологического развития не может быть решена без привлечения историков техники и науки. Наряду со специалистами естественнонаучного и инженерно-технического профиля, способными продемонстрировать горизонты и конкретные ступени инновационного развития, к дискуссии оказались привлечены специалисты гуманитарного профиля, способные показать историю, границы интерпретации и метафизические перспективы используемых понятий и концептов.

Настоящей статьей мы приглашаем профессионалов всех отраслей знания к дискуссии о будущем России, о технологическом развитии, о построении управленческих моделей технико-экономического баланса, о роли и статусе человека в условиях принципиально нового отношения к себе и к природе, вызываемого к жизни техникой «третьей природы».

1 Предпосылки и философские аспекты технико-технологического развития

Деятельность человека и человеческих сообществ определятся целеполаганием. Когда человек что-то делает, он исполняет программу, заданную целевой причиной, causa finalis. Исполнение целей – это развитие, понимаемое как движение от прошлого к будущему или от простого к сложному.

Вопрос о будущем – это вопрос о целях человеческой деятельности, о структуре и ресурсах индивидуального или коллективного субъекта, способного эти цели осуществить, об этапах осуществления.

Пример построения модели будущего в научном познании заключается в практическом решении проблемы индукции, и именно этот пример является определяющим для научного моделирования будущего, активно реализуемого в последнее десятилетие в США, Европе и России. Вполне очевидно, что в практике реальной науки проблема индукции, и тем самым проблема будущего, решается весьма просто. Всякий раз, когда обобщается ряд чувственных данных, используется некоторая теория. А всякая теория как созерцание является продуктом рефлексии, то есть продуктом самопознания человека, и содержит некоторую онтологию, то есть набор явно или неявно сформулированных предпосылок, аксиом или постулатов. Именно онтология позволяет построить ряд из наблюдений, показать историю и будущее этого ряда; именно онтология позволяет использовать статистические данные для прогноза; именно онтология выражается в естественном языке концепциями прогресса как движения от простого к сложному или развитием во времени от прошлого к будущему. «Время» в смысле будущего или прошлого – это продукт онтологий.

Термины, в которых будущее фиксируется философскими дисциплинами, – это «онтология», «реальная наука» и «метафизика». Под «онтологией» понимается набор предпосылок, описывающих сумму правил, по которым строится действительность. Под реальной наукой – следствия применения этих предпосылок к фиксируемой органами чувств или приборными ситуациями действительности, включая наблюдение и результаты измерительных экспериментов. Под метафизикой – те следствия, которые вытекают из принятой и научно подтверждённой онтологии, но в силу тех или иных причин не могут быть зафиксированы органами чувств или существующими приборами [1]; после Э. Маха метафизика выражает себя в т.н. «мысленных экспериментах» [2].

Сложность проблемы будущего, сформулированной для социальных процессов, – это сложность фиксации в терминах того или иного языка рефлексивных процессов, осуществляемых коллективным субъектом. «Цель», «причина», «будущее», «развитие» – это термины естественного языка, значение которых определяется человеческой деятельностью. Задача философии во всякий момент времени – прояснять конкретное значение этих терминов на фоне всех доступных онтологий, выявлять конкретное содержание стоящих за ними понятий, отсекая иллюзии.

Будущее возникает как продукт технической рефлексии. Онтологии, на которых строится возможность технического действия, задают модели технико-экономического баланса, определяющие конкретный набор правил социального взаимодействия. Мы проследим восемь таких моделей, фиксирующих переход от «второй природы» к «третьей природе», покажем ключевые оппозиции и вопросы, требующие внимания.

Можно без преувеличения утверждать, что целевая деятельность человека – это техническая деятельность или техника. П.К. Энгельмейер писал, что всякое целевое обращение человека наружу есть техника [3]. В чём заключается цель технической деятельности? В удовлетворении нужд, потребностей и желаний человека.

2 Модели управления технико-экономическим балансом

Техника не является единственным видом целесообразной деятельности человека. Техника создаёт новое, материализуя идеи, её подлинной исходной формой осуществления является изобретение. Однако тиражирование изобретения в массовом производстве, обеспечение спроса и регулирование предложения и т.п. не являются в собственном смысле слова техникой. Ф. Дессауэр [4] показывает на примере фигуры Робинзона у Д. Дефо, что техника появляется вместе с первым человеком на земле, вынужденным противостоять первобытной природе, преобразовывать её в целях выживания и сохранения человеческого в себе; однако с появлением Пятницы возникает рынок, то есть экономика, подразумевающая обмен, разделение труда, управление спросом и предложением. Техника оказывается переплетена с экономикой так, что процесс технического исполнения, удовлетворяющий тот или иной тип потребности, регулируется не столько внутритехническими отношениями, сколько экономическими или в целом социальными взаимодействиями.

Технико-экономический баланс – это соотношение техники как изобретения и рынка как среды, в которой то или иное изобретение достигает конечного потребителя, удовлетворяя его потребности. Это соотношение зависит, с одной стороны, от уровня развития техники, то есть от типа «природы» в оппозиции искусственных артефактов и естественного фона, с другой стороны, от преобладающего в социуме типа потребностей, определяющих производство тех или иных артефактов в конкретные исторические периоды. Управление технико-экономическим балансом – это воздействие глобального субъекта (государства, транснациональной корпорации) на взаимодействие техники и рынка в соответствии с заданными целями.

Технико-экономический баланс в последние десятилетия активно исследуется историками техники и философами техники. Одним из удачных концептов для определения глобальных целей управления является предложенная А.П. Назаретяном модель «технико-гуманитарного баланса» [5]. Высокие уровни овладения материей, достигаемые в тех или иных изобретениях, приводят к исчезновению социума, если в нём преобладают не коррелирующие с этим уровнем потребности. И наоборот, попытка технического удовлетворения духовных и интеллектуальных потребностей наталкивается на низкий уровень овладения материей, дезавуируя модели технического прогресса. Соответственно управление технико-экономическим балансом на глобальном уровне лавирует между границами, выраженными в возможности технического самоуничтожения человеческой цивилизации, с одной стороны, и тотальной деградации, вызванной отказом от техники как таковой, с другой стороны.

В условиях второй природы рынок связывает изобретение в виде оформленной на фоне имеющегося знания «идеи» и потребность конечного потребителя изобретения, встраивающего его в свою жизнедеятельность, снимающего за счёт него имеющуюся в ней неполноту или неопределённость. Знания, способные удовлетворить ту или иную потребность, в пространстве рыночной экономики функционируют в виде бизнес-идей, ищущих выхода к потребителю.

На фоне традиционного для экономической теории конфликта между стремлением индивида к прибыли и социальной задачей удовлетворения потребностей каждого человека проблема управления технико-экономическим балансом формулируется как проблема регулирования инновационной экономики в обществе знаний, обеспечивающего вывод на рынок значимой бизнес-идеи.

Ситуация в технике настоящего времени характеризуется как переход от второй природы к третьей. Техническое развитие позволяет удовлетворять не только физические и интеллектуальные, но и духовные потребности индивида. Однако экономика, рынок, вся совокупность отношений субъектов внутри социума пока не в состоянии реализовать такое взаимодействие потребителя и изобретателя, которое обеспечивало бы непосредственное удовлетворение потребности для первого и применение, тиражирование изобретения для второго. Выход изобретения на рынок сейчас осуществляется как минимум в семь этапов: оформленная идея – бизнес-модель – проект – опытный образец – промышленный образец – мелкая серия – выход на

рынок. Эти этапы подразумевают семь отличных друг от друга сред в инновационной экосистеме, субъектами которых являются: патентоведы (журналы) – бизнес-акселераторы (катализаторы) – бизнес-ангелы – бизнес-инкубаторы – технопарки – индустриальные парки.

Фактически это означает, что для реального удовлетворения одной потребности средствами рыночной экономики необходимо три тысячи идей и изобретений. Это известная формула Г. Стивенса и Дж. Берли [6], отображаемая в модели технико-экономического баланса «Воронка». Необходимо три тысячи сырых идей, чтобы возникло триста бизнес-моделей, из которых будет сформировано сто двадцать пять проектов, способных выдать девять опытных образцов. Последние приведут к четырём промышленным образцам, два из них выйдут на рынок и смогут удовлетворить лишь одну потребность.

Объект управления в этой модели – инновационный предприниматель, являющийся посредником между спросом и предложением. Задача управления заключается в создании благоприятной инновационной среды, формировании сообщества, осуществляющего фильтрацию идей. Фундаментальная проблема этой модели управления заключается в отсутствии механизмов работы с идеями, проектами и образцами, не дошедшими до потребителя.

Актуальная цель управления технико-экономическим балансом заключается в организации такой системы управления изобретениями, в создании такого типа экономики, в котором всякое техническое изобретение находило бы своего конечного потребителя, а всякая потребность удовлетворялась бы тем или иным артефактом. В России она сформулирована в рамках Национальной технологической инициативы и озвучена Д. Песковым. Проблема, которая должна быть решена в ближайшем будущем, заключается в построении инновационной экосистемы для технических объектов третьей природы, существенно влияющих как на социум в целом, так и на каждого отдельного индивида.

Решение сформулированной проблемы заключается на первом шаге в осуществлении метафизики онтологической модели «Воронка», описывающей текущее состояние технико-экономического баланса. На втором шаге – в построении новой онтологии, основанной на технологиях обработки больших данных и интеллектуальных систем принятия решений (ИИ).

Первый шаг выражен в последовательном осуществлении моделей «Ракета», «Песочные часы» и «Рупор». Фокус управления технико-экономическим балансом смещается с инновационного предпринимателя, переходя на инновационную экосистему и на достижение синергетического эффекта от внедрённых инноваций. Реализуемые задачи заключаются в изменении реального соотношения изобретений и продуктов, удовлетворяющих потребности конечного потребителя, и в конечном итоге – в максимизации рыночной доступности изобретений. С нашей точки зрения, модель «Ракета» частично реализована в концепции предпринимательского университета или университета 3.0 в смысле Й. Виссемы [7], осуществляемой в настоящее время в рамках программы повышения конкурентоспособности российских вузов «5-100». Согласно данной модели, университеты третьего поколения действуют в рамках новой цели, подготовки предпринимателей, и представляют собой не наборы преподаваемых дисциплин, а совокупности научных тем в рамках трансдисциплинарных подходов, осуществляемые университетскими институтами как предпринимательскими – в научном и в финансовом смысле – подразделениями. Преимущество этой модели заключается в попытке интегрировать не вышедшие на рынок идеи в процесс формирования предпринимательской среды как набора регулируемых инновационных экосистем, ориентированных на максимизацию выживаемости проектов.

Модели технико-экономического баланса «Песочные часы» и «Рупор» требуют для своей реализации перехода к концепции университета 4.0, в которой субъекты управления техникой, задействованные в университетах, уже «не только обеспечивают работу сложнейшего оборудования, не только конструируют современную технику и машины, но, по сути, и формируют окружающую действительность», обладают реальными управленческими механизмами в сфере промышленности. Объектом управления становятся корпорации как потребители иннова-

ционных ресурсов, а затем – синергетический эффект от внедрения и распространения инноваций. Задачи управления определяются формированием корпоративных компетенций, позволяющих находить дополнительное применение инновационному продукту, создавать новые рынки, необходимостью объединения усилий ради получения синергетического эффекта в освоении рынка с максимально возможным инновационным продуктом. Модель университета 4.0, направленную, наряду с обучением, исследованием и коммерциализацией ноу-хау, на развитие территорий, мы видим во многом в концепции университета Национальной технологической инициативы.

Возможности, заданные онтологией второй природы, на настоящий момент хорошо изучены. Те или иные конкретные решения в процессах управления технико-экономическим балансом на этой ступени развития могут быть верифицированы за счёт имеющихся баз знаний. Модели «Песочные часы» и «Рупор» нуждаются в анализе лучших образцов отечественной и мировой практики, однако не подразумевают коренных, онтологических преобразований в структуре взаимодействий между человеком, техникой и рынком.

Второй шаг в достижении актуальной цели управления технико-экономическим балансом обусловлен переходом от второй природы к третьей природе. С точки зрения развития техники – это переход от артефактов, удовлетворяющих физические и интеллектуальные потребности, к артефактам, удовлетворяющим духовные потребности. С точки зрения экономики – это разрушение рынка, опосредующего удовлетворение индивидуальной потребности тем или иным техническим изобретением.

Мы фиксируем эту ситуацию в модели «Окно». Она описывает пространство перехода, обусловленное использованием технологий обработки больших данных. «Big Data» позволит перейти к персонализированной разработке продукта, исключающей многоуровневую структуру инновационной экосистемы современного рынка: индивидуальная потребность будет исполняться изготовленным в соответствии с этой потребностью артефактом. Объектом управления в этой модели технико-экономического баланса являются технологии обработки больших данных, а задачей управления – переход к персонализированной разработке продукта, то есть разрушение концепции рыночной экономики и «рынка» как такового.

В модели «Окно» впервые предметно возникают новые проблемы этики и аксиологии. Моделирование будущего, строящееся на онтологии первой и второй природы, в том или ином виде опирается на социальные конвенции, поддерживаемые тысячелетним опытом коммуникации в условиях рыночного обмена. Ситуация, обнажаемая в модели «Окно», – это ситуация Робинзона, обладающего всеми техническими ресурсами человеческой цивилизации и способного практически мгновенно использовать их для удовлетворения любой из возможных потребностей, но не нуждающегося ни в социальной памяти и навыках, способных эти ресурсы поддерживать, ни в Пятнице как собеседнике или компаньоне.

Следующая ситуация, модель «Букет», выражает онтологический скачок, подразумевающий, что вслед за разрушением рынка последует разрушение представления о «продукте», являющегося формой экономического, рыночного существования технических изобретений. Скачок связан с внедрением в управление технико-экономическим балансом искусственного интеллекта. За счёт технологий искусственного интеллекта создаётся внерыночная экономическая среда, связывающая потребности и идеи. Объектом управления становятся идеи, задачей – формирование благоприятной среды существования за счёт выбора наилучших идей.

В онтологии третьей природы функции экономики, то есть функции обеспечения материального обмена, берут на себя интеллектуальные технологии принятия решений, включающие обработку больших данных. Определяющим становится содержание идей – потребностей и изобретений, – задействованных в этом обмене. Если в условиях производственных отношений первой и второй природы могло казаться, что формы трансляции и удовлетворения потребностей регулируют содержание потребностей, то в модели «Букет» и продолжающей её модели «Бабочка» объектом управления технико-экономическим балансом становятся идеи и

люди, способные их формулировать, безотносительно к тем способам, которыми они могут быть транслированы и удовлетворены. Это коренное изменение в способах самопонимания человека и общества, которое в настоящий момент сложно продемонстрировать каким-либо примером. Именно это коренное изменение должно быть осмыслено и учтено до фактической реализации этих моделей, поскольку задачей управления здесь является определение сообщества людей, идеи которых благоприятно изменяют среду существования человечества.

Целевой результат управления технико-экономическим балансом в условиях третьей природы выражается моделью «Грааль», представляющей собой полное обращение текущей модели «Воронка». Всякое изобретение оказывается релевантным для каждого человека, распространяется на всех людей; каждая идея, открывшаяся одному человеку, оказывается способна удовлетворить потребность каждого представителя всего человечества. Фокус управления переходит со среды, регулирующей взаимодействие знаний (изобретений) и потребностей (желаний), на самого человека. Эта ситуация эквивалентна описываемому на протяжении всей истории человеческой культуры обретению «волшебной палочки», джина из волшебной лампы в арабских сказках или «алла» Руди Рюкера [8]; в ней завершается виток развития технологий третьей природы, в начальной точке которого сейчас обнаруживает себя человечество. Объектом управления является сам человек, задачей – применение каждой идеи индивидуума для благоприятного изменения человечества.

Человек как субъект социального взаимодействия в значительной степени определяется образованием и воспитанием, о роли генетики в такого рода вопросах, равно как и о перспективах генетической или кибернетической трансформации отдельной личности говорить пока преждевременно. Образование – это, как правило, формирование навыков деятельности в сфере физического мира и интеллекта, ориентированных на удовлетворение соответствующих потребностей. Воспитание – это формирование навыков в сфере духа, задающих способы рефлексии, то есть самопознания и самопонимания человека. Изменение среды обитания человека, выраженное в трансформации технико-экономического баланса, влечёт за собой трансформацию как потребностей, так и навыков их удовлетворения в каждой из этих сфер.

Формулируя модели будущего технико-экономического баланса, мы исходим из необходимости определить изменение потребностей индивида и общества, новые алгоритмы их удовлетворения. Модели поступательного изменения технико-экономического баланса подразумевают конкретные периоды во времени, конкретные даты и сроки. Модели «Рупор» и «Окно» описывают среду деятельности поколения, родившегося после 2010 года. Чтобы уровень потребностей этого поколения в физическом, интеллектуальном и духовном плане соответствовал его техническим возможностям, формы и содержание образовательных и воспитательных процессов должны быть проанализированы и сформулированы уже сегодня. Анализ такого рода невозможно подменить надеждой на ту или иную форму самоорганизации, поскольку всякое возможное новое качество системы уже содержится в онтологии этой системы, и задача субъекта планирования заключается в его выявлении.

Заключение

Задача формирования логики развития технологической инновационной экосистемы Российской Федерации требует комплексного анализа самого понятия развития, сущности техники и природы человека. Её актуальность обусловлена технологическим переходом человеческой цивилизации от технологий второй природы к технологиям третьей природы. Её решения должны учитывать изменение не просто форм управления технико-экономическим балансом в масштабах России, но и содержания образовательной и воспитательной деятельности для тех поколений российских граждан, которым адресованы формулируемые сегодня проекты будущего.

Настоящая статья – это приглашение к диалогу. В.В. Путин еще в 2014 году отметил, что «сегодня лидерами глобального развития становятся те страны, которые способны создавать прорывные технологии и на их основе формировать собственную мощную производственную базу». Мы исходим из того, что, во-первых, проблемы моделирования будущего, развития технологий и управления технико-экономическим балансом в России не могут быть поставлены и решены в рамках исключительно англосаксонских моделей и образцов мышления. Необходимо широкое обсуждение, учитывающее историко-философское наследие, специфику и характер русского мира. Во-вторых, развитие сугубо ради развития не имеет смысла. С точки зрения задач государственной политики недопустимо формировать новые рынки или развивать новые технологии для удовлетворения любопытства или частных амбиций. Каждая новая ступень развития подразумевает изменение онтологии, новую ситуацию субъект-объектного взаимодействия, новую постановку проблемы человека. Общество в целом и каждый его член должны быть подготовлены к изменениям, инновации технологического и экономического характера должны коррелировать с состоянием общественного и индивидуального сознания. Это огромный пласт работы не только для административно-управленческих государственных структур, но и для университетов, научного сообщества в целом. Эту работу необходимо планировать, организовывать и осуществлять.

Список литературы

[1] Ingarden R. Der Streit um die Existenz der Welt. Bd.1. – Tübingen, 1964.
[2] Bertram G.W. (Hrsg.) Philosophische Gedankenexperimente. – Stuttgart, 2016.
[3] Энгельмейер П.К. Философия техники. – СПб.: Лань, 2013. – 93 с. (http://e.lanbook.com/book/43893)
[4] Дессауэр Фр. Спор о технике: монография / перевод с нем. А.Ю. Нестерова. – Самара: Издательство Самарской гуманитарной академии, 2017. – 266 с.
[5] Назаретян А.П. Нелинейное будущее. – М., 2013. – 437 с.
[6] Stevens G.A., Burley J. 3,000 raw ideas = 1 commercial success! // Research Technology Management. 1997. – V. 40. – Iss. 3. – P. 16-27.
[7] Wissema J.G. Towards the third generation university: Managing the university in transition. – Edward Elgar Publishing Ltd., 2009. – 272p.
[8] Rucker R. Realware. – Harper Paperbacks, 2000. – 320 p.

Biography

Gorbunov Dmitriy Viktorovich – Candidate of Economic Sciences, Head of the Chair of Innovation Management, Samara National Research University, Samara, e-mail: gorbunovdv@economy.samregion.ru.

Nesterov Aleksandr Yur'evich – Doctor of Philosophy, Associate Professor, Head of the Chair of Philosophy, Samara National Research University, Samara, e-mail: phil@ssau.ru.

ПРОЦЕССЫ УПРАВЛЕНИЯ В ОБЩЕСТВЕ. К ВОПРОСУ ОБ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ЭКОНОМИКИ РОССИИ, ПЕРЕВОДИМОЙ НА ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

С.И.Кретов

Российская академия предпринимательства
109544, Москва, ул. Малая Андроньевская, д. 15, Россия
kretsi1955@gmail.com
тел: +7 (903) 122-31-19

Ключевые слова: *цифровая экономика, структура человеческого социума, личности, индивидуумы, субъекты.*

Abstract
This article emphasizes the most crucial problem of the shift to the sixth technological stage. The self investigation of the real society structure including individuals-Want, subjects-Can and persons-Must must be started within the new integral science – cybernetic epistemology.

1. Развитие представлений о взаимодействии материального производства и науки сделали практически неоспоримым тезис о производительном характере труда учёных и педагогов. Информация обо всём мироздании всегда была, есть и будет в «закромах» Природы. Её добычей и трёхмерное переформатирование в знания занимаются учёные. Любое знание может стать наукой, когда оно касается фундаментальных свойств Природы. Учёный, получивший информацию из природных информационных хранилищ создаёт теоретическую модель, построенную на аксиоматической основе, и производит её верификацию или фальсификацию, сравнивая природный феномен и свою модель. Такое понимание источника развития человечества должно найти свое отражение не только в философских формулировках, но и в повседневной практике **управления обществом**.

2. Научный подход к проблемам управления требует исследования структуры общества, взаимосвязи и взаимообусловленности его акторов, имея в виду, что общество – это сложная диссипативная система.

3. Систему можно отнести к классу сложных систем тогда и только, когда она обладает тремя неразрывными и неотделимыми свойствами: **синергией**, которая может быть как положительной так и отрицательной; **аутопоэзными свойствами** имманентного саморазвития; **рекурсивным характером** развития, который в наиболее общем виде может быть представлен классом странных аттракторов.

4. Homo Sapiens как конституирующий элемент общества и одновременно как цель процессов управления обществом в современной литературе рассматривается крайне примитивно в границах от Homo Economicus до Homo Soveticus. Такой упрощенческий подход превращает процессы управления в обществе в различные модели идеологической дрессуры стандартизированных по мнению адептов капитализма и социализма субъектами. Современная фундаментальная наука – кибернетическая эпистемология отрицает не только научность, но и разумность такого усреднительного подхода.

5. В структуре телесного сознания Homo Sapiens можно выделить два неразделимых физиологически, но принципиально неравнозначных элемента. Это мозг и тело человека. Такая классификация позволит уточнить, что является реальной производительной силой в телесном сознании учёного. Э.Шредингер утверждал: «Осознание в человеческой соме совершается исключительно в мозговых процессах потому, что мозг (или его часть) и есть тот человече-

ский орган, который находится в состоянии обучения, именно в нём помещается, так сказать, точка приложения эволюции». [1]

6. Категорию «мозг» нам предстоит рассматривать не в узком биологическом смысле. Мозг, как орган человека, физически состоит из 78% воды, 15% жира, 7%, включающих белки, гидрат калия и соль. Нервные клетки, осуществляющие непосредственные процессы мышления, составляют лишь 15% от его объема. 85% это некая глиальная ткань. В нормальном состоянии мозг потребляет до 10 ватт энергии и даже в самых экстремальных ситуациях не более 30 ватт. Тактовая частота компьютерных процессоров измеряется в гига- или терагерцах; а у человека – лишь килогерцы. Сигнал от нейрона к нейрону идет со скоростью 1400 метров в секунду. При этом, по мнению специалистов, мозг имеет доступ к 5,5 петабайт информации и перерабатывает её намного быстрее и экономичнее компьютеров.

7. В широком смысле мозг является ведущим в сложной системе «телесное сознание». Это естественный природный инструмент, обеспечивающий взаимодействие Человека с Природой и людей между собой. Мозг также выполняет функцию управления тем «государством клеток», которое чаще именуется «Человек». «Самое удивительное, что у сознания нет места в теле, а связь мозга и мысли — вообще тайна дремучая. Владеет ею, вероятно, Творец». [2] «Сейчас началась мода на исследования мозга и сознания: особенно сознания, хотя это опасная территория, потому что никто не знает, что это такое». [3]

8. Наука пока не может ответить на многие актуальные вопросы. Как такое «устройство» было создано аутопоэзными силами Природы? Как в человеческом мозгу оказываются новые знания, находившиеся до этого в природных «закромах»? Что происходит с телесным сознанием после смерти тела? В феврале 1916 года в самый разгар Первой мировой войны в Петербурге на научной конференции прозвучали слова академика Владимира Михайловича Бехтерева: «Смерти нет, господа! Смерти нет! Это можно доказать. И доказать строго логически. Человеческая личность бессмертна!».

9. Для управления свободой, данной человеку Природой, создан автономный орган управления Человеком – его мозг. Причем Человек в этой связке может сказать «мой мозг» лишь в том смысле, что каждый индивидуум бесплатно и пожизненно носит его в своей черепной коробке, старательно кормит и ублажает. Подавляющим числом возможностей своего мозга Человек управлять не может, а вот мозг полностью руководит всеми функциями организма, причем за редким исключением «мозг» не интересуется мнением человека. Телесное сознание, как сущность, принимающая окончательное решение, контролирует все движения организма; регулирует перемещение тысяч различных веществ через клеточные мембраны; 24 часа в сутки оно озабочено тем, как работают почки, печень, сердце, что делает гортань и мышцы, как меняется состав крови, кого можно любить, а кого ненавидеть и т.д. и т.п. Иными словами, это мозг может сказать: «Мой человек», но он скромно и молча исполняет свой долг перед Матерью-Природой, которая его создала. Таким образом именно мозг является квинтэссенцией телесного сознания Homo Sapiens, а тело – это лишь бессловесный робот, исполняющий его волю без права на собственное мнение.

10. Для целей настоящего исследования в структуре мозга рассмотрим три основные части: стволовую часть мозга, правое и левое полушария. Эти блоки формируются у взрослеющего ребёнка последовательно. Полноценное развитие каждого происходит в определенное время и требует определенных условий. Современная наука утверждает, что Homo Sapiens рождается неразумным животным и лишь первые 3-6 лет его доращивания родителями могут превратить его в Человека. А могут и не превратить!

11. Хронологически первым в работу по очеловечиванию родившегося «звереныша» вступает стволовая часть мозга. Специализированные исследования подтверждают, что в стволовой части мозга «сконцентрирован» пучок социально-экономических отношений, которые учёные обобщенно называют «ХОЧУ». У ребенка этот отдел активизируется родителями в младенчестве в первую очередь и требует любви матери, постоянной демонстрации её точно

выраженных искренних эмоций. На уровне преобладания первого отдела мозга индивид живет удовлетворением потребностей гомеостаза. Его «хочу» ведет индивидуума по жизни, и ценностью он является только сам для себя. Он легко контактирует с людьми и добывает из социума всё необходимое для жизни. Он адаптирован к социуму и его приспособленность часто ненавязчива и приятна. Этот тип поведения учёные называют «индивидуум-Хочу».

Из рожденной «зверушки» может получиться Человек тогда и только тогда, когда родители, социально-экономические условия искусственной среды обитания (экономики) и все прочие обстоятельства, воздействующие на индивидуума в раннем возрасте, сформируют в нем лишь одно «хочу» – хочу учиться, чтобы быть полезным другим людям. Но это лишь экспресс-анализ развития самого низшего отдела человеческого мозга.

12. Следующий отдел мозга человека – левое полушарие (у правшей) функционально запускается позднее. Всю совокупность бесконечного набора функций данного полушария для целей нашего исследования учёные называют «МОГУ». Индивидуум в своем развитии левого полушария головного мозга может достигнуть следующей стадии очеловечивания, которую учёные называют «субъект-Могу». На уровне развития этого полушария субъект постоянно проверяет себя. Для субъекта важно подтверждение, что он действительно может, вследствие этого победа в борьбе становится смыслом его жизни. Субъекты легко встраиваются в иерархию. Там, где встречаются два субъекта, мгновенно происходит выяснение отношений – «кто из них круче». Субъекты – это обитатели любых иерархий – социальной, военной, государственной, бандитской. В иерархии субъект неотличим от такового в любом животном сообществе. Именно поведение субъекта дает все аргументы социал-дарвинизму и протестантскому индивидуализму. Для них «личность» не существует и западные научные работники постоянно об этом твердят.

13. Завершение формирования типа поведения Homo Sapiens учёные связывают с началом периода полового созревания. Запуск процессов функционального развития третьего отдела мозга – правого полушария (у правшей) может осуществляться исключительно на фоне стресса, которому должен подвергаться взрослеющий субъект. Лишь адреналин и некоторые другие гормоны способны запустить адекватное развитие этого третьего отдела «человеческого компьютера». Таким стрессом может быть отлучение от семьи, служба в армии и т.п. Но если родителям удалось уберечь свое чадо-субъект от стресса, то «личности» из него уже гарантированно не получится. На правое полушарие учёные обобщенно возлагают функцию «ДОЛЖЕН». Только «должен» здесь следует понимать не как внешнее физическое или экономическое принуждение. Личностное «должен» является имманентным свойством Человека – «Я ВЫБИРАЮ», опирающегося на солидарный и творческий мотив своей деятельности (по Гэлбрейту). Крайне важно понимать, что только полноценно развитый (запущенный в эксплуатацию) третий блок мозга отождествляется с «личностью». Сформированный в развитом виде третий блок мозга среди людей достаточно редок. Он возможен при полностью сформированных первых двух блоках и адреналиново-стрессовом характере развития субъекта в период полового созревания.

14. Таким образом мы имеем не усреднённое общество, а метрически определённый набор индивидуумов, субъектов и личностей. Их можно легко выявлять на социальном уровне, сопоставляя наборы потребностей, интересов и ценностей «индивидуумов», «субъектов» и «личностей». Простыми словами можно перефразировать данную триаду: «что человеку нужно, в чём он заинтересован и что ему дорого».

15. Данная общая классификационная градация типов поведения людей может ещё углубляться. Мы рассмотрим лишь по две крайние позиции.

- Индивидуумы-Хочу могут иметь ценностные установки от «хочу, чтобы все меня ублажали» до «хочу быть полезным всем людям»;

- Субъект-Могу занимает пространство от нравственной установки от «могу добиться доминирования над всем миром силой» до «могу стать лидером человеческого социума благодаря своим личностным качествам и сделать мир лучше, чище, добрее»;
- Личность-Должен не имеет большого разброса вариантов, так как его миссия – служение социуму. Разброс поведения может создавать лишь различное понимание личностью добра и зла. Личность в иерархию не встраивается, так как она «должна» лишь самой себе, а не вышестоящему субъекту. Личность генерирует структуры для организации субъектов и индивидуумов, причём как иерархические, так и фрактальные. Для личности свои интересы вторичны по сравнению с интересами более слабого члена сообщества. Личность стоит на страже эффективности пор Парето. Долг личности характеризует её внутреннюю силу и часто проявляется в форме развития малых, слабых и недоразвитых членов сообщества. Он выражается в стремлении создать и поддерживать условия для развития всех и каждого в масштабах данной личности.

16. Представленная классификация типов поведения Человека-разумного не ставит своей целью уничижительной градации людей. Она столь же научна и не отличается от типизации различных психотипов: «холерик», «сангвиник», «меланхолик» и «флегматик». Успешно пройти все стадии очеловечивания могут любые дети, не имеющие физиологических и ментальных дефектов. То есть исходные позиции у всех рождающихся младенцев абсолютно равные. Лишь личное желание родителей и социума могут лишить человеческое существо возможности превратиться в личность. В природе Homo Sapiens самобытное интеллектуальное развитие заложено как Вселенский закон. Лишь рукотворные социальные условия цивилизации покорителей Природы и родительская безграмотность может остановить ментальный прогресс ребёнка на стадии «индивидуум» или «субъект».

17. Только при гармоничном развитии (по крайней мере) трёх отделов человеческого мозга с положительным моральным и нравственным вектором из родившегося звереныша может получиться личность, способная стать Производителем новых социально-экономических отношений будущей формации. Это и будет целостная личность будущего ДОБРОТВОРЕНИЯ.

18. Возвращаясь к проблеме адекватного и природоподобного процесса управления обществом, следует подчеркнуть, что без учёта данной социобиологической особенности поведения различных людей, любые предложения и решения будут профанацией или насилием. Природа породила различные типы людей для исполнения разнообразных функций в обществе. В наиболее общем виде можно сделать следующие **выводы** [4]:

- только учёных-личностей можно рассматривать как потенциальных производителей прогресса человеческого общества. Это должна быть не закрытая семейственная секта, а меритократически обновляемая часть социума, организованная в соответствии с фрактальными принципами устройства социума в целом и отдельных его частей. Учёные-личности формируют группу «Производители»;
- субъекты в своём большинстве могут претендовать на социальную роль управленцев в обществе. Однако управлять социально-экономическими процессами они должны в строгом соответствии с принципами, устанавливаемыми личностями и контролироваться индивидуумами-хочу. Субъекты формируют группу «Управленцы»;
- индивидуумы составят наиболее представительную группу, которую обобщённо можно назвать «Потребители». Они же составят и основную массу людей, которые будут воплощать знания, полученные учёными из закромов Природы, в конкретные материальные и цивилизационные ценности под руководством субъектов.

19. Главную ошибку технократического и инженерного подхода к процессам управления обществом необходимо срочно пресечь и отказаться от применения любых моделей социума и экономики, которые не соответствуют реальной структуре имеющегося в наличии сообщества. Усреднённый подход по аналогии с Homo Economicus на этапе перехода от цивилизации по-

корителей Природы к цивилизации сосуществования с Природой и от капиталитаризма к гуманистической общественно-экономической формации является не просто контрпродуктивным, но и губительным для Человечества. Это касается всех сторон жизни людей, включая и развития информационных технологий. Например, прежде чем работать над созданием искусственного интеллекта надо чётко понимать, что будет копироваться: индивидуум-Хочу, субъект-Могу или личность-Должен. Природа создала все эти типы для гармонии. Они должны сосуществовать причём в природоподобных пропорциях. Нарушение этих, пока малоизученных закономерностей может привести к катастрофе.

Список литературы

[1] Шредингер Э. (Нобелевский лауреат) Мой взгляд на мир. URSS, Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2014, с. 77.

[2] Смеянович А.Ф. У сознания нет места в теле, а связь мозга и мысли – тайна дремучая. [Электронный ресурс: http://econet.ru/articles/126736-arnold-smeyanovich-u-soznaniya-net-mesta-v-tele-a-svyaz-mozga-i-mysli-tayna-dremuchaya].

[3] Черниговская Т. Как Интернет влияет на наш мозг. [Электронный ресурс: p-i-f.livejournal.com, 04 июня 2016 521402]

[4] Кретов С.И. Гуманистическая общественно-экономическая формация. Политическая экономия будущего. Том 2. Отдел 3. Главы 1-6. Восьмая часть: Производные социально-экономические отношения политической экономии будущего. Отношения «Производитель – Потребитель». – М.: Издательство «ДОБРОТВОРЕНИЕ», 2017. – 210 с. [Электронный ресурс http://www.dobrotvorenie.ru и http://www.добротворение.рф].

Biography

S.I.Kretov, Dr.Sc.(econ), http://www.famous-scientists.ru/14451

К ПРОБЛЕМЕ ТЕХНОМОДИФИКАЦИИ И ИНТЕГРАЦИИ ЧЕЛОВЕКА В ТЕХНОГЕННОМ МИРЕ

С.Ф. Сергеев

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого
195251, Санкт-Петербург, Политехническая, 29, Россия
ssfpost@mail.ru
тел: +7 (911) 995-09-29

Ключевые слова: *векторы модификации, интеллектный симбиоз, интерфейсы, конвергентные технологии, синтетическая биология и психология, техномодификация, техноинтеграция*

Abstract

The article deals with the issues of human modification and integration in the technogenic world. We have identified the problem fields, technologies and areas of modification of the mental and cognitive spheres of man. The influence of technologies on the degree of integration of the user and man-made environment is shown. We consider the subject and conceptual areas of synthetic psychology, studying the processes of technomodification of the human psyche.

Введение

Эволюция техногенной среды человеческой цивилизации планеты Земля, ее проникновение во все уровни организации общества, человеческого тела и психики приобретает тотальный характер, сопровождаемый организованным повышением уровня межсистемной интеграции, воплощенности в среду, интеллектуальности и дружественности человеку, возникающего нового технобиотического единства.

Процессы био-социо-техно-интеграции, реализуемые конвергентными технологиями (NBICS, GNR, GRIN, GRAIN, BANG) в глобальном масштабе, меняют всё в жизни человека, модифицируя организм, психическую и социальную сферы человека [1, 2]. Наблюдаются значительные изменения в формах и свойствах основных психических процессов, механизмов сознания и порождающего их физиологического субстрата мозга.

1 Направления и проблемные поля интеграции и техномодификации человека

Можно выделить две тенденции в использовании технологий для модификации и интеграции человека в искусственные среды:

- создание интерфейсов между телом человека и управляемыми элементами техносреды и
- модификация мозга, сенсорных и сенсомоторных систем, механизмов психического и сознательного регулирования.

Для решения проблем первого направления перспективно использование NBICS (N-nano, B-bio, I-info, C-cogito, S-social)- технологий с целью формирования виртуальной мультимодальной рабочей среды, микромехатроники, технологий дополненной реальности и индуцированных сред [3]. Основные методологические категории: взаимодействие, алгоритмизация, адаптация, регулирование.

Технологии второго направления связанны, прежде всего, с геномной инженерией (технологии редактирования генома CRISPR-CAS9, TALEN и др.), синтетической биологией и психологией и их вариантами, связанными с изменениями мозга на генетическом, молекулярном и структурно-функциональном уровнях, а также технологии в рамках конвергентных кластеров: GNR – G-genetics, N- nanotechnology, R-robotics; GRIN – G-genetic, R-robotic, I-information, N-nano processes; GRAIN – G-genetics, R-robotics, AL- artificial Intelligence, N-nanotechnology, BANG – B-bits, A-atoms, N- neurons, G-genes. Основные методологические

категории: взаимоориентация, интеграция, механизмы жизни, операциональная замкнутость, организованная сложность развитие, самоорганизация.

Можно выделить следующие проблемные поля, этапы, направления и формы техномодификации психики и техноинтеграции человека с технобиотической средой:

- взаимодействие человека с естественным миром и его объектами (проблема интерфейса);
- взаимодействие человека с искусственными объектами, системами и средами (проблема присутствия в среде, иммерсивность, интерактивность);
- взаимодействие человека с искусственными системами и средами, наделенными искусственным интеллектом (проблема интеллектного симбиоза, энактивация);
- техномодификация субъективной реальности (проблемы создания новых и дополнительных сенсорных модальностей и их интеграция в новые формы субъективных реальностей);
- техномодификация эмоционально-чувственной сферы (новые формы чувственности и эмоций);
- техномодификация человеческого «Я» (проблема искусственного субъекта);
- проблема интеллектных форм симбиоза (связь и усиление интеллекта человека в интеллектуальной среде);
- искусственный разум, искусственный, распределенный в среде, разум (проблема конструирования);
- социальные процессы в сетевой коммуникации;
- техногенная личность (проблема отбора и воспитания, полезных обществу, не отвергаемых механизмами технобиотической иммунной системы, личностей).
- техномодифицированное общество.

Психология техноинтеграции включает в сферу своих интересов психологические дисциплины, отражающие результаты целенаправленного изменения человеческой психики под воздействием техносреды и эволюционирующих глобальных механизмов интеграции человека с искусственным миром технобиода. Психология техномодификации рассматривает проектирование и реализацию новых психических форм с заданными свойствами с помощью технологий.

2 Психологические проблемы интерфейса с высокой степенью интеграции

Исторически первой и достаточно изученной психологической проблемой техноинтеграции является проблема интерфейса, в которой впервые рассмотрены вопросы взаимодействия человека с техникой и технологией [4]. Она решается методами инженерной психологии, эргономики, юзабилити и инженерного проектирования [5]. Можно выделить несколько этапов развития интерфейсных форм связи человека и техники. Первый этап связан с созданием механических интерфейсов, обеспечивающих физические взаимодействия человека с управляемой системой. На втором этапе взаимодействие осуществляется через информационную модель, отражающую свойства управляемого объекта.

Дальнейшее усиление степени интеграции человека с интерфейсной средой предполагает выход за пределы классических телесных и физико-алгоритмических взаимодействий (Таблица 1). Именно здесь, на этапе интеграции с человеком на биофизическом и нейропсихологическом уровне (нейрокомпьютерные интерфейсы), начинаются проблемы, свидетельствующие об ограниченности нашего знания. Популярный в инженерной среде интерфейс мозг-компьютер BCI (от англ. brain–computer interface) рассматривается как нейротехнология обеспечивающая процессы коммуникации человека с внешними устройствами без использования мышц и периферических нервов, только на основе регистрации электрической активности головного мозга. Отметим, что успехи данной технологии, несмотря на окружающий ее пиар в средствах массовой информации, довольно скромны. Технология используется в очень огра-

ниченном варианте в реабилитационной медицине и в сфере управления протезами конечностей. Ее развитие сдерживается высокой сложностью и слабой изученностью мозга, отсутствием в нем входов-выходов, инвазивным характером точек контакта с мозгом и нервной системой. Несмотря на это, интерес к данной технологии очень высок. Идет поиск нейрофизиологических коррелятов субъективным состояниям и вербальным стимулам. Например, используются методы выделения вызванных потенциалов P300 на задуманный пользователем стимул-сигнал [6], создаются системы классификации электроэнцефалографических сигналов воображаемых движений.

Таблица 1 – Классификация интерфейсных сред по степени интеграции

Тип интерфейса (интерфейсной среды)	Степень интеграции пользователя и среды	Объект управления
Механический. Зрительная обратная связь (ОС)	На уровне физических взаимодействий с органами управления	Физический объект в среде деятельности
Механический. ОС через информационную модель	На уровне выполнения алгоритма работы на рабочем месте	Информационная модель управляемого объекта
Компьютерный пользовательский	На когнитивном уровне с виртуальными объектами	Реальные и виртуальные объекты
Виртуальный	На уровне симбиоза органов чувств с иммерсивной средой	Виртуальная среда и ее элементы
Симбиотический	Совместная работа с искусственным интеллектом среды	Среды с искусственным интеллектом
Нейрокомпьютерный, “мозг-компьютер”	На биофизическом и нейропсихологическом уровнях	Физический или виртуальный объект в среде деятельности
Биоморфный	Включение искусственных структур в системную организацию тела	Мозг, субъективная сфера
Технобиотический	Полная, рабочая среда часть киберорганизма	Мозг в искусственном теле
Воплощенный в среду искусственный разум	Полная. Актор является организующей частью рабочей среды	Искусственный разум на небиологических носителях

Следующий уровень интеграции человека и технических сред связан с применением технологий биоморфной нейроадаптивной интеграции [7]. Основные отличия данной технологии от «компьютер-мозг» интерфейсов заключается в изменении подхода к интерфейсу от обеспечения непосредственного воздействия на физиологические и перцептивные системы к включению искусственных структур в системную организацию организма. Например, создание новых органов чувств методами генной инженерии, хотя мы должны признать довольно серьезную ее ограниченность при создании сложных биотехнических систем. Это требует изменения методологии проектирования интерфейсов. По современным нейробиологическим представлениям живые организмы на всех уровнях их функционирования представляют собой аутопоэтические системы, существующие в виде сетевых паттернов самоорганизации. В них реализуются рекурсивные, циклически повторяющиеся процессы разной качественной природы. Непосредственное вмешательство в работу данных систем приводит к их разрушению, так как нарушается их операциональная замкнутость, обеспечивающая их структурно-функциональное воспроизведение. Следовательно, включение новых сенсорных модальностей, чувствительных к спектрам изменений физической реальности, не должно нарушать работу системных механизмов мозга.

Разработка биоморфных нейроадаптивных интерфейсов является актуальным и перспективным научно-техническим и инженерно-психологическим направлением в создании интерфейсных форм, расширяющих перцептивные возможности человека при работе в сложных техногенных средах. Появляются новые возможности по созданию искусственных органов чувств и перцептивных систем человека, дающие возможность сформировать у человека новые более эффективные или дополняющие существующие формы субъективной реальности, обогащающие мир человеческого опыта. Интеграция новых биоморфных форм интерфейса у человека с эргатическими системами и средами позволит получить новые свойства возникающих гибридных человеко-машинных систем и сред.

3 Техноинтеграция и симбиоз человека с глобальными информационно-коммуникационными средами

Наиболее ярко эффекты техноинтеграции проявляются при включении человека в среду сети интернет. Это лаборатория по исследованию процессов нарушения или изменения форм социальной и коммуникации. По мнению ряда исследователей (А.Е. Войскунский, Г.У. Солдатова, Н.С. Хомерики, Е. Шамис и др.) интернет является сильным фактором, ведущим к появлению феноменов зависимости человека от виртуальной среды [8]. Наблюдаются изменения в функционировании высших психических функций: «трансактивная память, сниженная концентрации внимания, синдром дефицита внимания, рассеянное внимание, сенсорная депривация, искажение в восприятии людей, снижение способности к эмпатии, клиповое мышление, калейдоскопическое знание, неспособность к работе с большими текстами и воспроизведению смыслов, проводить анализ, дефицит словарного запаса, способность к поиску информации, а не решению задач, неспособность к системному мышлению» [9].

Добавим к вышеперечисленному списку феномены упрощения сознания, потери и/или модификация ряда базовых когнитивных функций, появление новых ранее не существовавших свойств психической и когнитивной организации.

Вместе с тем именно в интернете наблюдаются эффекты значительного усиления когнитивных возможностей человека, что проявляется в появлении эффектов интеллектного симбиоза [10]. Проблема искусственного интеллекта является самой популярной в научно популярной и фантастической литературе, вызывая мрачные прогнозы апокалиптического будущего в мире умных машин. Вместе с тем эта тема интересна и психологам, но по другим причинам. Нас интересует не доминирование искусственного интеллекта над естественным интеллектом, а возникающие возможности их объединения и взаимного усиления в сети. Возникает новое психологическое явление – интеллектный симбиоз, демонстрирующий синергетическое объединение и дополнение интеллектов, имеющих естественное и искусственное происхождение и сопровождающих их функций.

По нашему мнению все организующие мир и природу силы можно обозначить термином «интеллект» вне природы их носителей, что радикально отличается от психологического определения интеллекта, как понятия отражающего форму «организации когнитивного опыта человека, представленного в виде “накопленных” в ходе онтогенеза понятийных психических структур» [11]. Механизмы искусственного интеллекта вырвались за пределы человеческого разума, и наполняют гибридную искусственную среду техно-организуемого мира.

Организующее воздействие интеллекта глобальных информационных сетей и их динамического контента на пользователя формируют также и, в значительной мере стандартное, социальное поведение человека в сети.

Излишняя организующая сила техногенного общества деформирует механизмы естественной эволюции человека, заменяя их воздействием самоорганизующейся среды. В результате повышаются риски криминализации человека техногенного (natus technology), воспринимающего внешнее организующее действие сети как форму насилия, принуждения. Возникает

новая сфера психологической деятельности – психология девиантного поведения в условиях техногенного давления.

4 Синтетическая психология

Развитие процессов и технологий техноинтеграции и техномодификации создает новые направления психологии, которые можно объединить термином *синтетическая психология*.

Под синтетической психологией будем понимать – новое научное направление в психологии трансграничное с синтетической биологией, которое изучает методы создания и последствия социального и иного существования психических структур с заданными, неизвестными ранее функциями и свойствами.

Одним из важных вопросов данной дисциплины будет вопрос о минимально возможной структуре порождающей психику и стабильные формы сознания. Кроме того рассматриваются психологические особенности человека наделенного:

- искусственными органами и системами чувств (в том числе и с новыми функциями и свойствами);
- искусственными эмоциями;
- искусственным сознанием;
- искусственной памятью (гибридной, распределенной в информационных средах и т. д.).

Заметим, что сейчас мы многого не знаем о сущности возникающих искусственных психических явлений, диапазонов и границ, в которых они существуют, что позволило бы перейти к решению технологических задач техномодификации. По настоящее время создание интерфейсных объединений «человек-машина» не затрагивало сущностных особенностей субъективной реальности, а именно:

- мультимодального характера, проявляющегося в целостности восприятий и наличии качественной организации, редуцирующей спектры физических воздействий на перцептивные системы в субъективные образы;
- наличия пространственно-временной структуры и событийного характера изменений, отражающих причинно-следственные связи объективного мира;
- наличия субъекта, играющего роль активного наблюдателя и деятеля [12].

Вмешательство в перцептивную сферу человека, расширение ее возможностей позволяют когнитивной системе человека эффективнее использовать диапазоны электромагнитных волн недоступные естественным органам чувств. Однако в настоящее время эта операция производится лишь путем аппаратного преобразования интересующих диапазонов в перцептивно доступные формы (электрооптические преобразователи, тепловизоры, приборы ночного видения, ультразвуковые локаторы, эхолоты и т. д.).

Техномодификация субъективной реальности представляет собой форму целенаправленного изменения свойств субъективной реальности человека посредством технологий, и здесь основную роль играют технологии генной инженерии. Психология возникающих искусственных чувственных форм в дополнение к психологии человека в естественном мире делает первые шаги и очень важно, чтобы она не стала жертвой технократических представлений о жизни.

Искусственные органы чувств (сенсорная инженерия) – приводит к появлению искусственных дополнительных модальностей в субъективной реальности. Возможны дополнительные или модифицированные органы чувств. Важно насколько они могут интегрироваться в единую картину мира субъекта.

Заключение

Важной проблемой техномодификации является свмоорганизующийся характер живого, что препятствует управлению этими процессами извне. Действия, связанные с конструированием живого являются технологической интервенцией в процессы, имеющие внутреннюю логику и механизмы существования. В результате могут быть повреждены базисные структуры, определяющие механизмы жизни.

Генетические эксперименты могут вести к безграничному процессу модификации тела и неясно, какие формы психического будут в них порождаться, и насколько они жизнеспособны. Возникает нравственная проблема в том, что делать с «неудачными образцами» человеческого материала, полученными в результате глубокой техномодификации? Радикальные решения напоминают попытки создания нового человека в советской идеологии и сверхчеловека в гитлеровской Германии.

Ключевой вопрос синтетической психологии связан с решением проблемы социализации техномодифицированных организмов и человека.

Благодарности

Выражаю признательность сотрудникам Института проблем управления сложными системами РАН высказавшим замечания и давшим рекомендации по усовершенствованию данной статьи и лично Боровику С.Ю.

Работа поддержана грантом РФФИ (проект 16-08-00313).

Список литературы

[1] Сергеев С.Ф. Глобальные техногенные среды в эволюции человеческой цивилизации // Вестник Московского университета им. С.Ю. Витте. Серия 1: Экономика и управление. – 2013 – № 1. – С. 80–86.

[2] Глобальное будущее 2045. Конвергентные технологии (НБИКС) и трансгуманистическая эволюция. Под ред. Проф. Д. И. Дубровского. – М.: Издательство МБА, 2013.

[3] Сергеев С.Ф. Эргономика иммерсивных сред: методология, теория, практика: дис. … д-ра психол. наук: 19.00.03. – СПб, 2010.

[4] Сергеев С.Ф. Психологические аспекты проблемы интерфейса в техногенном мире // Психологический журнал. – 2014. – Том. 35. – № 5. – С. 88–98.

[5] Магазанник В.Д., Львов В.М. Человеко-компьютерное взаимодействие. – Тверь: Триада, 2005.

[6] Ганин И.П., Шишкин С.Л., Кочетова А.Г., Каплан А.Я. Интерфейс мозг-компьютер “на волне P300”: исследование эффекта номера стимулов в последовательности их предъявления // Физиология человека. – 2012. – Т. 38. – № 2. – С. 5–13.

[7] Сергеев С.Ф. Нейроадаптивные биоморфные интерфейсы в эргатических системах: проблемы и решения // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2016. – Т. 17. – № 9. – С. 599–605.

[8] Войскунский А.Е. Психология и интернет. – М.: Акрополь, 2010.

[9] Кишиков Р.В. Интернет-аддикция подростков цифрового поколения // Современная прикладная психология: теория и практика. Сб. статей Международной научно-практической конференции. XII Левитовские чтения. Отв. ред. Н.Т. Колесник. Т. 1. – М.: МГОУ, 2017. – С. 49–53.

[10] Сергеев С.Ф. Интеллектные симбионты в эргатических системах // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2013. – № 2 (84). – С. 149–154.

[11] Холодная М.А. Когнитивные стили. О природе индивидуального ума: Учебное пособие. – М.: ПЕРСЭ, 2002.

[12] Дубровский Д.И. Психические явления и мозг. – М.: Наука, 1971.

ПУТИ РАЗВИТИЯ РОССИЙСКОГО ИНФОРМАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА «В ОБГОН» МИРОВЫХ ЛИДЕРОВ

В.В. Шпак

АО «НИИМА «Прогресс»
125183, Москва, проезд Черепановых, д.54, Россия
shpak@mri-progress.ru
тел. +7(499)153-03-11, факс +7(499)153-01-61

Ключевые слова: *информационно-технологический комплекс, микроэлектронная аппаратура, движение «в обгон», самодостаточность экономики.*

Abstract
The article shows the complexity of the task declared by President V.V.Putin in March 2018 on the special meeting on the microelectronics problems and plans. The complexity of the task needs the complexity of decisions. This is the main content of the article.

1) Усиливающееся санкционное давление на Россию и задачи формирования современной модели цифровой экономики, определённые Президентом РФ, ставят перед микроэлектронной отраслью страны беспрецедентные задачи.
2) Решение этих задач возможно в комплексе с учётом следующих факторов:

- большого объёма научно-технологических наработок ещё советского периода, которые необходимо проинвентаризировать и провести их глубокий ТРИЗ-аудит;
- интенсивного стратегического планирования развития микроэлектроники в стране сопряжённого с развитием отраслей экономики – потребителей микроэлектронной аппаратуры;
- переориентации высшего и среднего специального образования в экономических центрах, производящих технику с применением микроэлектронной аппаратуры, на цифровые стандарты «завтрашнего дня»;
- формирование системы непрерывной переподготовки кадров для предприятий микроэлектронной аппаратуры на базе НИИМА «Прогресс»;
- создание и оснащение лаборатории для глубокого исследования и анализа лучших мировых образцов микроэлектронной аппаратуры и разработки системы дорожных карт «в обгон» конкурирующих компаний и стран;
- создание нового направления в Теории решения изобретательских задач (ТРИЗ) в области микроэлектронной аппаратуры.

3) В числе приоритетных проблем подотрасли следует выделить развитие мультиагентных технологий управления по всей цепочке: «фундаментальные исследования – создание лучших образцов в ходе поисковых и прикладных работ – организации локализованной в России кооперации в производстве – создание динамических устойчивых связей (в том числе обратных) с потребителями – создание базы данных по результатам эксплуатации микроэлектронных компонент и готовых изделий». [1]
4) В связи с тем, что микроэлектронная аппаратура является наиболее критической компонентой в современной гражданской и военной технике целесообразно в рамках концерна «Росэлектроника» сконцентрировать права комплексного сетевого планирования достижения конечного результата, опережающего мировые образцы, в формате, отработанном Минобрнаукой, в том числе:

- разработка, формирование и утверждение Комплексной целевой программы «Микроэлектронная аппаратура»;
- создание научно-координационного совета для стратегического управления КЦП «Микроэлектронная аппаратура»;
- оценка критических технологий в рамках КЦП «Микроэлектронная аппаратура» и разработка дорожной карты движения «в обгон» конкурентов;
- создание открытого и доступного реестра разработчиков микроэлектронной аппаратуры в стране с включением в него потенциальных кандидатов из других стран;
- на первом этапе обеспечение импортозамещения в ходе реализации реализации КЦП «Микроэлектронная аппаратура»;
- на втором этапе реализация коммерческого превосходства отечественных разработок и изделий для частных производств – потребителей микроэлектронной аппаратуры, локализованных в России;
- на третьем этапе выведение продукции подотрасли на мировой рынок микроэлектронной аппаратуры.

5) Микроэлектроника претендует на важнейшее звено в технологиях шестого уклада. Для её перевода в будущий уклад необходимы фундаментальные разработки в смежных отраслях, включая:
- материаловедение;
- освоение природоподобных технологий получения заданного результата;
- включение нейро- и био- компонент в микроэлектронную аппаратуру.

6) Движение «в обгон» требует непрерывного и высокопрофессионального мониторинга иностранных фундаментальных и прикладных разработок. Для этих целей требуется развитие специализированной общероссийской лаборатории сравнительного тестирования.

Опыт последних лет показывает, что для сохранения достигнутых технико-тактических характеристик радиоэлектронной аппаратуры (ТТХ РЭА) и поддержания тенденции совершенствования изготовителям аппаратуры требуется более 5 тысяч типов и типономиналов электронной компонентной базы (ЭКБ). [2] Лаборатория должна:
- отслеживать компоненты всей ЭКБ;
- анализ перспективных новых компонент ЭКБ в дополнение к существующей;
- вырабатывать предложения по выпуску компонент ЭКБ для снятой с производства, но эксплуатируемой техники.

7) Движение «в обгон» можно реализовать на основе сочетания в структуре подотрасли мегафабрик, ориентированных на массовое производство востребованных рынком компонент ЭКБ, и мини фабрик, способных решать любые задачи развития микроэлектронной аппаратуры в дапозоне вплоть до 10–7 нанометров. [3]

8) Движение «в обгон» предполагает активное участие российских учёных и разработчиков в мировом пространстве развития микроэлектронной аппаратуры и смежных подотраслях, включая участие и глубокое системное изучение западных специализированных публикаций по данной теме, приглашение в Россию ведущих специалистов в данной сфере как на временной, так и на постоянной основе и т.п.

9) Особое внимание должно быть уделено воспроизводству отечественных специалистов высшей квалификации, способных генерировать решения выше мировых стандартов. Для этого при ведущих институтах, лабораториях и промышленных предприятиях страны необходимо создавать научно-образовательные структуры, которые позволят студентам и аспирантам быть в курсе самых передовых решений и вносить свой вклад в опережающее развитие подотрасли. В системе обучения и быстрой адаптации специалистов в реальном производственном процессе важнейшей задачей является создание полностью локализованной САПР и её применение на всей цепочке от ВУЗа до завода-изготовителя. [4]

10) В рамках международного разделения труда развитие микроэлектроники в России является залогом экономического суверенитета страны и её экономической безопасности. Создание отечественной микроэлектронной базы для продукции экспортного назначения является лучшим стабилизатором международной торговли в частности и международных отношений в целом. [5]
11) Экстенсивное внедрение микроэлектронной аппаратуры в технику приведёт к существенным изменениям макроэкономической структуры рабочих мест и качества рабочей силы. Чтобы избежать социальной напряжённости необходимо сформировать общенациональную программу массовой переквалификации трудовых ресурсов страны в связи с внедрением в экономику цифровых технологий.
12) Важнейшей задачей подотрасли и российской высокотехнологичной промышленности в целом является формирование инфраструктуры управления страной, опирающейся исключительно на отечественные разработки, не имеющие аналогов в мире, создание российского сегмента информационной сети, способного противостоять внешним и внутренним киберугрозам с абсолютной надёжностью и самодостаточного для автономного поддержания всех цифровых технологий будущей экономики шестого технологического уклада.

Список литературы

[1] Оптнер С.Л. Системный анализ для решения деловых и промышленных проблем. М.: «Советское радио», 1969.
[2] Павлюк М.И. Нам дали шанс, который выпадает раз в жизни. «Электроника НТБ», 2015, № 7, с.18.
[3] Хохлун А.Р. Концепция создания в России мини-фабрик по производству современных интегральных микросхем. «Вектор высоких технологий», 2015, № 5.
[4] Шпак В.В. Центр коллективного пользования САПР микроэлектроники (АО «НИИМА «Прогресс»)
[5] Шиллер В., Шпак В. Независимость российской электроники от импорта – необходима и возможна. «Электроника: науки, технология, бизнес», 2016, №6, с. 1-5.

Control and Optimization Methods in Complex Technical Systems

Методы управления и оптимизации в сложных технических системах

MULTI-STAGES OPTIMIZATION ANALYSIS IN DESIGNING OF A SURFACE HARDENING INDUCTION PROCESS

M. Baldan, A. Nikanorov, B. Nacke

Institute of Electrotechnology, Leibniz University Hannover
30167, Wilhelm-Busch-Str. 4, Hannover
baldan@etp.uni-hannover.de
Tel: +49 (511) 762-5116, Fax: +49 (511) 762-3275

Key words: *multi- and single-objective optimization, inductor design, multi-stages approach, induction hardening*

Abstract

Индукционное поверхностное упрочнение является довольно традиционным и хорошо известным процессом, в котором металлическая деталь индукционно нагревается, а затем остывает. Закаленный металл претерпевает мартенситное превращение, увеличивая твердость детали. Проектирование системы поверхностного упрочнения представляет собой сложную проблему, в которой учитываются как электрические, так и геометрические параметры. В предлагаемой статье делается попытка разделить проблему на более простые задачи и оптимизировать первый, т.е. электрический режим. Сравнивается эффективность использования одноцелевого, а не многоцелевого подхода к оптимизации.

Introduction

The design of induction hardening systems involves defining both the electrical regime and geometry of the induction coil. This implies a considerable number of degrees of freedom, which must be set in order to reach a given goal. In the last decades, the use of numerical simulations has been a key element in designing induction systems. Especially in the case of complex geometry work-pieces, using only one numerical model for establishing the whole degrees of freedom set can be extremely time consuming. In order to overcome this issue, the full problem may be divided into simpler ones [1-2].

Optimization plays a key role in designing induction heating systems [3]. Some optimization models dealing with induction hardening by means of numerical simulation [4] or experiments [5-9] can be found in the literature. Naar et al. [4] optimized frequency and current density to achieve a temperature rise in a fixed time. Qin et al. [5] presented a response surface method (RSM) for studying und optimizing the effect of five process parameters (feed velocity, input power, gap, curvature and flow rate) on temperature, microstructure, microhardness, and phase transformation geometry in a spot continual induction hardening process. Kayacan et al. [9] applied a fuzzy approach to study the influence of coil air-gap, material diameter, cooling time, power, and frequency on the hardening depth and heating time.

In this paper, we intend to present a multi-stages approach for fully optimizing a surface hardening induction system. Starting from a complex geometry work-piece, we determinate the heating time, frequency, and current that optimally provide the desired hardening depth. The first part of the article describes the attempt to optimize the electrical regime by coupling a one-dimensional model with a multi-objective optimization algorithm. The second part investigates the use of a single-objective approach for optimizing, separately, frequency and heating time.

1 One dimensional numerical model

Numerical simulations were carried out with the commercial package ANSYS®. The one-dimensional numerical model has a planar shape and consists of a square work-piece and a massive copper coil (Figure 1). Because the model is one-dimensional, every quantity changes only in the transversal direction (y in Figure 1). The heating process has been simulated through a harmonic electromagnetic analysis coupled with a transient thermal one. Both electrical and thermal material properties are temperature-dependent. In order to obtain reliable results in induction hardening simulation, the dependency of the magnetic permeability on the magnetic field strength must be taken into account [10]:

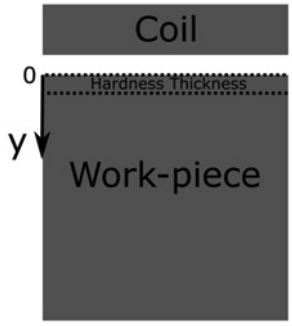


Figure 1 – Geometry of the one-dimensional model

$$\mu(H,T) = 1 + \left(2.41^{14.73-\ln H} - 1\right)\left(1 - \left|\frac{T}{T_C}\right|^2\right) \quad (1)$$

Where μ is the relative magnetic permeability, H the magnetic field strength [A/m], T the temperature [°C], and T_C the Curie temperature. The quenching phase, which is supposed to start immediately after the heating phase, has been simulated with an equivalent temperature dependent convective heat transfer coefficient (Figure 2) [11]. Quenching time is 60 s, long enough to cool down the work-piece under 100 °C. Considering that the present work focuses more on the heating stage, it should be noted that neither the flow rate nor the quenching time is an object of our optimization. From the temperature history of each node of the mesh, making use of [12], the final distribution of martensite has been calculated. In this model, the content of martensite in one point is dependent on three aspects: whether the AC_3 temperature has been reached or not, the average cooling rate, and the temperature after the quenching phase. If necessary, the hardness distribution is easily obtainable from the microstructure calculations [2,12].

2 Multi-objective optimization of the one-dimensional model

A great benefit of the one-dimensional model is its non-dependence on the work-piece geometry. Once the 1D model has been coupled with an optimization algorithm, it establishes a tool able to estimate the optimal heating time and frequency. The current is a parameter of optimization too. However, the optimal current value cannot be directly used in the next multi-stage steps because it must be adapted to the surface power that is needed in order to heat the work-piece. At the same time, results of 1D model enable us to estimate the necessary power density and therefore the installation power needed. The parameters that affect results of optimization are the steel grade, the cooling medium, the cooling time and rate, plus, of course, the hardening depth. The carbon steel C56 is considered in this work. The cooling medium is water with an estimated quenching effect visible in Figure 2. Results of optimization are thus a function only of the hardening depth.

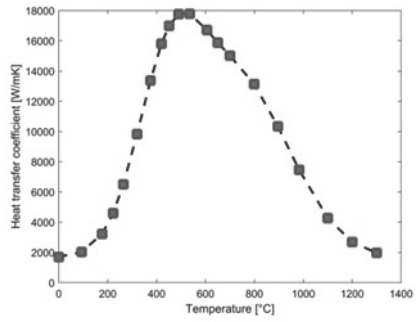


Figure 2 – Dependency of the heat transfer coefficient on temperature

For the first investigations, we decided to simplify the numerical model and to consider only the heating phase. In doing so, we identify the hardening depth with the part of the work-piece that

has been heated up over the AC_3 temperature, i.e. over 850°C. In other words, for example in the case of 3 mm hardening depth, a temperature of 850 °C has to be achieved 3 mm distant from the surface. The multi-objective optimization algorithm AMALGAM* [13] has been employed for the analysis. A three dimensional vector x of investigated variables (heating time, frequency and current) has been defined. Our first attempt focused on the trade-off between three conflicting functions, i.e. surface temperature f1(x), energy consumption f2(x) and heating accuracy f3(x). Heating accuracy in this case means how the evaluated temperature in the hardening depth differs from AC_3. It turned out that such approach is ineffective in our case, since we are interested only in the part of the Pareto front in which f3(x) trends to zero.

The next step we took was to modify the optimization algorithm. Similar to [14], a double loop was introduced (Figure 3). AMALGAM* was used in the "external loop" where the vector variable is now two dimensional (heating time and frequency) and two objective functions (f1 and f2) are considered. The "internal loop" is simply intended to find the right current that zeroes f3 and it is based on a golden section search and a parabolic interpolation. In fact, given a frequency and a heating time, there is only one value of current that able to reach the AC3 temperature in the hardening depth. As a result, each point of the obtained Pareto front is a potential solution. Despite the considerable computational time, this approach is preferable.

The following presents the results obtained with 1 and 3 mm as hardening depth. Table 1 summarizes the search ranges of the variables.

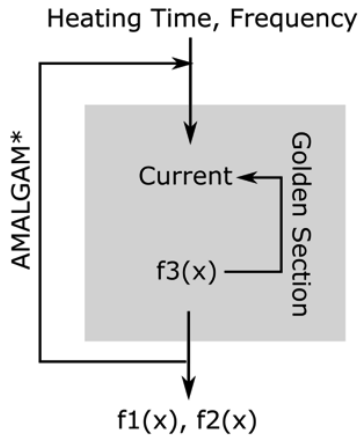


Figure 3 – Double-loop algorithm

Table 1 – Variable ranges

	1mm Hardening Depth	3 mm Hardening Depth
Heating Time [s]	*3-20*	3-20
Frequency [kHz]	*10-100*	1-20

Figure 4 shows respective 1 and 3 mm Pareto fronts after 15 generations using a population of 25 individuals.

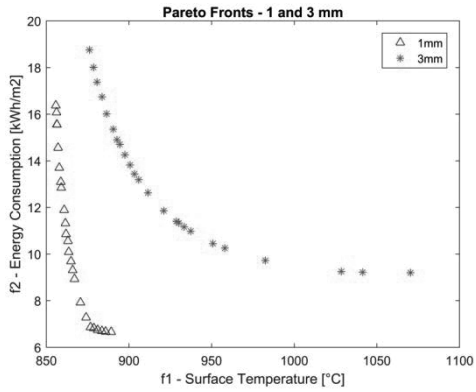


Figure 4 – Pareto fronts in the case of 1 mm and 3 mm hardening depths

Figures 5a and 5b indicate instead the "image" of the Pareto front, i.e. the values that the variables assume, for the 1 mm case. As expected, the point with minimum surface temperature is charac-

terized by the maximum time and the minimum frequency. But surprisingly, the front can be divided into two parts. In the “left” part all the points assume the minimum range frequency, whereas in the “right” one the heating time is always at minimum. From these results we can conclude that the frequency plays a minor role compared to the heating time in terms of energy consumption. Further simulations with different time ranges and hardening depths showed analogous results. In other words, in this approach, the choice of the variable ranges directly affects the obtained Pareto front. Therefore, we adopted a new strategy.

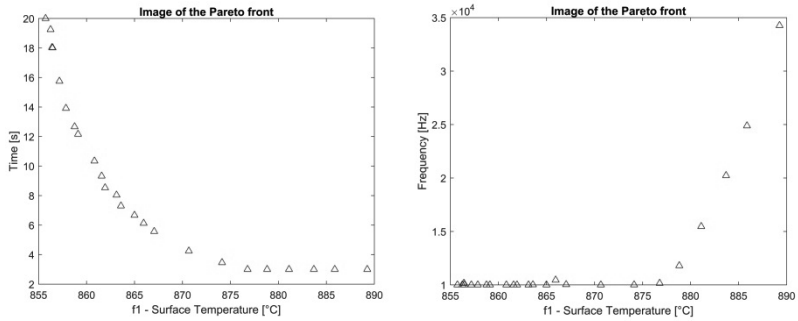


Figure 5 – „Image“ of the Pareto front in the 1 mm depth case

3 Single objective optimization of the one-dimensional model

As described above, in the Pareto front, the point with the lowest energy consumption is the point with the optimal frequency and minimum time. It is relevant to underline that no constraints on the maximum available power are taken into account. This means that a multi-objective optimization approach is here overabundant. Considering a typical heating time, the optimal frequency could be evaluated considering the energy consumption as a unique objective function. Of course, even in this case, a “double loop” approach is required and for each frequency, the current value must be corrected.

Table 2 shows results of optimal frequency for several hardening depths evaluated at different heating times.

Table 2 – Optimal frequencies for different hardening depths at several heating times

	Heating time	3 s	6 s	12 s	**Reference**
Hardening Depth	1 mm	*42.4 kHz*	-	-	**60 kHz**
	3 mm	*9.6 kHz*	*8.5 kHz*	*6.5 kHz*	**6.67 kHz**
	5 mm	*3.0 kHz*	*3.2 kHz*	*3.0 kHz*	**2.4 kHz**
	8 mm	*1.04 kHz*	*1.09 kHz*	*1.03 kHz*	**0.94 kHz**

In the 1 mm hardening depth case, the energy consumption shows a clear minimum only if the heating time is short (3 s). The heating time partly influences the optimal frequency, especially in the case of 3 mm depth. The values found are in good agreement with the literature [15] (see “Reference” in Table 2).

4 Trade-off between energy consumption and surface temperature

Once the frequency has been chosen, we studied how the heating time influences the energy consumption and surface temperature. The heating time ranges from 3 to 20 s. Figure 6a shows results based only on the heating stage. Especially with small hardening depths, a heating time reduction could dramatically cut the energy consumption. Results in Figures 6b, 6c and 6d also involve the

microstructure calculation. It is worth noting that the shorter is the heating time is, the higher is the martensite content in the hardening depth. Figure 6b illustrates the energy-temperature trade-off in the case where the minimum content of martensite in the hardening depth is 50%. It is not possible to reach such result in the case of 8 mm depth. Figures 6c and 6d summarize the trends with 65% and 75% minimum martensite content respectively. In order to get 5 mm depth with a minimum martensite content of 65%, the heating time must be shorter than 6.5 s (Figure 6c). With 3 mm hardening depth instead, the heating time cannot be longer than 16 s in order to achieve a 75% martensite content (Figure 6d).

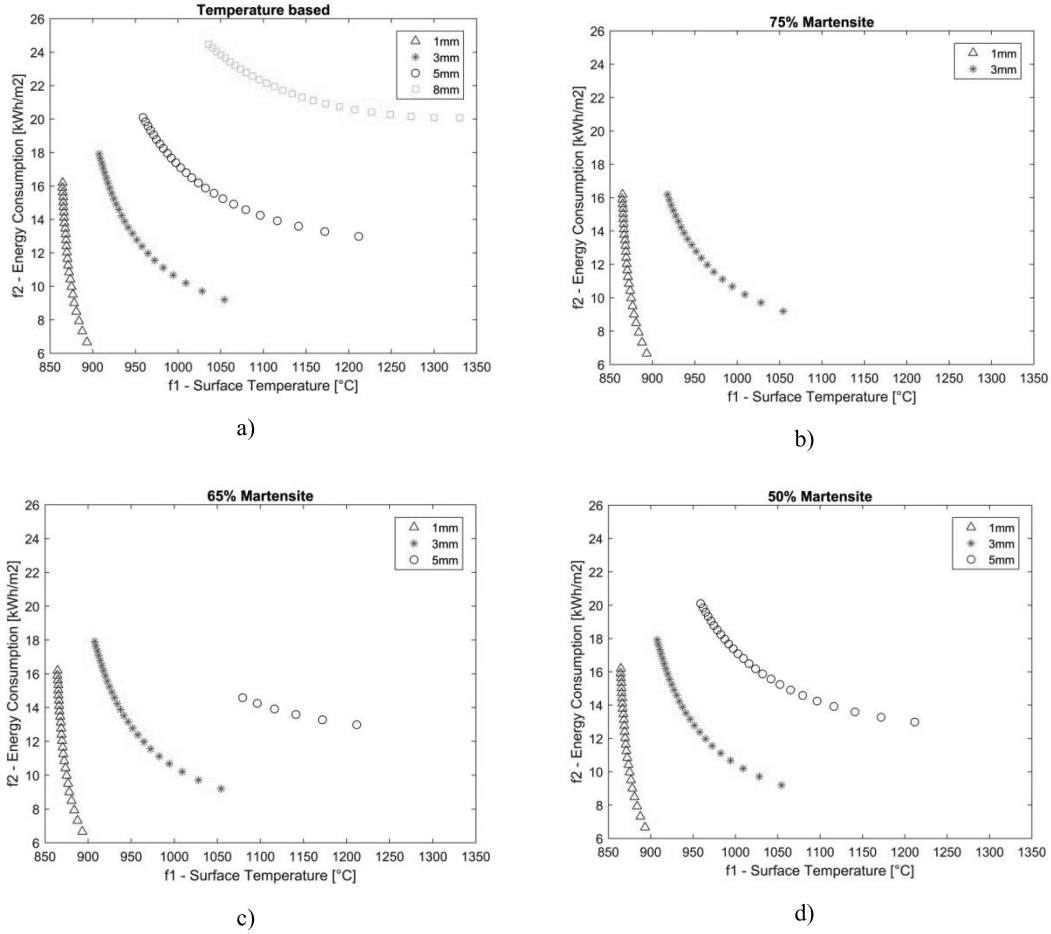


Figure 6 – Trade-off temperature based with 1, 3, 5 and 8 mm depth (a) and microstructure based: 50% martensite (b), 65% (c), 75% (d)

Conclusions

We showed how to optimize the frequency and the heating time in a surface induction heating application. The use of the single-objective optimization approach was found to be more effective than the multi-objective one. In fact, the choice of the variable ranges partly affects the resulting Pareto front in the multi-objective case. We proved that only for small hardening depths, i.e. 1 mm, it is possible to optimize the process just on the basis of the temperature distribution. This is admissible

also with medium hardening depths (3 mm), as long as the heating time is relatively short (shorter than 16 s in our case study). With bigger depths (5 mm or more) the phase change simulation is a requirement for getting reliable results.

References

[1] T. Zedler, Numerische Modellierung, Analyse und Design von induktiven Systemen für das Randschichthärten komplexer Werkstückgeometrien, PhD Thesis, Sierke-Verlag, 2010.

[2] D. Schlesselmann, Methoden zur numerischen Berechnung, Analyse und Auslegung induktiver Randschichthärteprozesse unter Berücksichtigung von magnetischen Sättigungseffekten, PhD Thesis, PZH-Verlag, 2016.

[3] Yu. Pleshivtseva, E. Rapoport, B. Nacke, A. Nikanorov, P. Di Barba, M. Forzan, S. Lupi, E. Sieni, Design concepts of induction mass heating technology based on multiple-criteria optimization // COMPEL: The International Journal for Computation and Mathematics in Electrical and Electronic Engineering, 36,2, 2017, 386-400.

[4] R. Naar, F. Bay, Numerical optimization for induction heat treatment processes // Applied Mathematical Modeling, 37, 2013, 2074-2085.

[5] X. Qin, K. Gao, Z. Zhu, X. Chen, Z. Wang, Prediction and optimization of phase transformation region after spot continual induction hardening process using response surface model // JMEPEG, 26, 2017, 4578-4594.

[6] M. Onan, H.I. Unal, K. Baynal, F. Katre, Optimization of induction hardened AISI 1040 steel by experimental design method and material characterization analysis // Proceedings of the ASME International Mechanical Engineering Congress & Exposition, (November 9-15, 2012) - Huston, Texas USA.

[7] M. K. Misra, B. Bhattacharya, O. Singh, A. Chatterjee, Multi response optimization of induction hardening process – a new approach, // Proceedings of the 3rd International Conference on Advances in Control and Optimization if Dynamical Systems, (March 13-15, 2014), Kanpur, India.

[8] A. Kohli, H. Singh, Optimization of processing parameters in induction hardening using response surface methodology, Sadhana, 36, 2, 2011, 141-152.

[9] M. C. Kayacan, O. Colak, A fuzzy approach for induction hardening parameters selection, Material and Design, 25, 2004, 155-161.

[10] U. Lüdtke, Numerische Simulation gekoppelter Felder in der Elektroprozesstechnick // Habilitation, 2013.

[11] A. D. Demichev, Surface hardening by induction method, Politechnika, Leningrad, 1991.

[12] D. Schlesselmann, A. Nikanorov, B. Nacke, S. Galunin, M. Schön, Z. Yu, Numerical calculation and comparison of profiles and martensite microstructure in induction surface hardening processes // Proceedings of HES-13, (Mai 21-24, 2013), Padova, Italy, 127-134.

[13] M. Baldan, T. Steinberg, E. Baake, Self-adaptive multimethod optimization search applied to a tailored heating forging process // IOP Conference Series: Material Science and Engineering, 355,1, 2018.

[14] S. Galunin, Automatic optimization in designing of induction heaters based on numerical techniques // Proceedings of XVIII International UIE-Congress, (June 6-9, 2017), Hannover, Germany, 385-390.

[15] A. Sluhotsky, C. Ryskin, Inductors for the induction heating, Energia, Leningrad, 1974.

LUMINAIRE DESIGN AND OPTIMIZATION USING RAY TRACING SIMULATIONS

M. Birjukovs[1], A. Jakovics[1], A. Klokovs[2]
[1]Department of Physics, University of Latvia
Zellu street 23, Riga LV-1002, Latvia
mihails.birjukovs@lu.lv; andris.jakovics@lu.lv
+371 29-544-863
[2]SIA VIZULO
Starta street 1, Riga LV-1026, Latvia
+371 67 383 023

Keywords: *luminaire, ray tracing, optimization, FEM, Monte-Carlo, COBYLA, COMSOL Multiphysics*

Abstract
Предлагаемая работа иллюстрирует процесс проектирования одного изделия из линейки продуктов, выпущенных *SIA VIZULO* - промышленных отражателей, известных как «*OAK*». В частности, форма отражателя оптимизируется чтобы поток света, создаваемый светильником, соответствовал желаемому пространственному распределению интенсивности. Ограничения вводятся в виде верхнего предела общей длины «крыла» отражателя с целью сведения к минимуму количества материала на единицу продукции и нижнего предела, определяемого на основе анализа процесса формирования «крыла».

Introduction

Luminaires, which are basically light sources plus light guiding optical systems, are (generally) simple systems in terms of the underlying physics. However, given the greatly varying customer demands, even in terms of one specific application area, as well as the many constraints imposed by production process considerations and illumination/electromagnetic compliance standards, efficient product design is virtually impossible without integrating computer assisted optimization into the concept-to-product pipeline. Moreover, the output of seemingly simple optical systems is in most cases extremely sensitive to design variable variations and even for rather primitive luminaire shapes, physical intuition may no longer apply the way it does to individual optical elements.

This work describes one of the design optimization cases considered within the framework of the cooperation agreement between the *Department of Physics of the University of Latvia (UL)* and *SIA VIZULO,* a major LED-powered luminaire producer with export to 27 countries. The product in question is a line of industrial luminaires termed the *"OAK"* series (can be used to replace general lighting such as tubular fluorescent light fixtures) that includes three winged reflector geometry templates depending on the desired illumination area per device (the geometry will be showcased in later sections). The objective is to arrive at three distinct geometries that yield the target spatial distributions of emitted light, while complying with a set of constraints.

Please note that throughout this article geometry dimensions and output intensity numerical values will be hidden due to security considerations. However, reflector wing shapes and light intensity distribution profiles will be shown, unaltered.

1 Problem formulation

Technically, the problem consists of two subproblems: calculation of luminaire produced lighting intensity distribution and geometry optimization via iterated intensity calculations. Both are

solved using the finite element method (FEM) software package *COMSOL Multiphysics*. And while there exist specialized software packages for optics modelling, such as *LightTools, Zemax*, and more, which are usually the go-to solutions, only the *COMSOL Multiphysics* license was available to the authors at the time the simulations described herein took place. Obviously, LED emitted light propagation can and should modelled in the geometrical optics approximation and thus the method of choice is ray tracing.

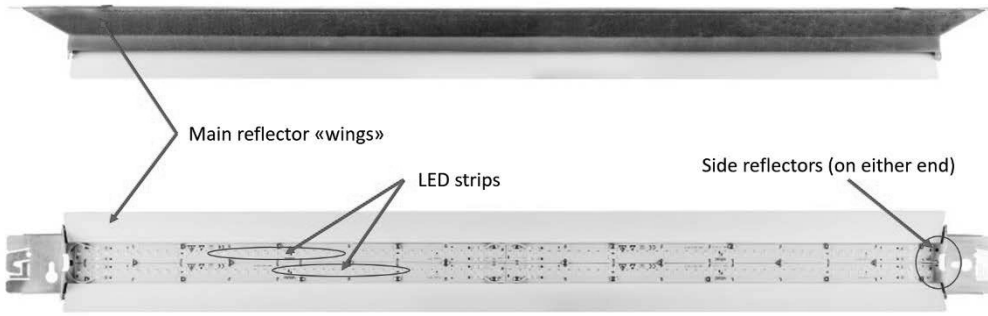


Figure 1 – A sample *OAK* series luminaire. Images taken from *vizulo.com/lv/products/industrial-luminaires/vizulo-oak-66*.

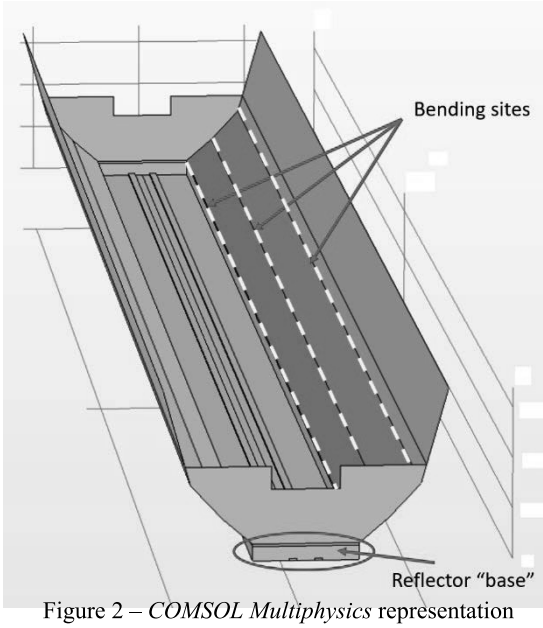


Figure 2 – *COMSOL Multiphysics* representation of a sample luminaire geometry.

In the above figure 1, a general layout of an *OAK* luminaire is shown – two parallel LED strips span the length of the luminaire and each of the individual LEDs comes with a known generated light intensity distribution specification that can be imported into *COMSOL* models; LED strips are attached to a plate that is then mounted on top of the electronics compartment (the bottom part of the luminaire) with the appropriately shaped reflector "sandwiched" between the two; there are also smaller side reflectors on either end of the luminaire. Finally, a thin glass plate is attached above the LED plate.

Due to the specific reflector shaping technology available to *VIZULO*, free shape optimization cannot be performed – instead, wing bending can only be done at a finite number (1 to 4) of bending sites (see figure 2), which is a disadvantage, especially given that certain competitors are not constrained in such manner. However, this also simplifies the model considerably, since one can parametrize the geometry with 6 optimization variables – bending site coordinates in the side reflector cross section. Due to technical reasons, reflector base (see figure 2) geometry, including LED placement, had to remain unchanged during optimization.

The physical picture is as follows: rays of unpolarized monochromatic light are released from LEDs in accordance with the imported spatial intensity distribution dataset (which is, to a good approximation, in agreement with the Lambert cosine law); rays are partially reflected/refracted at the

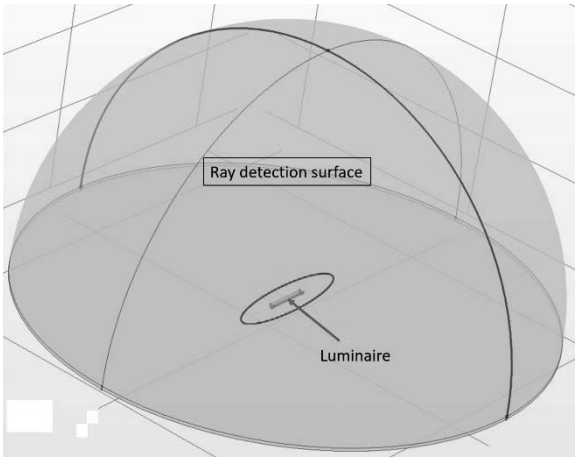


Figure 3 – *COMSOL Multiphysics* model geometry.

glass plate boundaries (this is governed by the specular reflection/Snell's law and Fresnel equations) and intensity is attenuated accordingly; reflector surfaces (base, sides and wings) are modelled as glossy surfaces – that is, combined specular/diffuse reflections occur and intensity is attenuated as prescribed by the diffusivity and absorption coefficients respectively (known from material database). The ray propagation medium outside of the glass plate domain is air.

The rays that "exit" the luminaire optical system subsequently reach the detection surface (see figure 3) – a hemisphere of a certain radius where the rays are detected and collected. Based on collected ray density, one then obtains the spatial intensity distribution. In standard laboratory photometric tests, a light sensor scans the luminaire produced intensity in the 2-pi space while maintaining a constant distance to the luminaire – this distance is equal to that of the detection hemisphere in the simulation.

The most characteristic aspect of an *OAK* reflector is its lighting intensity distribution in the so called C0-C180 photometric plane, which in case of a standard fixed detection distance test is measured along a line indicated in figure 3. Intensity distribution optimization on this line is thus the primary objective.

2 Numerical approach

The above model is implemented in *COMSOL Multiphysics* via a FEM-based time-dependent ray tracer, employing a Monte-Carlo approach. First, a finite number of rays are randomly initialized on LED active surfaces – coordinates are tied to geometry, wave vectors are sampled from the imported LED spatial intensity distribution, wherein greater intensity in a certain direction in the 2-pi space implies greater probability that the wave vector of a given ray will be initialized it that direction.

To initialize rays, one must first mesh domains and surfaces of interest. Only the surfaces that the rays are initialized at/interact with need to be meshed, as well as the adjacent domains and domains with inhomogeneous refraction index. The luminaire optical system domain is meshed using a combination of swept/simple unstructured meshing, detection surface mesh is unstructured. Swept mesh source faces/detection surface are meshed with triangular elements. The hemisphere air domain remains unmeshed and rays are simply extrapolated through it until they reach the detector.

Once the ray release is initialized, the initial ray coordinates, wave vectors and transmitted power (total luminaire power is distributed among rays) are passed as initial conditions to the time-dependent solver, which then proceeds to solve a system of Hamilton-type equations for ray radius- and wave vectors:

$$(1) \qquad \frac{d\vec{k}}{dt} = -\frac{\partial\omega}{\partial\vec{q}}; \ \frac{d\vec{q}}{dt} = \frac{\partial\omega}{\partial\vec{k}}$$

The advantage of FEM ray tracers is that refraction index variations can be seamlessly captured and accounted for. However, for media with piecewise homogeneous refraction indices, as is the case here, the above system (1) is reduced to:

(2) $$\frac{d\vec{k}}{dt} = \vec{0};\ \frac{d\vec{q}}{dt} = \frac{c\vec{k}}{nk}$$

In addition to independent variables (3 coordinates, 3 wave vector components and ray ID number), the set of tracked ray variables includes 4 stokes parameters (in this case the light is unpolarized, so only the first parameter, transported power, is non-zero) and principal radii of wavefront curvature.

Transitions between regions where there is a jump discontinuity of refraction index and ray/reflector collisions are handled at the boundaries via a set of vector form equations that govern specular reflection (3), refraction (4) and power reflection (5) or transmission (6):

(3) $$\vec{n}_r = \vec{n}_i - 2\vec{n}_i \cos\theta_i$$

(4) $$\vec{n}_t = \mu\vec{n}_i + \gamma\vec{n}_s;\ \ \mu = \frac{n_1}{n_2};\ \ \gamma = -\mu\cos\theta_i + \cos\theta_t$$

(5) $$r_{\parallel} = \frac{n_2\cos\theta_i - n_1\cos\theta_t}{n_2\cos\theta_i + n_1\cos\theta_t};\ \ r_{\perp} = \frac{n_1\cos\theta_i - n_2\cos\theta_t}{n_1\cos\theta_i + n_2\cos\theta_t}$$

(6) $$t_{\parallel} = \frac{2n_1\cos\theta_i}{n_2\cos\theta_i + n_1\cos\theta_t};\ \ t_{\perp} = \frac{2n_1\cos\theta_i}{n_1\cos\theta_i + n_2\cos\theta_t}$$

Here indices i, r, t denote incidence, reflection and transmission, s – boundary normal, $\vec{n}$ – unit direction vector, n – refraction index (1 is the medium of incidence, 2 – refracting medium) This equation set dictates how released rays are reinitialized (and new ones created, in case of n discontinuity boundary) after a boundary collision is detected based on their preceding wave vector components. Collision detection precision increases with mesh quality and reciprocal solver time step size. Attenuation at reflector boundaries is handled separately – ray power loss is determined by the reflector material absorption coefficient. Keep in mind that there is also a set of equations for principal wavefront curvature radii, but due to article size limitations, these are omitted here.

In addition, glossy reflector wings/sides reflect rays diffusely. This is implemented as follows: when a ray/reflector collision is detected, a random number between 0 and 1 is generated from a uniform distribution – if this number is greater than the diffusivity coefficient, specular reflection occurs, otherwise the ray is reflected diffusely. In the latter case, a random wave vector is sampled from a Lambert cosine distribution and assigned to the reinitialized reflected ray, which then continues to propagate normally according to the equations of motion (2).

As with every FEM computation, the resulting set of linear partial differential equations governing the motion of every ray is first converted to a set of linear ordinary differential equations, which are then compiled to form a system. Generalized alpha method is chosen for time stepping, generalized minimum residual (GMRES) method plus Jacobi method is used to update variables for each time step. Based on model dimensions, a maximum ray propagation distance is set so that all relevant (sufficiently intense) rays reach the detector. In addition to solver accuracy thresholds, ray intensity thresholds for reflections are set at the glass plate boundary to avoid overburdening the solvers with initializing rays of negligible intensity. Thresholds and solver parameters are then tweaked during benchmark simulations to optimize performance, which is obviously extremely important when employing optimization methods.

Rays that reach the detection surface deposit transmitted power, which is then converted to intensity based on detector meshing and smoothed with a moving average window of preset radius, which is determined by detector mesh element size and the number of initially released rays.

Now for the optimization process. Given the above considerations, the optimization problem lies in finding the best reflector wing bending sites. The reflector is symmetric, and the first bending site coordinates are fixed (because reflector base geometry is fixed; these coordinates are indexed as 0-th), so if one projects the wings onto the side reflector plane, one can set the optimization variables as wing segment mutual contact point coordinates on that plane: $\{w_i, h_i\}_1^n,\ n \in [1; 3]$.

Regarding these variables, one must consider two things: first, reflector wing total length (9) may not exceed a certain upper limit (too much material per reflector unit produced) or fall below a

certain threshold (due to the limitations of the available wing shaping process, shorter wings are more difficult to bend); second, optimization variable domains must be defined (10) such that wing boundary collisions/overlaps cannot occur.

The goal of the simulation, as mentioned above, is to match the C0-C180 luminaire photometry to the customer defined target as closely as possible. Target distributions come in form of a point set, and so do solution intensity profiles – this means that the objective function is the sum of squared differences between the two set nearest neighbours, which must be minimized; this also means that one must use gradient free optimization algorithms. Other secondary objectives (more photometric planes) can be integrated at will and managed via a weighted sum of objective functions (7). The problem is then as follows:

(7) $min_{\vec{x}} \sum_k \sum_i g_k (I_{ik}(\vec{x}) - I_{0k})^2$

(8) $L(u(\vec{x}), \vec{x}) = 0$

(9) $\sum_k \left((w_k - w_{k-1}) + (h_k - h_{k-1})\right)^{\frac{1}{2}} \in [L_{min}; L_{max}]$

(10) $x_i \in [a_i; b_i]$

Here I is lighting intensity for a given solution point (i index) or a target point (0 index) for the k-th objective, g_k is objective weight, $\vec{x}$ is the optimization variable vector, a_i, b_i and L_{min}, L_{max} are simple bounds (10) and general constraint thresholds (9) respectively; (8) represents the FEM generated equation system. Initial geometries that are to be optimized can be either taken from a set of known "sufficiently good" experimentally tested configurations, or from a set of ray trace solutions (filtered from feasibility considerations) obtained via Monte-Carlo sampling from the design space.

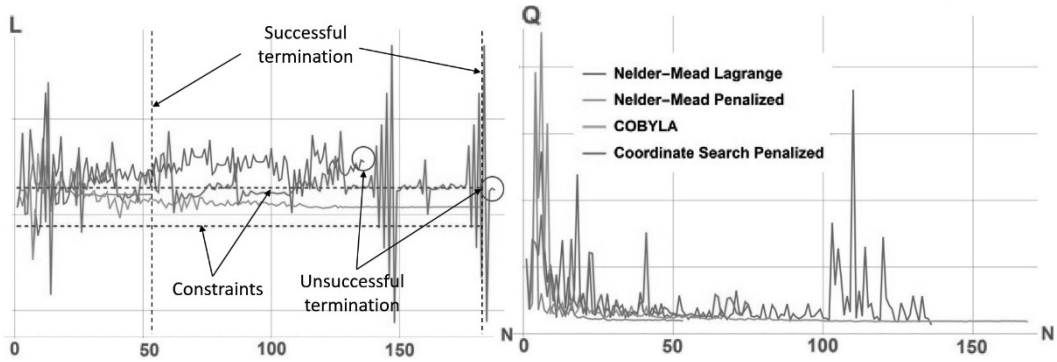


Figure 4 – optimization solver comparison for a sample geometry optimization run. Here N is the number of ray tracing iterations performed, L is total wing length and Q is objective function value.

While the design space (2 to 8 dimensional if there are 1 to 4 bending sites respectively) is, strictly speaking, concave, it can be argued that practically feasible initial configuration points *do have* "line of sight" to most of the design space. Thus, three optimization approaches are tested: coordinate search, Nelder-Mead, constrained optimization by linear approximation (COBYLA), which are the most suitable among the arsenal provided by *COMSOL Multiphysics*. Nelder-Mead/coordinate search is tested for Lagrange multiplier and penalty constraint handling (COBYLA handles these internally). Tests indicate that for this problem, COBYLA greatly outperforms Nelder-Mead – both arrive at very similar solution configurations, except COBYLA does it *much* faster and is less sensitive to variable scaling. Lagrange based Nelder-Mead proved very difficult to stabilize and took up even more CPU time than the penalized version, and so did coordinate search, which (expectedly) performs worst of all. The latter two approaches often had to be terminated forcibly. Thus, COBYLA was used to optimize all three *OAK* luminaire variants. A sample reflector shape

optimization run is shown in figure 4 for identical targets, initial geometries and optimality tolerances.

Results & concluding remarks

Simulations resulted in satisfactory intensity spatial distributions of luminaire radiated light – these were both distinct (as requested by *VIZULO* marketing department) and in very good agreement with targets, as well as constraint compliant. Figure 5 shows the three prototyped *OAK* series luminaire (narrow, medium and wide beam variants) photometries.

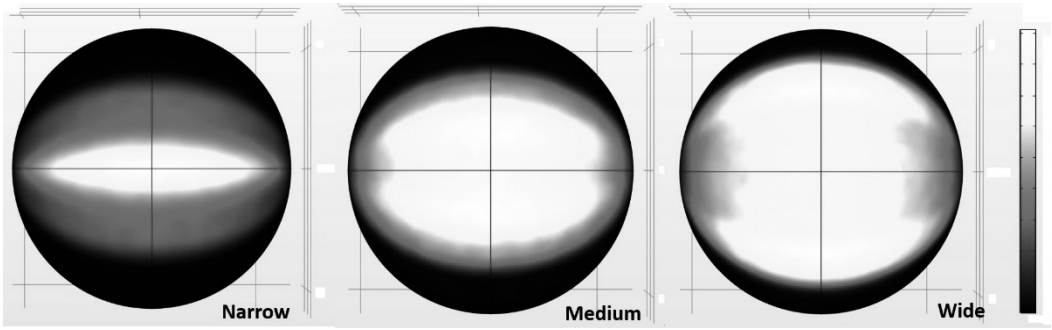


Figure 5 – optimization results for three OAK reflector models. The surface plots show light intensity distribution on a hemisphere, scanned by light sensors during laboratory photometric tests.

Prototypes that have been constructed based on optimized designs have successfully passed photometric verification tests and are currently undergoing further testing.

Note that this work only showcases, as an example, one product virtual prototyping – there are other, much more sophisticated systems that require precise control of characteristic parameters to achieve set goals and subsequent market launch. Other examples of computer assisted luminaire design (as part of the *UL/VIZULO* cooperation agreement) include, but are not limited to: lens shape, optical element placement and material choice optimization, unknown material optical coefficient determination based on experimental data, as well as competitor product design reverse engineering.

References

[1] COMSOL Multiphysics Reference Manual, version 5.3
[2] COMSOL Multiphysics Ray Optics Module User's Guide, version 5.3
[3] COMSOL Multiphysics Optimization Module User's Guide, version 5.3

INFLUENCE OF ELECTROMAGNETIC STIRRING ON FORMATION OF MACRO-CRYSTALLOID STRUCTURE OF SOLIDIFYING GALLIUM

D. Köppen[1,2], E. Baake[1], P. Vontobel[3]

[1]Institute of Electrotechnology, Leibniz University Hannover
30167, Hannover, Wilhelm-Busch Str. 4, Germany
d.koeppen@etp.uni-hannover.de
[2]Kazan State Power Engineering University
420066, Kazan, Krasnoselskaza Str., 51, Russian Federation
[3]Paul Scherrer Institute, PSI, CH-5232 Villigen, Switzerland

Key words: *electromagnetic stirring, solidification, process imaging, neutron radiography*

Abstract

В статье рассматриваются результаты визуализации процесса затвердевания галлия с использованием нейтронной радиографии. Пучок тепловых нейтронов служил инструментом для распознавания жидкой и твердой фаз металла, а также неоднородностей в структуре слитка. Кристаллоподобная макроструктура слитка анализировалась и сравнивалась для случаев роста из расплава с электромагнитным перемешиванием и перемешиванием жидкого металла, вызванным естественной конвекцией. Установлена применимость нейтронной радиографии для визуализации процесса затвердевания металла и явное влияние вынужденного перемешивания расплава на формообразование слитков.

Introduction

Investigation of a solidification process in liquid metals, which are a chemically aggressive and opaque media, is a challenging technical problem. Especially the obtaining of visual information about the process in the most of cases is not possible. Nowadays the most advanced visualization technique for metals solidification process is X-ray radiography. Even though that this method provides the essential visual information about the crystallization process, the photon energies used for X-ray, has a very limited penetration depth, depending on the analyzed material. An alternative, rapidly developing within last 5 years, is a neutron radiography, applied to the metallurgical processes. Speaking about the beam of thermal neutrons, it should have to keep in mind a different interaction mechanism with materials, as with a case of X-ray. The relatively low attenuation coefficient of most metallic materials allows significantly deeper penetration of neutrons and obtaining the in-situ image of the process, taking place in the melt. For instance, the depth of the sample can be increased up to 4.5 cm in Gallium and 10 cm in tin versus 1.5 cm and 0.5 cm, respectively, for X-rays. Such a difference in the thickness of probe under analysis plays a significant role in relation to a solidification process [1]. In such a way different methods of electromagnetic processing of solidifying melt and the influence of developed three-dimensional turbulent flows, caused by electromagnetic forces, can be visualized, investigated and optimized.

This manuscript describes experimental results of a neutron radiography application for visualization of pure gallium solidification process. During the process, the melt was stirred with travelling magnetic field. Abilities of the technique for imaging the structure of the metal probe with increased thickness are tested. The visualized macro-crystalloid structure of the solid ingots, being a result of combination of several phenomenon, realized by different types of melt flow and heat transfer conditions, is represented and discussed.

1 Experimental set-up and procedure

This work is based on experiments performed at the Swiss spallation neutron source SINQ, Paul Scherrer Institute, Villigen, Switzerland with use of NEUTRA facility [2]. A beam of thermal neutrons was applied to the solidifying metallic sample to obtain an image of the growing ingot. The set-up, used in the experiment, is shown in Figure 1. It consisted from the glass vessel with the liquid pure Gallium (melting temperature – 30 °C, density liquid/solid – 6095 / 5910 kg/m^3, weight – 1.4 kg). A pair of induction coils, were placed beside the vessel and were connected to the frequency transformer, which provided a travelling magnetic field. All installation was placed to a alumina-profile fixing construction. Conditions for the melt solidification were provided by means of cooling system under the vessel (15 °C) and a heating system (40 °C) on the top of it. The warming up of the liquid material surface served as a protection from intensive heat losses and prevention for uncontrolled solidification in undesired direction. The bottom of the vessel, made from copper, used to insure an intensive heat exchange between the melt and the cooling system. In such conditions, the temperature gradient had a vertical direction, which issued an ingot growth from the bottom to the top of the probe volume.

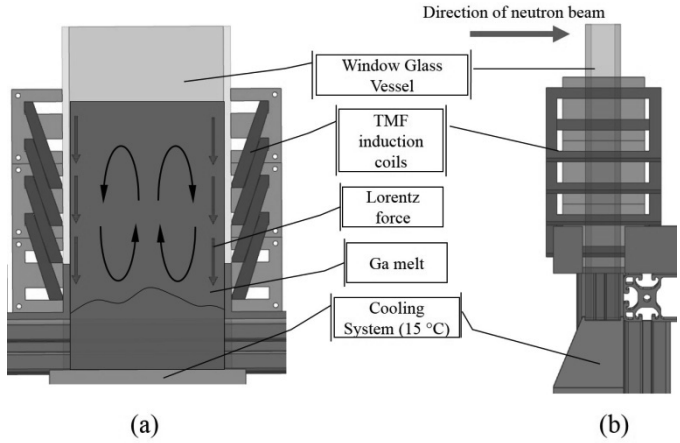


Figure 1 – Sketch of experimental system with indicated direction of the neutron beam:
(a) – front view ; (b) – side view.

The vessel had a rectangular form with following inner sizes – height 10 cm; width 12 cm; depth 2 cm. Before starting each experimental set, the melt was held pre-heated at a temperature of 40 °C. In the experiment the melt motion was realized with use of induction system, consisted from three-phase induction coils with a phase shift of 60°, producing a magnetic field, travelling downward. The flow of the liquid metal, caused by the Lorentz force, induced in the melt, had a form of two oval vortices as shown in Fig. 1a.

Pure gallium is selected as a working liquid due to its low melting temperature, what simplifies the set-up, and due to the relatively high neutron attenuation coefficient. According to the equation [3] $I / I_0 = \mathbf{exp}\,(-\mu\rho x)$, the thermal neutron cross-section of the material (μ, cm^2/g) specifies the maximal possible thickness of the sample, which could be analyzed and if the material may be visualized at all. Here I_0, neutrons·cm^{-2}sec^{-1}mA^{-1} is the incident thermal neutron flux, ρ, kg/m^3 and x, m are density and thickness of the sample. Passing through the metal volume, the neutron beam changes its flux according to the different densities of the liquid and the solid parts of material. This output flux signal can be interpreted as a shadow image, representing the both phases of the material. Such conditions dictated a quasi-two-dimensional form of the installation (Fig. 1b): here the melt depth is lim-

ited in accordance with the thermal neutron flux, still giving the place for development of tree-dimensional flows.

The question of how the electromagnetic stirring may influence the metal structure during solidification, and if the method of neutron radiography can be applied for such analysis were in a focus in this investigation.

2 Experimental results and discussion

Using the thermal neutron beam, we monitored the process of ingots formation. The result of the visualization – sequences of images, representing the solidification process. By means of Fiji software, these images were post-processed and colored in order of better representation of the macro-crystalloid structure, obtained both for the case of minimal melt motion and for the electromagnetic stirring case (Fig. 2). In the Figure 2, the liquid material is depicted with shadows of red, while blue and green colors represent the solidified metal. The resolution of obtained images was high enough to provide a local analysis of ingot's skeleton. It is worth to be noticed, that a solidification process, influenced by electromagnetically driven three-dimensional melt flow was not visualized for the first time.

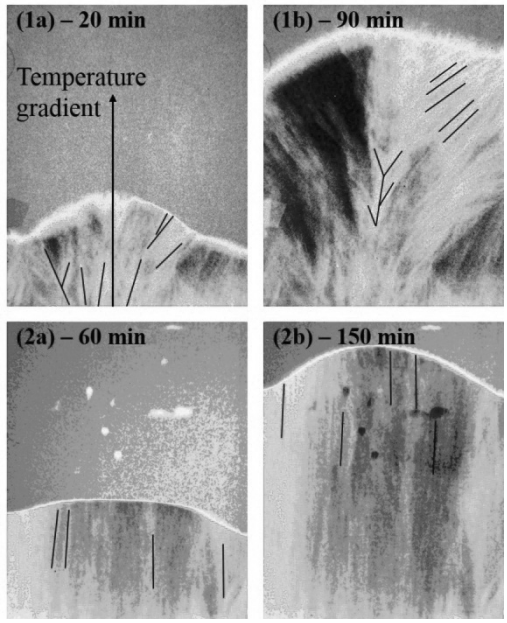


Figure 2 – The visualized macro-crystalloid structure, formed in conditions of (1, a-b) natural movement of the melt; (2, a-b) stirring with TMF. The state of ingots evolution at different time from the beginning of its formation is presented.

As it well known, the direction of components of crystalloid structure depends on thermal conditions of the phase change process [4]. Branches of the growing crystals in the most of cases are forwarded to the direction of the temperature gradient. Presence of several temperature gradients leads to formation of anisotropic skeleton of the ingot, being a result of dislocations accumulation. Consequently, the length of crystal branches reduces or increases dependently to the homogeneity of the temperature field in the solidifying liquid.

The skeleton of the ingot, observed for conditions of minimal melt motion (no magnetic field applied) reproduces a situation of inhomogeneous thermal conditions. In combination with artificially

applied temperature gradient, thermal losses from vessel's walls leaded to the formation of strongly banded solidification front and deformed crystal branches (Fig. 2, 1a-b).

In contrast with case of natural heat transfer, electromagnetic stirring of the melt provided an intensified heat exchange between the cold and warmed-up melt layers and reduced the temperature gradients in the walls direction. That leaded to much slower growth of the ingot – as it shown in Fig. 2, 1a and 2a, the same height of both ingots is reached on 20^{th} and 60^{th} minutes of solidification process for natural motion and electromagnetic stirring, correspondently. At the same time, more homogeneous temperature distribution in the solidifying liquid caused the formation of long crystal branches, oriented mainly in the direction of the main temperature gradient (Fig. 2, 2a-b).

Another evidence of the homogenized temperature of the liquid is a form of a solidification front. One can see (Fig. 2, 2a), that the form of the growing ingot is flattened, comparing to the case of natural convection. However, when the most of the melt is already solidified, the form of the solid-liquid interface tends to the form, obtained for the not-stirred melt. Here the rest amount of liquid material is not enough to have much influence on thermal conditions and to reduce the main temperature gradient. That provokes the faster growth of the ingot in the middle area, where develops the maximal temperature difference.

Conclusions

The formation of the macro-crystalloid structure of pure Gallium under the influence of electromagnetic stirring and in conditions of natural heat transfer has been visualized by application of neutron radiography and analyzed. Main conclusions, made based on the experimental results could be summarized, as follows:

- The method of neutron radiography is applicable for investigation of metal solidification in conditions of natural melt motions, as well as for electromagnetically driven flow, in the increased scale. Depending on a working material, an image of a macro-crystalloid structure can be obtained.
- In the present study, the solidified skeletons of Gallium ingots were analyzed. The crystal branches solidified in conditions of natural melt motion were oriented chaotically, indicating a presence of several temperature gradients in the liquid.
- An intensification of a heat transfer in the electromagnetically stirred melt leaded to homogenization of the temperature field and to the formation of isotropic structure with long crystal branches.
- Use of such an investigation tool as the neutron radiography may be effective for optimization of electromagnetic stirring by control of electric parameters and in-situ observation of their influence on the ingots structure.

Acknowledgements

Authors are grateful to the Helmholtz Association in the framework of the Helmholtz-Alliance LIMTECH (Liquid Metal Technology) for financial support of the investigation and to the colleagues from Paul Scherrer Institute for their help during the experiments.

References

[1] K.H.J.Buschow. Encyclopedia of Materials: Science and Technology. – Elsevier Science Ltd., Amsterdam, New York, 2001.

[2] Lehmann E.H., Vontobel P., L. Wiezel. Properties of the radiography facility NEUTRA at SINQ and its potential for use as European reference facility // Nondestructive Testing and Evaluation, 2001. - vol. 16:2-6, - Pp. 191-202.

[3] Sears V.F. Neutron scattering lengths and cross sections // Neutron News, 1992. - vol. 3, no. 3. - Pp. 26-37.

[4] Chalmers B. Principles of Solidification. – John Wiley & Sons, Inc., New York, London, Sydney, 1967.

SUCCESSIVE APPROACH TO NUMERICAL SHAPE OPTIMIZATION OF TRANSVERSE FLUX HEATING INDUCTION COIL

M. Schulze, A. Nikanorov, B. Nacke
Institute of Electrotechnology, Leibniz University Hannover
Wilhelm-Busch-Str. 4, 30167 Hannover, Germany
schulze@etp.uni-hannover.de

Key words: *induction heat treatment, one-sided transverse flux heating, strip heating, numerical optimization*

Abstract
Поперечный поток нагрева (*transverse flux heating* - TFH) – концепция, обеспечивающая очень высокую электрическую эффективность в сочетании с уникальной технологической гибкостью. Многочисленные преимущества ставят этот метод вне конкуренции, например, на линиях непрерывной обработки полосных заготовок. Однако все потенциальные преимущества TFH могут быть реализованы на практике только при проектировании оптимальной формы индуктора и оптимального управления нагревателями с использованием численного моделирования и методов оптимизации. В статье описывается методика оптимального конструирования одновитковой индукционной катушки, которую предполагается использовать для одностороннего TFH движущейся тонкой металлической полосы. Особенностью конструкции является очень низкая скорость движения полосы и заданная температура, которая устанавливается ниже точки Кюри.

Introduction

The continuous heating of thin metal strip is an important process step in many industrial production lines. The areas of application of strip heating ranges from heat treatment, coating and drying of sheets and strips to the use in slab and casting plants for intermediate heating before milling. The thicknesses of the strip could vary between 0.1 mm and 60 mm at widths up to 2000 mm. Due to the different fields of application of strip heating for a wide variety of materials, the strip temperatures to be achieved are in the range of a few 10 °C for drying and up to 1200 °C for hot-forming. The manufacture of semi-finished products of different composition and qualities often requires a heat treatment, such as tempering, annealing or galvannealing in order to achieve desired material properties. Due to targeted heating, different degrees of hardness, grain sizes or surface textures can be set. The use of sheet and strip as semi-finished products is particularly important in the metalworking industry, e.g. the automotive or electrical industry. [1]

Commonly used materials are non-magnetic metals such as copper, brass and aluminum, precious metals such as gold and silver, and various steels and alloys. [2]

Today, conventional heaters such as gas or oil fired furnaces are still widely spread. All of these installations are working by the principle of heat transfer to the workpiece through the surface. Based on the laws of thermodynamics, the atmosphere in the oven always has to be warmer than the goal temperature of the workpiece. Although this technique ensures homogeneous and through heating of the material, there are a variety of disadvantages and restrictions like the large size of the installations, long heating time, high thermal losses, limited power density and speed of motion, intensive scale formation on the materials surface and environmental pollution. Considering the aspect of time, on the one hand for the heating of the material and on the other hand the warm-up and cooling time of the furnace, a high waste of energy and inflexibility for the integration in modern production lines is deduced.

Induction heating offers solutions to the above mentioned disadvantages and restrictions of conventional heaters. Based on the direct and contactless heating, the heat is generated directly inside the workpiece. The advantages are amongst others theoretically unlimited power density, very short heating times, low floor space, easy and fast process control.

For the heating of continuous moving metal strip, two processes have become established in industry: the longitudinal flux heating (LFH) and the TFH. Both methods are based on the same heating method, but differ by the direction of the magnetic flux, which is parallel to the workpiece plane for LFH and normal for TFH. Due to the different flux orientation, the eddy-currents are also induced in a different way. For LFH the eddy-currents are flowing in the cross-section of the metal strip. Especially for thin metal strip the LFH is limited by the penetration depth and furthermore by the frequency. If the penetration depth is not small enough, the induced eddy-currents may cancel out each other. Since the eddy-currents in the TFH flow in the surface of the metal strip, there is no limit to a decrease of the strip thickness and is thus particularly suitable for the heating of thin metal strip. In addition to this the induced current flows as an image of the inductor shape, which gives the opportunity to control the Joule heat distribution inside the metal strip and thus the temperature distribution.

1 Characterization of a transverse flux heating system

The typical setup of a TFH system consists of a symmetrical arrangement of two induction coils and if necessary of two adapted flux guiding elements, one above and the other below the metal strip. Neglecting connections to the generator, Figure-1 shows a principle sketch of a TFH heater.

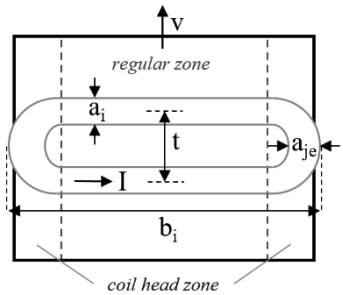


Figure 1 – Typical setup of a TFH coil

The characteristic dimensions of a TFH system are given by the pole pitch t, coupling gap h, length of the induction coil b_i, width of the induction conductor a_i in the regular zone and a_{je} in the coil head zone (can also exist of two or more windings if the gap between each conductor is much smaller than the width of the conductor). The influence of these geometrical parameters have been examined in[1-3].

The following shows how to design successively a one-sided TFH coil by using two-dimensional and three-dimensional numerical simulations and optimization.

2 2D numerical modelling of the regular zone

The first step in inductor design involves two-dimensional numerical investigations on the infinitely wide strip. As a result, an infinitely wide regular zone of the TFH inductor is mapped. These calculations are made with ANSYS Mechanical additionally using the electromagnetic package. Figure-2 shows a close-up of the regular zone of the two-dimensional numerical model based on the predefined inductor concept.

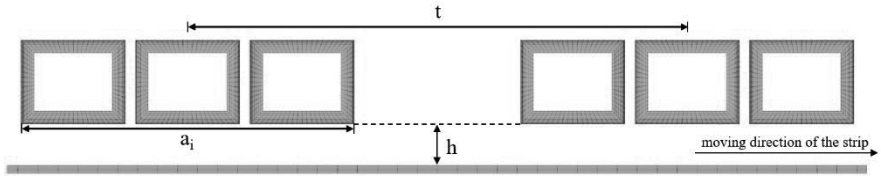


Figure 2 – Sketch of the two-dimensional electromagnetic numerical model

The electromagnetic Modell (EM) can be used to calculate (harmonic solution) the optimum frequency for the best electromagnetic coupling between the inductor and the workpiece and thus the maximum electrical efficiency. Furthermore, sensitivity studies on the influence of e.g. the magnetic permeability of the strip, the coupling gap or the strip thickness can be executed with little computational effort. Figure-3 shows the results of these exemplary frequency analyses.

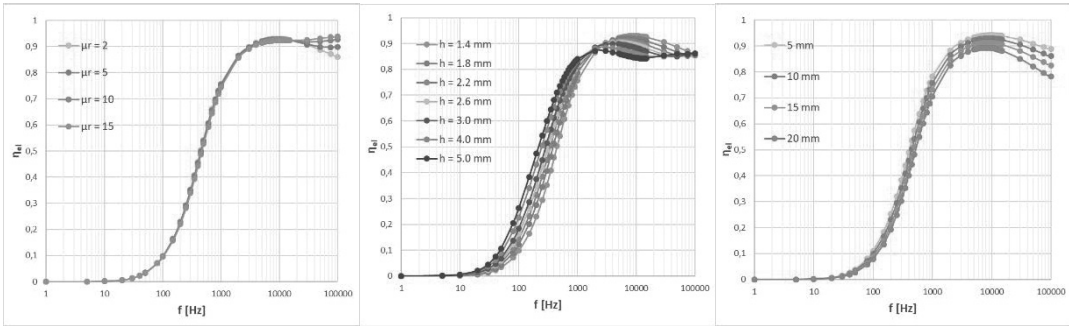


Figure 3 – Sensitivity studies of the electrical efficiency for different magnetic permeability of the strip (left), different strip thickness (middle) and different coupling gap (right).

It is typical for TFH, that there is a wide range of frequency wherein the electrical efficiency is changing less. For higher frequencies, the penetration depth is decreasing and the heating behavior is changing from TFH to LFH. [1-4] Within these frequencies, a special feature of TFH is that it is not sensitive to the magnetic permeability of the strip material. This is shown in Figure-3 (left) and is especially of interest if the magnetic data of the steel strip is not exactly known and the maximum temperature does not exceed Curie-temperature.

Subsequently, investigations are carried out on the moving strip by means of a transient thermal analysis. The necessary thermal model (TM) consists only of the strip and is coupled with the Joule heat sources of the EM. Convective heat losses and radiation losses on the bottom and top of the strip are taken into account. The strip movement is described by means of a procedure which is performed after each transient calculation step. Each nodal temperature value is shifted by a distance in the direction of movement, which results from the velocity v and the time step t. If the shifting distance is smaller or bigger than the distance between the nodes, the value gets linearly interpolated. For this procedure a mapped meshing of the strip is required.

Now, the inductor current must be set, to reach the desired target temperature T_{sp} (beyond Curie-temperature of the strip material) at the point with the distance d_{sp} behind the inductor. For this a manual parameter study or an automated evaluation can be done. For the latter, e.g. a loop can be used that calculates multiple current flows. Based on the results, the needed current can be interpolated. A typical quasi-stationary surface temperature distribution along the strip moving at speed v is shown in Figure 4.

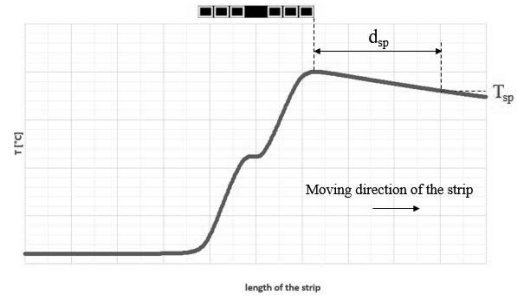


Figure 4 – Quasi-stationary temperature distribution along the surface of a moving strip

This concludes the preliminary two-dimensional investigations and initial estimates for the expected power range and costs for peripheral elements such as generator and resonant circuit can be done. Since an idealized system was calculated until now and losses due to the coil head and connections must be added to the manufactured TFH system, the assumed power should be increased by some percent to gain a representative value.

3 Three-dimensional electromagnetic and thermal modelling

The next step in coil design involves numerical studies on the three-dimensional EM (harmonic solution) and TM (transient solution). This step is necessary to map the influence of the coil head on the strip edge effects. Due to the symmetrical structure of the TFH system, it is possible to examine a quarter- or a half model. This saves computing time and enables a fast and in case of the half model a yet physically correct simulation of the heating process. Figure-5 shows examples of both model types for a rectangular coil head, which is the starting geometry of the subsequent optimization steps. This head shape is very easy and precise to manufacture, since only fitting cut pieces must be soldered together. In other common head shapes, such as the "round head" or the "lamp shape", complex forming processes are necessary, which leads to higher production costs due to the manufactural effort. However, these inductor shapes are necessary to achieve the most homogeneous distribution of the temperature.

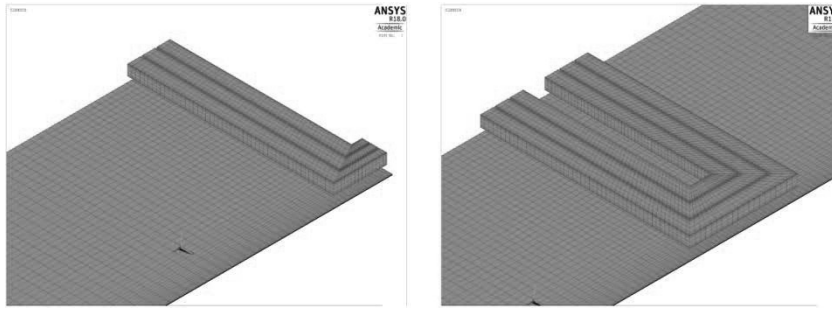


Figure 5 – Example of a numerical quarter - (left) and a half model of a rectangular TFH coil (right)

To ensure that the frequency analysis from the two-dimensional EM model has yielded a comparable result for the quarter or half model, in Figure-6 the frequency analysis for the three-dimensional half-model with the two-dimensional model for an exemplary calculation with the same material properties is compared. The figure shows that the electrical efficiency in the three-dimensional model is lower. This is due to the coil head losses, which are not calculated in the two-dimensional model. However, the optimal frequency is in the same range.

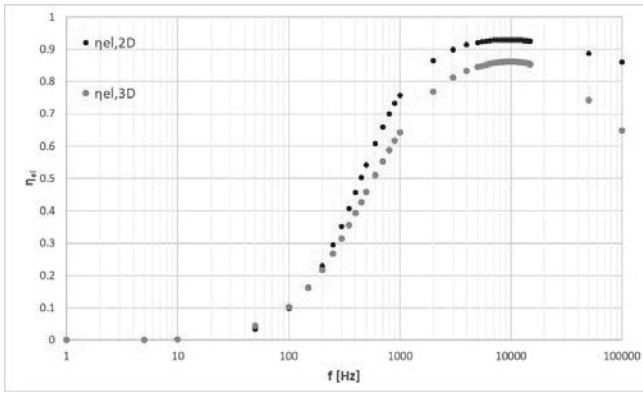


Figure 6 – Comparison between two- and three-dimensional frequency analysis

The aim of this investigation step is to design the coil head in such a way that the temperature distribution with the target temperature T_{sp} in a distance d_{sp} after passing through the inductor is as homogeneous as possible. To achieve this, an automated optimization algorithm will be used.

4 Numerical calculation of the coil head using a genetic optimization algorithm

The used optimization algorithm is a genetic algorithm, which is characterized by the fact that the global minimum is found within a given range for three different parameters. The exact mode of operation is described inter alia [5,6] and the optimization structure is shown in Fig. 7.

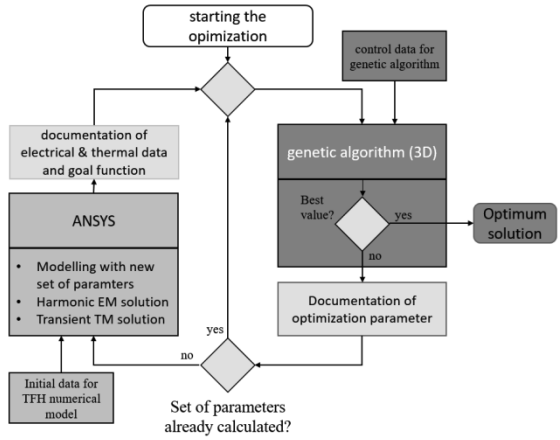


Figure7 – Structure of optimization procedure

Before the optimization procedure is started, the three-dimensional EM and TM of the rectangular coil head must be parameterized. Based on the results of the two-dimensional examination, initially parameters are selected that have an influence on the coil head zone. A good start is the inductor length b_i, the inductor cross-section a_{je} and the current. This choice ensures that the regular area remains unchanged, thus remaining comparability between the models. The next step before starting the algorithm is to set the range for each parameter. A good estimate to use for the current is the calculated value from the two-dimensional calculation as a lower limit and the same value plus 20 % as the upper limit. The current is needed to reach the target temperature T_{sp}. A possible choice for a_{je} is

to narrow and enlarge the actual value each by 20 %. For the parameter range of b_i, the values chosen are those which, at the lower limit, ensure that the coil head is completely inside the strip and with the inner winding outside the edge of the strip as an upper limit.

Now, the optimization of the inductor shape takes place in a hierarchical structure, which is shown in Figure-8. The figure also shows the highest accuracy for the calculated coil head geometry below each picture.

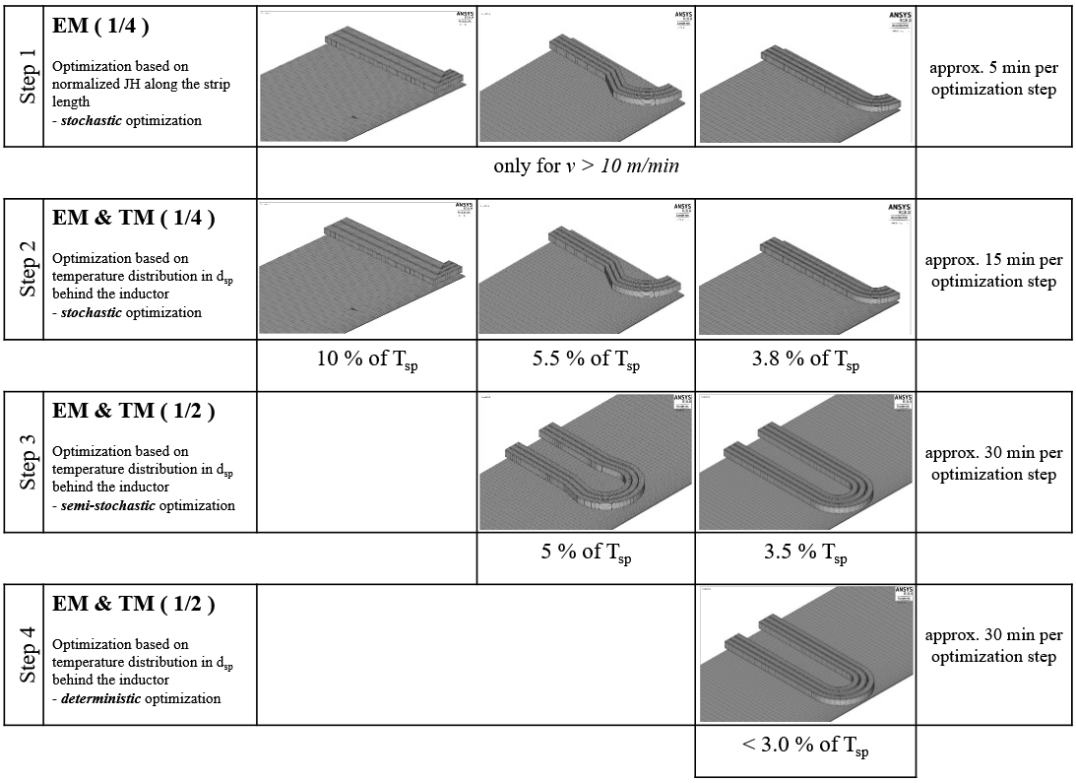


Figure 8 – Successive optimization approach

"Step 1" includes an optimization based on the integral Joule heat source distribution (JH) using a quarter EM. The JH is normalized to the maximum value in the regular zone in order to obtain a qualitative course of the integrated heat source distribution and thus to ensure a good comparability of the goal function. With the simulation computer used a duration of about five minutes per each optimization step in test examinations on a EM with 180,000 elements was reached. With this step an adequate solution can be found with less computational effort, which achieves an accuracy of ± 10 % of T_{sp}. However, this method only applies to fast moving strip with velocities of about $v > 10$ m/min. [2] For lower velocities, it is recommended to start with “Step 2” in order to map the effects of the heat propagation correctly.

In "Step 2" a quarter EM coupled with a corresponding quarter TM is used for the optimization. The goal function of the optimization algorithm is given by the maximum deviation from T_{sp}. Due to the transient solution of the TM, the computing time increases to 15 min per optimization step. Now, the range of the global minimum of the goal function can be limited and further optimized in “Step 3” on a half-model using a smaller parameter interval based on the results of “Step 2”. Due to the doubling of the model space, the computing time of an optimization step increases from 15 min to 30 min. As a result, a further improvement of the goal function can be achieved. For a very slow strip

movement of $v = 1$ m/min and T_{sp} below Curie-temperature, it has been found that optimizing the "lamp shape" inductor head tends to a regular "round head". For fast strip movement it is exactly the opposite as described in [2]. In the last optimization "Step 4", the calculation of the goal function has the highest accuracy, because of further reduction of the parameter range using the result of "Step 3". The least deviation that could be achieved with these optimization parameters is ± 3 %. Further investigation with other optimization parameter combinations may provide further improvement in maximum deviation from T_{sp}.

Conclusions

In this paper, a successive approach to optimal design of an inductive transverse flux heating system using numerical simulations and a genetic optimization algorithm is shown. The optimization takes place with respect to a goal function which describes a homogeneous temperature distribution at a defined distance after passing through the inductor. The hierarchical structure that consists of several steps is described. First, a coil concept was set by e.g. expert values. Next, preliminary calculations or sensitivity studies have been carried out based on a two-dimensional numerical model which maps the cross section through the regular zone of the inductor. Amongst others, it has been shown that the transverse flux heating is not sensitive to the magnetic permeability of the strip. In the next step, a three-dimensional numerical model was created, parameterized and coupled with a genetic algorithm. Depending on the temperature homogeneity to be achieved, step by step the geometry of the inductor head zone can be changed and investigated with different complex models. Starting with a quarter electromagnetic model (only for fast strip velocities v >10 m/min), where the goal function is the normalized Joule Heat distribution, this can be extended by an additional thermal model and the goal function can be adapted to the temperature distribution. Successively, the parameter range is reduced and in a final step with maximum accuracy, the optimization can be carried out on an electromagnetic coupled with a thermal model mapping the half inductor setup. Thus, a successive improvement in accuracy from ± 10 % to ± 3 % could be achieved.

References

[1] G. Nauvertat, Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 19, Nr. 129, 2000
[2] A. Aliferov et al., Induction heating technologies. Intensive Course Specific 1, St. Petersburg, Publishing House of ETU, 2013
[3] A. Ruhnke, Fortschritt-Berichte VDI, Reihe Reihe 19, Nr. 119, 2000
[4] B. Nacke, E. Baake, Induction heating, Vulkan Verlag, 2016
[5] S. Galunin et al., Proceedings of the International Seminar on Heating by Internal Sources, Padua, September 12-14, 2001
[6] B. Nacke, International Symposium on Heating by Electromagnetic Sources, Padua, June 19-22, 2007

ПРЕДСТАВЛЕНИЕ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЧЕТКОЙ КЛАСТЕРИЗАЦИИ ПОЛЕТНЫХ ДАННЫХ

С.А. Белоконь, Ю.Н. Золотухин, М.Н. Филиппов

Институт автоматики и электрометрии СО РАН
630090, Новосибирск, проспект Академика Коптюга, 1, Россия
serge@idisys.iae.nsk.su
тел: (383) 333-26-25

Ключевые слова: *нечеткая кластеризация, аэродинамические характеристики, обработка полетных данных, моделирование полета*

Abstract

A method for solving the problem of determining the aircraft aerodynamic characteristics based on flight data is presented. The application of the fuzzy clustering method to such a set of data makes it possible to describe the aerodynamic characteristics of an aircraft in the form of a black box model. The inputs of the "black box" are telemetry data, such as accelerations, angular velocities, thrust, dynamic pressure, etc.; outputs are the nondimensional aerodynamic coefficients of forces and moments. In conclusion, the results of fuzzy processing of flight and model data are presented.

Введение

Одной из проблем, стоящих при разработке самолетов, предназначенных для эксплуатации в широком диапазоне режимов, либо летательных аппаратов нетрадиционной компоновки, является построение корректных аэродинамических моделей и идентификация их параметров и структуры. Традиционным способом построения аэродинамических характеристик проектируемого летательного аппарата является проведение испытаний моделей аппарата в аэродинамических трубах.

Достижения в области вычислительной техники и методов программирования позволили использовать для аэродинамических расчетов методы вычислительной математики, такие как, например, CFD (computational fluid dynamics) [1]. Методы моделирования аэродинамики летательных аппаратов постоянно развиваются и совершенствуются (см. например, [2-6]), но, несмотря на значительные достижения в данной области, они остаются дорогостоящими и требующими значительных временных затрат. Кроме того, средства для наземных испытаний обладают неустранимыми ограничениями по точности из-за целого ряда факторов, таких как разница в масштабах и геометрии трубной модели и полноразмерного аппарата, интерференция от стен аэродинамической трубы и державки, нерегулярность воздушного потока, различные числа Рейнольдса и т. д.

В последние годы наметилась тенденция к поиску путей получения аэродинамических характеристик летательного аппарата путем обработки полетных данных, минуя наземные испытания. Так, целью инициативы Learn-To-Fly NASA [7, 8] является поиск возможности разработки аэродинамической модели летательного аппарата и системы управления полетом во всем эксплуатационном диапазоне с минимальным участием человека.

Ключевым компонентом концепции Learn-To-Fly является моделирование нелинейной аэродинамики на основе полетных данных. Новая парадигма призвана заменить в перспективе традиционные наземные испытания методами реального времени, применяемыми непосредственно в полете. Проведенные в NASA исследования [9-12] продемонстрировали, что новые

эффективные летные маневры (выполняемые пилотом или автоматически) могут сочетаться с современными методами идентификации для получения точных нелинейных моделей аэродинамики в близком к реальному масштабе времени для всех шести степеней свободы движения твердого тела одновременно, используя только полетные данные.

Цель проводимых в ИАиЭ СО РАН исследований состоит в разработке нечетких методов идентификации и представления аэродинамических характеристик на основе данных летных испытаний и исследование возможностей использования результатов при моделировании полета, разработке систем управления и тренажерных комплексов. Для достижения поставленной цели необходимо разработать метод представления аэродинамических характеристик (безразмерных коэффициентов аэродинамических сил и моментов) на основе полетных данных в виде модели «черного ящика», рекурсивный метод уточнения аэродинамических характеристик по мере накопления полетной информации и способы использования полученной аэродинамической базы данных при моделировании (например, в среде MATLAB/Simulink).

1 Кластеризация исходных данных

Рассмотрим набор из n точек $\{x_1, x_2, ..., x_n\}$ в M-мерном пространстве. Без потери общности будем считать, что данные (точки) нормализованы по каждой из координат, так что диапазоны значений их координат равны, т. е. точки лежат внутри единичного гиперкуба.

Будем рассматривать каждую точку в качестве потенциального центра кластера, и определим меру потенциала точки x_i как

$$(1) \quad P_i = \sum_{j=1}^{n} e^{-\alpha \left\| x_i - x_j \right\|^2},$$

где

$$(2) \quad \alpha = \frac{4}{r_a^2}$$

и r_a - положительная константа. Таким образом, мера потенциала для точки является функцией расстояний до всех других точек. Т. е. точка со многими близкими соседними точками имеет высокое значение потенциала. Постоянная r_a - это радиус действия потенциального центра кластера: точки, лежащие вне окружности этого радиуса, оказывают слабое влияние на потенциал рассматриваемого центра.

После вычисления потенциалов всех точек выбирается точка с наибольшим потенциалом в качестве центра первого кластера. Пусть x_1^* - положение центра первого кластера и P_1^* - величина его потенциала. На следующем шаге пересматриваются потенциалы каждой точки x_i в соответствии с выражением

$$(3) \quad P_i \Leftarrow P_i - P_1^* \cdot e^{-\beta \left\| x_i - x_1^* \right\|^2},$$

где

$$\beta = \frac{4}{r_b^2}$$

и r_b - положительная константа. Таким образом, величина потенциала каждой точки уменьшена в функции расстояния от центра первого кластера. Потенциал точек, расположенных

вблизи центра первого кластера, будет существенно уменьшен, и, следовательно, маловероятно, что они будут выбраны в качестве центра следующего кластера. Постоянная r_b - это радиус, определяющий окрестность заметного уменьшения потенциала. Чтобы исключить образование близко расположенных центров кластеров, величина r_b может быть выбрана несколько большей, чем r_a .

После пересмотра потенциалов всех точек в соответствии с (3) выбирается точка с наибольшим потенциалом в качестве центра второго кластера. В общем случае, после выбора центра k -го кластера потенциал каждой точки уменьшается в соответствии с выражением

$$P_i \Leftarrow P_i - P_k \cdot e^{-\beta\left\|x_i - x_k^*\right\|^2},$$

где x_k^* - положение центра k -го кластера и P_k^* - его потенциал.

Процедура завершается, как только максимальное значение потенциала оставшихся точек достигнет нуля. Отметим, что в отличие от способов окончания процедуры кластеризации, использованных в [13, 14], предложенный вариант завершения представляется более естественным. При этом отсутствует необходимость введения дополнительных эмпирических констант и искусственных критериев.

2 Идентификация модели

После применения процедуры кластеризации к набору входных/выходных данных, каждый центр кластера, по сути, является точкой, представляющей характерное поведение системы в окрестности этой точки. Следовательно, каждый кластер может быть использован как основа нечеткого правила, описывающего поведение системы.

В работе [14] предложен метод построения системы правил, описывающих поведение системы. Рассматривается множество центров кластеров $\left\{x_1^*, x_2^*, \ldots, x_c^*\right\}$ в M -мерном пространстве. Предполагается, что первые N размерностей соответствуют входным переменным, а оставшиеся $M - N$ - выходным. Разложим каждый вектор x_i^* на две составляющие y_i^* и z_i^*, причем y_i^* содержит первые N элементов x_i^*, (т. е. координаты центра кластера в пространстве входов) и z_i^* содержит оставшиеся $M - N$ элементов x_i^*, (т. е. координаты центра кластера в пространстве выходов).

Будем рассматривать центр каждого кластера как нечеткое правило, описывающее поведение системы. Определим степень выполнения i -го правила для входного вектора y как

$$\mu_i = e^{-\alpha\left\|y - y_i^*\right\|^2}, \quad (4)$$

где α - постоянная, определенная соотношением (2). Выходной вектор z вычисляется как

$$z = \frac{\sum_{i=1}^{c} \mu_i z_i^*}{\sum_{i=1}^{c} \mu_i}. \quad (5)$$

Отметим, что способ определения центров кластеров несколько отличен от [13, 14]: поиск потенциальных центров производится не во всем M -мерном пространстве, а только в N -мерном пространстве входных переменных. При этом остальная процедура сохраняется.

3 Оценка эффективности алгоритма

Для оценки эффективности предлагаемых подходов использованы данные, полученные как в ходе летных испытаний технологического летательного аппарата, так и при моделировании этого аппарата в среде MATLAB/Simulink.

При моделировании аэродинамики на основе полетных данных безразмерные коэффициенты аэродинамических сил и моментов выступают в качестве зависимых переменных. Для коэффициентов сил и моментов раздельно решается задача минимизации ошибки для каждого индивидуального уравнения движения летательного аппарата как твердого тела в пространстве с шестью степенями свободы.

Значения безразмерных коэффициентов аэродинамических сил и моментов не могут быть измерены непосредственно в полете. Они должны вычисляться на основе измеряемых и известных величин с использованием уравнений движения твердого тела в трехмерном пространстве [15].

Моделировалось поведение технологического летательного аппарата (ЛЛ — летающая лаборатория), оснащенного тремя управляющими поверхностями: элеронами, рулем направления и рулем высоты. На органы управления летательного аппарата подавались тестовые последовательности сигналов для возбуждения испытуемого объекта с целью определения его аэродинамических характеристик. Алгоритм построения и параметры тестовых последовательностей подробно описаны в работе [16].

Длительность эксперимента – 60 с., из них первые 30 с. использованы для построения модели методом нечеткой кластеризации, оставшиеся 30 с. использованы для тестирования модели. При кластеризации приняты следующие параметры: $r_a = r_b = 0.25$.

Для численной оценки предсказанных значений аэродинамических коэффициентов использован квадрат коэффициента множественной корреляции:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{j=1}^{m} \left(\hat{y}_j - y_j \right)^2}{\sum_{j=1}^{m} \left(\overline{y}_j - y_j \right)^2}, \quad (6)$$

где

y - значение параметра, использованного для обучения модели;

$\overline{y}$ - среднее значение;

$\hat{y}$ - значение выхода нечеткой модели;

m - число выборок.

Некоторые результаты моделирования приведены на рисунке 1.

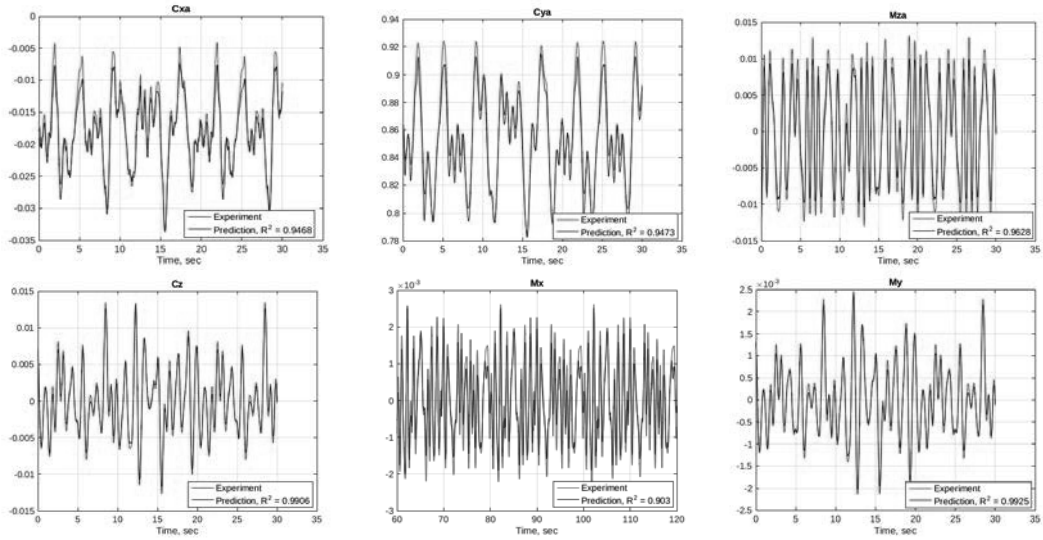


Рисунок 1 – Нечеткая модель аэродинамических коэффициентов в сравнении с данными эксперимента

Заключение

Для представления и идентификации аэродинамических характеристик модели использован подход, основанный на применении модифицированного метода нечеткой кластеризации к многомерному набору данных. Результаты численного моделирования в среде MATLAB/Simulink показали эффективность такого подхода.

Предложенный способ построения базы аэродинамических данных может быть использован:

- при построении авиационных тренажеров;
- при разработке и моделировании САУ;
- при построении базы аэродинамических данных конкретного летательного аппарата;
- при создании бортовых отказоустойчивых систем управления полетом и т. д.

Благодарности

Исследование выполнено за счет средств субсидии на финансовое обеспечение выполнения государственного задания № АААА-А17-117060610006-6 в Институт автоматики и электрометрии СО РАН.

Список литературы

[1] T.J. Chung. Computational Fluid Dynamics. – Cambridge University Press, 2002.

[2] McNally, B. David, “Full-Envelope Aerodynamic Modeling of the Harrier Aircraft,” NASA TM 88376, October 1986.

[3] Jategaonkar, R.V., Mönnich, W., Fischenberg, D. and Krag, B. “Identification of C-160 Simulator Data Base from Flight Data,” *Proceedings of the 10th IFAC Symposium on System Identification*, Copenhagen, Denmark, Elsevier Sciences Ltd., Oxford, UK, 1994, pp. 1031-1038.

[4] Hui, K., Ricciardi, J., Ellis, K, and Tuomey, D. “Beechjet Flight Test Data Gathering and Level-D Simulator Aerodynamic Mathematical Model Development,” AIAA 2001-4012, *AIAA Atmospheric Flight Mechanics Conference*, Montreal, Quebec, Canada, August 2001.

[5] Seher-Weiss, S. “Identification of Nonlinear Aerodynamic Derivatives using Classical and Extended Local Model Networks,” *Aerospace Science and Technology*, Vol. 15, 2011, pp. 33-44.

[6] Tobias, E.L., Tischler, M.B., Berger, T., and Hagerott, S.G. “Full Flight-Envelope Simulation and Piloted Fidelity Assessment of a Business Jet Using a Model Stitching Architecture,” *AIAA Modeling and Simulation Technologies Conference*, Kissimmee, FL, January 2015.
[7] Morelli, E.A. Real-Time Global Nonlinear Aerodynamic Modeling for Learn-To-Fly.
[8] Brandon, J.M. and Morelli, E.A. Learn-To-Fly Project Overview. Nonlinear Aerodynamic Modelling. Aerospace Control and Guidance Systems Committee Meeting 113 March 12-14, 2014
[9] Morelli, E.A. “Flight Test Maneuver Design for Efficient Aerodynamic Modeling,” AIAA-2011-6672, *AIAA Atmospheric Flight Mechanics Conference*, Portland, OR, August 2011.
[10] Morelli, E.A. “Efficient Global Aerodynamic Modeling from Flight Data,” AIAA-2012-1050, *50th AIAA Aerospace Sciences Meeting*, Nashville, TN, January 2012.
[11] Morelli, E.A., Cunningham, K., and Hill, M.A. “Global Aerodynamic Modeling for Stall/Upset Recovery Training Using Efficient Piloted Flight Test Techniques,” AIAA 2013-4976, *AIAA Modeling and Simulation Technologies Conference*, Boston, MA, August 2013.
[12] Brandon, J.M. and Morelli, E.A. “Real-Time Global Nonlinear Aerodynamic Modeling from Flight Data,” AIAA-2014-2554, *AIAA Atmospheric Flight Mechanics Conference*, Atlanta, GA, June 2014.
[13] Ronald R. Yager and Dimitar P. Filev. Learning of fuzzy rules by mountain clustering. Proc. SPIE Conf. on Applications of Fuzzy Logic Technology. Boston, pp. 246-254 (1993)
[14] Stephen L. Chiu. Fuzzy Model Identification based on Cluster Estimation. Journal of Intelligent and Fuzzy Systems, Vol. 2, 267-278 (1994)
[15] Динамика полета. Под ред. А. М. Мхитаряна, М., Машиностроение, 1978, 424 с.
[16] С. А. Белоконь, Ю. Н. Золотухин, М. Н. Филиппов. Метод формирования тестовых сигналов для оценивания аэродинамических параметров летательного аппарата // Автометрия. 2017. 53, №4. С. 59 – 65.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ГАЗОТУРБИННАЯ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

В.В. Бирюк[1], В.В. Урлапкин[1], Л.П. Шелудько[2], С.А.Гулина[2]

[1]Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева
443086, Самара, ул. Московское шоссе, д. 34, Россия
teplotex_ssau@bk.ru
тел: +7 (846) 267-45-66

[2]Самарский государственный технический университет
443100, Самара, ул. Молодогвардейская, 244, Россия
chel_lp@mail.ru
тел: +7 (846) 332-42-34

Ключевые слова: *нефтеперекачивающая станция (НПС), компрессорная станция (КС), магистральный нефтепровод, магистральный газопровод, способ работы, газотурбинная энергетическая установка*

Abstract

In operation creation perspectives at the industrial enterprises - the compressor stations (CS) of the main gas pipelines and oil pumping stations (NPS) of trunk oil pipelines of own technological gas turbine power plants intended for power supply of electromotors of gas-distributing aggregates and oil pumping pumps are designated. Important advantage of creation of own technological power stations is increase in profitability of the industrial enterprises due to the considerable reduction in cost of the made electric power concerning the electric power delivered from external electrical networks. Feature of technological power stations is use of their electric generators for the frequency regulation of loading of the electromotors giving gas-distributing aggregates and oil pumping pumps in the conditions of their operation with the under loading when lowering the expenditure of gas and oil in trunk pipelines

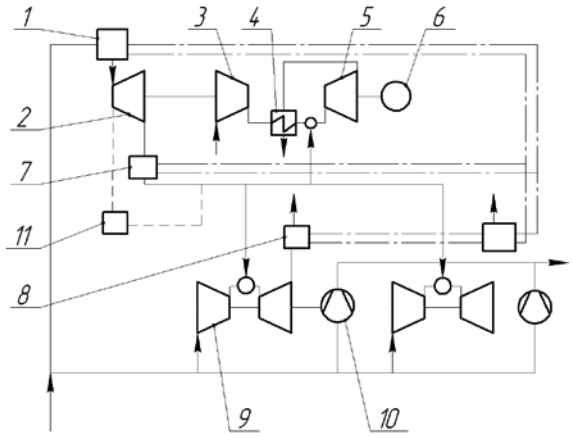
Введение

Эффективность создания на промышленных предприятиях технологических электростанций на базе газотурбинных установок дает возможность значительного снижения затрат на потребляемую электроэнергию по сравнению с электроэнергией, поставляемой из внешних высоковольтных ЛЭП. Наиболее эффективно их применение на предприятиях, осуществляющих транспорт природного газа и нефти. Эти компрессорные станции (КС) магистральных газопроводов и нефтеперекачивающие станции (НПС) магистральных нефтепроводов относятся к первой категории объектов электроснабжения. В настоящее время стала актуальной проблема освоения перспективных газовых и нефтяных месторождений Крайнего Севера, Северо-Западной Сибири и шельфов северных морей со строительством протяженных магистральных газо- и нефтепроводов с мощными КС и НПС с высоким потреблением электроэнергии. Эти факторы связаны с необходимостью привлечения значительных средств, затрачиваемых на строительство технологических электростанций. Надежность и экономичность компрессорных станций (КС) магистральных газопроводов в значительной степени зависит от бесперебойного энергоснабжения оборудования собственных нужд КС - аппаратов воздушного охлаждения газа (АВО), маслоохладителей и другого [1]. До 90% отказов при электроснабжении удаленных от центра КС связаны с системами внешнего электроснабжения. Наиболее значительно потребление электроэнергии на КС с электроприводными газоперекачивающими агрегатами (ЭГПА). Суммарная электрическая мощность таких КС выше нескольких десятков

МВт. Из-за тенденции роста тарифов на электроэнергию намечается замена части эксплуатируемых электроприводных ГПА с их заменой на газотурбинные ГПА.

Перспективы создания технологических электростанций на газо- и нефтетранспортных предприятиях

По нашему мнению, более перспективно направление по созданию на КС собственных технологических электростанций с высокоэкономичными мощными газотурбинными установками (ГТУ). Это мероприятие позволит исключить потери при транспорте электроэнергии, достигающие на протяженных высоковольтных линиях электропередач 10 – 12%. При этом из-за невысокой стоимости топливного газа стоимость киловатт-часа электроэнергии, вырабатываемой на собственных технологических электростанциях, может быть в полтора – два раза ниже стоимости энергии, поставляемой из центральных ЛЭП. Применение на КС собственных газотурбинных электростанций позволит решить проблему их надежного и экономичного электроснабжения. Одним из перспективных направлений является строительство на КС автономных электростанций с газотурбогенераторными энергетическими установками (рисунок 1), вырабатывающих электроэнергию с использованием потенциальной энергии расширяющегося в турбодетандере топливного газа всех газоперекачивающих агрегатов (ГПА) [2].



1 - подогреватель газа высокого давления, 2 – турбодетандер с регулируемым сопловым аппаратом, 3 – компрессор, 4 – регенеративный воздухоподогреватель, 5 – газовая турбина, 6 – электрогенератор, 7 – подогреватель топливного газа, 8 – утилизатор тепла выхлопных газов газовой турбины, 9 – газотурбинный газоперекачивающий агрегат КС, 10 – нагнетатель природного газа, 11 – устройство управления

Рисунок 1 – Тепловая схема газотурбодетандерной технологической электростанции собственных нужд КС

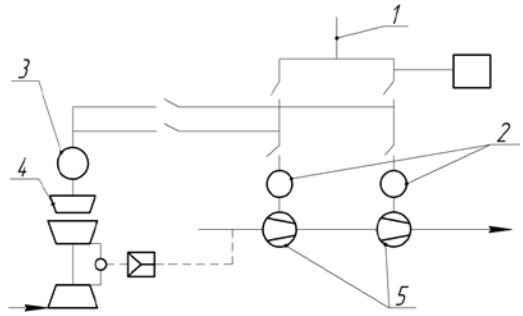
Повышению конкурентоспособности строительства на КС собственных электростанций способствует также то, что вырабатываемая ими электроэнергия является технологическим продуктом и не будет облагаться налогом на прибыль.

Топливный газ, подаваемый в камеры сгорания (КС) энергетической газотурбодетандерной установки (ЭГТДУ) и газотурбинных ГПА компрессорной станции после его предварительного подогрева в теплоутилизаторах газовых турбин ГПА, расширяется в турбодетандере, приводящем компрессор ЭГТДУ, что позволяет увеличить расход воздуха в компрессоре, повысить мощность ЭТГУ, а также тепловую экономичность ГПА. Например, если давление газа перед турбодетандером и за равняется, соответственно, 5 и 2 МПа, степень повышения давления в компрессоре $\sigma = 8$, его КПД $\eta_k = 0{,}84$, КПД газовой турбины $\eta_k = 0{,}86$ и температура газа

перед газовой турбиной $t_З$=1100^{0}С, то электрический КПД газотурбодетандерной энергетической установки достигает значения $\eta_Э^{ЭГТДУ}$ = 0,763, что значительно выше КПД лучших парогазовых установок.

На многих компрессорных станциях магистральных газопроводов установлены как газотурбинные ГПА так и электроприводные газоперекачивающие агрегаты (ЭГПА), суммарная электрическая мощность которых может составлять 60 и более МВт. При значительном уменьшении расхода газа в газопроводе, обычно останавливают часть работающих электроприводных ГТУ. Несмотря на то, что ЭГПА имеют более высокий рабочий ресурс и меньшую стоимость ремонтов, по сравнению с газотурбинными ГПА, в последнее время наметилась тенденция вывода из эксплуатации электроприводных ГПА с их заменой на газотурбинные ГПА. Это решение ОАО «Газпром» связано с тем, что ежегодно происходит повышение стоимости кВтч электроэнергии подаваемой на КС из-за протяженных высоковольтных ЛЭП. В этих условиях на компрессорных станциях, имеющих электроприводные ГПА, целесообразно строительство собственных технологических электростанций с использованием мощных энергетических ГТУ.

Способ работы этого типа компрессорной станции магистрального газопровода предложен в патенте РФ [4]. Согласно этому способу электроснабжение компрессорной станции может осуществляться от дополнительных энергетических ГТУ а также, в случаях их ремонта из внешних высоковольтных ЛЭП. Важно, что при подключении генераторов энергетических ГТУ через шинопроводы к синхронным электродвигателям электроприводных ГПА, имеется возможность, при изменении расхода газа в магистральном газопроводе, производить частотное регулирование нагрузки электроприводных ГПА. При этом электроснабжение ЭГПА производят от генераторов энергетических ГТУ, отключая их от внешней электрической системы. Мощность, число оборотов и частоту тока генераторов изменяют в соответствии с изменением давления газа перед нагнетателями электроприводных ГПА.



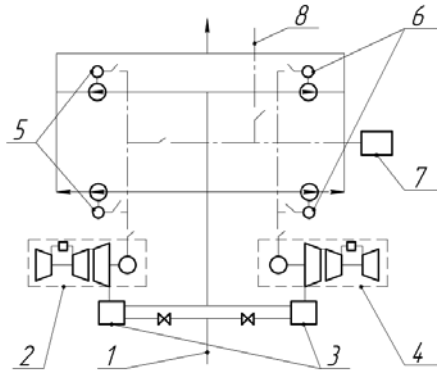
1 – внешняя электролиния, 2 – синхронные электродвигатели ГПА, 3 – электрогенератор, 4 – силовая газовая турбина, 5 – нагнетатели, собственные нужды КС

Рисунок 2 – Тепловая схема технологической газотурбинной электростанции КС

В патенте [5] предусматривается применение в энергетических ГТУ двухступенчатой системы регулирования. Ее первая часть осуществляет их регулирование в режимах работы при постоянных оборотах и частоте электрического тока генераторов, синхронизированных с внешней электрической сетью. Вторая ступень системы регулирования включается на режимах с уменьшенными расходами газа в газопроводе, отключениями от электрической сети и питании ЭГПА от генераторов энергетических ГТУ. При этом производится регулирование числа оборотов электрогенератора и частоты тока генераторов с частотным регулированием оборотов и мощности электроприводных ГПА.

Наиболее энергоемкими объектами магистральных нефтепроводов являются нефтеперекачивающие станции (НПС), оснащенные мощными нефтеперекачивающими насосами. Элек-

трическая мощность большинства НПС равна 25 - 30 МВт. Представляется перспективным строительство на них собственных технологических газотурбинных электростанций. Целесообразно установить на ней две энергетические газотурбинные установки. Электрогенератор первой из них будет связан через шинопроводы с электрическими выключателями, с электродвигателями первой группы нефтеперекачивающих насосов, а электрогенератор второй энергетической ГТУ соединен с электродвигателями второй группы нефтеперекачивающих насосов НПС, а также через трансформатор связан с внешней высоковольтной ЛЭП. При изменениях расходов нефти в магистральном нефтепроводе производят частотное регулирование нагрузки электродвигателей нефтеперекачивающих насосов за счет изменения мощности, числа оборотов и частоты электрического тока электрогенератора первой энергетической ГТУ. В режимах работы НПС с значительным уменьшением расхода нефти, часть работающих насосов второй группы можно остановить и избыточную электроэнергию, вырабатываемую электрогенератором второй энергетической ГТУ, подавать внешним потребителям. В качестве топлива для энергетических ГТУ можно использовать предварительно подготовленный попутный нефтяной газ (ПНГ). Проведенный в [5] анализ показал, что использование дешёвого попутного нефтяного газа обеспечивает уменьшению себестоимости при транспорте нефти. На рисунке 3 изображена принципиальная схема электроснабжения НПС от собственной технологической энергетической газотурбинной электростанции с двумя энергетическими ГТУ.



1 – магистральный нефтепровод, 2 – первая энергетическая ГТУ,3 – теплоутилизаторы-подогреватели нефти, 4 – вторая энергетическая ГТУ, 5 – электродвигатели первой группы нефтеперекачивающих насосов, 6 - электродвигатели второй группы нефтеперекачивающих насосов, 7 – электрооборудование собственных нужд НПС, 8 – внешняя ЛЭП.

Рисунок 3 – Тепловая схема нефтеперекачивающей станции
с энергетическими газотурбинными установками

Важно, что теплота уходящих газов энергетических ГТУ может использоваться как для подогрева перекачиваемой нефти, так и для теплоснабжения зданий НПС.

Заключение

Строительство на компрессорных станциях магистральных газопроводов собственных газотурбинных технологических электростанций позволяет:

- повысить экономичность и надежность КС за счет выработки собственной энергии стоимость кВтч которой в 1,5 - 2 раза ниже электроэнергии поставляемой из внешних ЛЭП;
- осуществлять экономичное частотное регулирование нагрузки электроприводных ГПА;
- повысить КПД газотурбинных электростанций и газоперекачивающих агрегатов КС за счет применения турбодетандерных агрегатов расширяющих топливный газ.

Применение газотурбинных энергоагрегатов на НПС магистральных нефтепроводов позволяет:

- повысить экономичность и надежность НПС с уменьшением себестоимости перекачки нефти за счет отказа от поставок дорогой электроэнергии из внешних ЛЭП и использования в качестве топлива для энергетических ГТУ попутного нефтяного газа;
- производить экономичное частотное регулирование работы нефтеперекачивающих насосов при снижении расхода перекачиваемой нефти с подачей внешним потребителям избыточной электроэнергии, вырабатываемой энергетическими ГТУ, что обеспечит снижение себестоимости перекачки нефти.

Список литературы

[1] Меньшов Б.Г. Электроснабжение газотурбинных компрессорных станций магистральных газопроводов [Текст] / Меньшов Б.Г., Беляев А.В., Ящерицын В.Н.-М.: Недра, 1985

[2] Бирюк В.В. Газотурбодетандерная установка собственных нужд компрессорных станций магистральных газопроводов. / Бирюк В.В., Шелудько Л.П.// Проблемы теплоэнергетики. Сб. науч. трудов по материалам XII Международной научно-технической конференции. Выпуск 3. С. 246 – 250. Саратов, 2014.

[3] Патент РФ № 2590082 Газотурбодетандерная энергетическая установка компрессорной станции магистрального газопровода.

[4] Патент РФ № 2272937 Способ работы компрессорной станции магистрального газопровода с электроприводными газоперекачивающими агрегатами.

[5] Патент РФ №2580577 Способ управления компрессорной станцией с электроприводными газоперекачивающими агрегатами.

[6] Гулина С.А. Проблемы расчётного анализа характеристик ГТД, работающих на природном газе [Текст] / С.А. Гулина, Е.Л. Михеенков, М.Ю. Орлов // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета. – 2011.- №5 (29). С.83-85.

ГЕНЕТИЧЕСКИЙ АЛГОРИТМ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ ТРАЕКТОРНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОТИВОКОРАБЕЛЬНОЙ РАКЕТОЙ

Воронов Е.М., Михопаркин Я.Н., Серов В.А., Сычев С.И., Савчук А.М.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана
(национальный исследовательский университет)»
105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1, Россия
bauman@bmstu.ru
тел: +7 (499) 263-6391

Ключевые слова: *многокритериальная оптимизация, генетический алгоритм, траекторное управление, противокорабельная ракета, мутация, кроссинговера, функция пригодности.*

Abstract
This article demonstrates the process of applying the genetic algorithm to multicriterion optimization of control of a nonlinear object, represented by a mathematical model of the movement of an anti-ship missile.

Введение

Управление объектами, описываемым сложными нелинейными моделями представляет особую трудность для классической теории управления в силу невозможности применить типовые подходы в синтезе систем управления. В данной статье рассматривается задача получения оптимальных по нескольким критерием программных траекторий. Решение данной проблемы является первым этапом синтеза позиционной системы наведения с применением метода аналитического конструирования агрегированных регуляторов (АКАР).

По примеру работы [1] и в рамках расширения рассмотренного в статье метода решения аналогичной проблемы, оптимизируется движение ЛА, описываемого системой (1).

$$(1)\quad \begin{cases} m\frac{\mathrm{d}V}{\mathrm{d}t} = P(t) - X_A - mg\,\boldsymbol{sin}\,\theta \\ mV\frac{\mathrm{d}\theta}{\mathrm{d}t} = Y_A - mg\,\mathbf{cos}\,\theta \\ mV\,\mathbf{cos}\,\theta\frac{\mathrm{d}\Psi}{\mathrm{d}t} = Z_A \\ \frac{\mathrm{d}X}{\mathrm{d}t} = V\,\mathbf{cos}\,\theta\,\mathbf{cos}\,\Psi \\ \frac{\mathrm{d}Y}{\mathrm{d}t} = V\,\mathbf{sin}\,\theta \\ \frac{\mathrm{d}Z}{\mathrm{d}t} = -V\,\mathbf{cos}\,\theta\,\mathbf{sin}\,\Psi \\ \frac{\mathrm{d}m}{\mathrm{d}t} = f_m(t) \end{cases},$$

где V – скорость ЛА, $P(t)$ – Тяга двухступенчатого двигателя, θ – угол наклона траектории, Ψ – угол поворота траектории, X, Y, Z – пространственные координаты, m – масса, $f_m(t)$ – функция изменения массы, характеризуемая режимом работы двигателя. X_A, Y_A, Z_A – аэродинамические силы, воздействующие на ЛА, определяемые системой (2).

$$(2)\quad \begin{cases} X_A = f_{Cx}\left(\frac{mg}{qS}\sqrt{n_y^2 + n_z^2}\right) qS \\ Y_A = n_y mg \\ Z_A = n_z mg \\ q = q(V, Y) \\ \dot{n_y} = -n_y^*/0.3 \\ \dot{n_z} = -n_z^*/0.3 \end{cases},$$

где S – площадь поверхности крыла ЛА, n_y, n_z - соответственно вертикальная и боковая перегрузки, n_y^*, n_z^* - уставка перегрузок на входе системы стабилизации, описываемого апериодическим звеном. На значение управляющих воздействий также наложено ограничение (3):

$$(3)\quad \begin{cases} n_y \in [-4; 4] \\ n_z \in [-4; 4] \\ \frac{mg}{qS}\sqrt{n_y^2 + n_z^2} < 5.3. \end{cases}$$

Оптимизация осуществляется для следующих начальных условий: $m_0 = 101$ кг., тяга двигателя P=1200кгс при t<=2с, P=300кгс при 2с < t <= 11с и P=0 при t>11; расходование топлива $dm/\,dt$=-5.2кг/с при t<=2с, $dm/\,dt$=-1.545кг/с при 2с < t <= 11с и $dm/\,dt$ =0 при t>11. Начальные координаты пуска [*X,Z*] = [*0,0*], высота пуска Y=12500 и 15000м. . Координаты цели [X_t, Y_t, Z_t] = [*50000м, 10000м, 0*]

Критерии к качеству наведения формируются в следующем виде:

1) Максимизация скорости подлёта: $V(t_k) \to max$
2) Минимизация промаха: $\sqrt{(X_t - X_k)^2 + (Y_t - Y_k)^2 + (Z_t - Z_k)^2} \to min$
3) Обеспечение угла подлета -90^0: $|\theta_k + 90^0| \to\ min$

1 Формирование генетического алгоритма

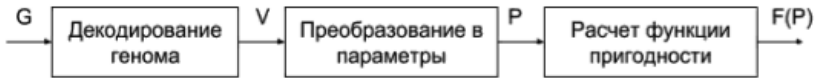
Оптимизация на основе генетического алгоритма (ГА) – численный алгоритм оптимизации, представляющий из себя разновидность случайного поиска с особым механизмом формирования точек исследования для каждой итерации. Идея появления данного класса методов берет свой начало из окружающей природы, а именно основывается на принципах естественного отбора в живой природе, наследования признаков за счет генов и изменчивости особей, обеспеченной за счет слияния хромосом родительских особей, мутаций и изменчивости в течении жизни каждой конкретной особи [2-3]. Большинство генетических алгоритмов в задачах оптимизации реализуют в себе изменчивость через слияние хромосом и мутации.

Алгоритм оперирует набором параметров, называемых *генами* на логическом уровне ген – значение параметра, закодированное в виде набора нулей и единиц. Важным параметром гена является его размер – максимальное количество нулей и единиц составляющее ген. Так число 60, закодированное геном размерности 8 может быть представлено в виде: 00111100. Каждый символ гена – один бит. Биты нумеруются слева-направо.

Набор генов формирует *хромосому*, множество которых формируют геном особи. Далее под *особью* будет пониматься соответствующий её набор хромосом. Особи в совокупности формируют *популяцию*.

Геном в своей совокупности определяет то, как особь взаимодействует со внешней средой. Далее производится оценка этого взаимодействия методом расчета значения *функции пригодности*. *Функция пригодности* (ФП) – численный показатель пригодности набора генов в качестве решения поставленной задачи ГА.

Таким образом процесс оценки качества особи представлен на рисунке 1:



G – матрица генов особи
V – матрица декодированных генов, элементы которой лежат в интервале [0,2^K], где K-размер гена
P – матрица параметров
F(P) – значение функции пригодности

Рисунок 1 – Преобразование генов особи в значение функции пригодности

При реализации алгоритма оптимизации для задачи синтеза программного управления необходимо определить следующие образующие блоки:

1) Определение доступных операторов ГА.
2) Способ параметризации управления.
3) Задание функции пригодности.

1.1 Определение доступных операторов ГА

На основе работы [4] можно выделить перечень основных операторов генетического алгоритма: селекция, кроссинговер, мутация, инверсия.

Селекция – задаёт алгоритм отбора особей, которые могут участвовать в создании следующего поколения. Выделяют следующие типовые виды селекции: случайная селекция, метод рулетки, метод шкалы, турнирная селекция, на основе элитных особей, комбинированная селекция. Важный параметр при выборе способа селекции – обеспечение приемлемой скорости сходимости и качества итогового решения. Так как в общем случае задача оптимизации многомодальна, то эти два показателя вступают в конфликт, так что ускорение сходимости уменьшает качество итогового решения, в то время как медленная сходимость увеличивает время оптимизации, что крайне важно в случае оптимизации сложных моделей.

Случайная селекция – особи отбираются случайным образом независимо от значения функции приспособленности

Метод рулетки – особи отбираются случайным образом, при этом вероятность отбора каждой особи пропорциональна значению функции пригодности. Вероятность отбора i-ой особи может быть выражена в виде (4) (F(Gi) – значение функции пригодности, P – количество особей в популяции):

$$(4)\quad p_i = \frac{\mathrm{F}(\mathrm{G}_i)}{\sum_{k=1}^{P} \mathrm{F}(\mathrm{G}_k)}$$

Метод шкалы – По аналогии с методом рулетки вероятность зависит от функции пригодности (5), но зависимость нелинейная ($W(F_i)$ – «вес» особи, зависимость веса от значения ФП):

$$(5)\quad p_i = \frac{\mathrm{W}(\mathrm{F}(\mathrm{G}_i))}{\sum_{k=1}^{P} \mathrm{W}(\mathrm{F}(\mathrm{G}_k))}$$

Турнирная селекция – все особи случайным образом делятся на пары. Далее в каждой паре выбирается для следующего этапа особь с наибольшим значением функции пригодности и процесс отсеивания повторяется, пока не будет отобрано желаемое количество особей.

Селекция на основе элитных особей – отбирается заданное количество лучших особей без случайного выбора. Плюс данного метода заключается в том, что геном лучшей особи не будет потерян, что обеспечивает неубывание лучшего значения ФП в следующих поколениях.

Комбинированная селекция – сочетает в себе различные методы селекции для достижения желаемых значений по скорости сходимости и качества итогового решения.

Для решения задачи, на основе предварительного испытания различных методов селекции выбран комбинированный метод, на основе элитных особей и селекции по шкале.

Алгоритм селекции в таком случае можно представить в следующем виде:

- Этап 1. Выбор K_e особей с лучшим значением ФП

- Этап 2. Оставшиеся особи выбираются методом шкалы по формуле (5), где F и W(F) соответствуют системе (6):

$$(6)\quad \begin{cases} W(F) = \left[\frac{F}{\max\{F_i, i=\overline{1,P}\}}\right]^{\alpha} \\ F \in [0,1] \\ \alpha > 1 \end{cases}.$$

Данный вид селекции даёт следующие преимущества: за счет элитной селекции гарантируется сохранение лучшего генома популяции. Вид функции $W(F)$ за счет изменения параметра α позволяет регулировать скорость схождения: при α близких к единице отбор соответствует методу рулетки, при увеличении α понижается вероятность отбора «слабых» особей.

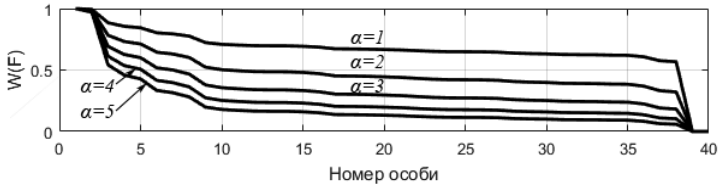


Рисунок 2 – Зависимость веса особи при селекции от значения параметра α

На рисунке 2 представлен график изменения веса каждой особи для отсортированного по уменьшению ФП массива особей в одном из поколений популяции.

Мутация – оператор, обеспечивающий изменчивость каждой особи независимо от родительских особей. В простейшем случае мутации можно разделить на два класса: *хромосомные мутации, мутации генов.* Хромосомные мутации заключаются в изменении количества/размера генов в хромосоме, количества хромосом, что необходимо учитывать при параметризации. Применение таких мутация затруднено и возможно в ограниченным пределах, в виду проблем при кроссинговере генов родительских особей, имеющих разную конфигурацию и необходимости особых методов параметризации, предусматривающих изменения числа хромосом, количества генов и размера гена. *Мутации генов* – точечное изменение гена, представленного в виде набора 0 и 1. Операцию *инверсии* можно отнести к частному случаю мутации, тем не менее в некоторых источниках она определяется отдельно. Инверсия – случайное изменение всех компонент гена особи на противоположные значение. Так ген 010001 после инверсии будет иметь вид 101110.

В работе [3] рассматривается особенности выбора метода мутации. Как и метод селекции, выбор метода реализации мутации влияет на скорость и качество оптимизации. Так, исследование процесса оптимизации модели показало, что при классической реализации мутации генетический алгоритм по скорости схождения приближается к случайному поиску из-за большой чувствительности результата к изменению битов на первых позициях каждого гена. В связи с этим предложено использовать метод мутации, в котором биты в гене имеют не одинаковую вероятность мутации. Вероятность мутации каждого бита в гене можно представить в виде системы (7):

$$(7)\quad \begin{cases} p_{mut}(i) = k_{mut} i + \frac{1}{R} - k_{mut}\frac{K}{2} \\ k_{mut} \in \left[0; \frac{2}{K^2}\right] \end{cases},$$

где $p_{mut}(i)$ – вероятность мутации i-ой компоненты гена; R – размер гена. Варьируя значение коэффициента k_{mut} возможно увеличивать вероятность мутации конечных битов генов. Это уменьшает различие между мутированной и исходной особями, сужая, область поиска.

Кроссинговер – процесс формирования дочерних особей из родительских особей, выбранных на этапе селекции. Процесс можно описать следующим алгоритмом: 1) выбирается точка кроссинговера. 2) геном каждой родительской особи делится точкой кроссинговера на две части. 3) гены обмениваются частями и из них формируется две новые особи

1.2 Способ параметризации управления

Программное управление задаётся функцией изменения управляющих величин. В рамках рассматриваемой задачи это вертикальная и боковая перегрузки. Метод параметризации управления определяет каким образом матрица параметров будет определять $n_y(t)$ $n_z(t)$

Так как имеется две управляющие величины, то геном должен состоять из двух хромосом, каждая хромосома определяет изменение для одной перегрузки.

Представив геном особи G в виде G = [G1; G2], G1 = [G11, G12… G1N] (аналогично для G2), управление можно представить в виде (8-9)

(8) $n_y(t) = f_u(t, G_1)$

(9) $n_z(t) = f_u(t, G_2)$,

где функция f_u имеет следующий вид:

(10) $\begin{cases} f_u(t,G_i)=\frac{n_{max}-n_{min}}{2^K}G_{id} + n_{min} \\ d=\left\lfloor \frac{t}{t_{max}/R} \right\rfloor \end{cases}$,

где n_{max} n_{min} – максимальное и минимальное допустимое значение перегрузки, K – размер гена, R – количество генов, t_{max} – оценка максимальной продолжительности полета для текущих начальных условий. На рисунке 3 пример программного управления, полученного на основе параметров.

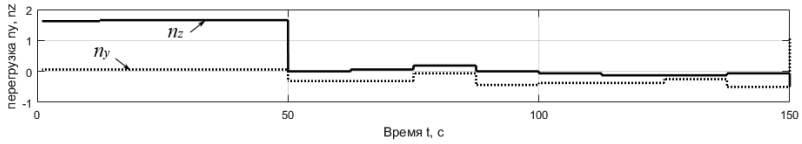


Рисунок 3 – Пример программного управления на основе параметров

1.3 Задание функции пригодности

Как было отмечено ранее, генетический алгоритм при определении качества решения оперирует *функцией пригодности* – скалярным показателем. В задаче формируются три критерия. Тем самым функция пригодности представляет собой взвешенную сумму значений трех критериев.

Также следует отметить, что цели оптимизации для каждого из критериев не совпадают. Для критериев 2 и 3 стоит задача минимизации, для критерия 1 – максимизации. Преобразуем критерий 1 так, чтобы от максимизации перейти к минимизации. Также следует учесть, что промах, угол подлета и скорость, не сравнимы по абсолютным значениям, в связи с чем значения критериев нормируются.

В итоге критерии приводятся к виду:

(11) $J_1 = \frac{|V_{ид} - V_k|}{V_{ид}} \to min$

(12) $J_2 = \frac{\sqrt{(X_t-X_k)^2+(Y_t-Y_k)^2+(Z_t-Z_k)^2}}{\sqrt{(X_0-X_k)^2+(Y_0-Y_k)^2+(Z_0-Z_k)^2}} \to min$

(13) $J_3 = \frac{|\theta_k + \pi/2|}{\pi/2} \to min$

где $V_{ид}$ – недостижимое значение скорости подлета к цели, определяемое на основе тестовых этапов моделирования. X_0, Y_0, Z_0 – начальные координаты.

Следующим шагом сформируем максимизируемую функцию пригодности F:

(14) $F(J_1, J_2, J_3) = \sum_{i=1}^{3} w_i(1 - J_i)$

где w_i – весовые коэффициенты. Таким образом, так как критерии качества J_1, J_2, J_3 являются функциями от $n_y(t)\ n_z(t)$ которые в свою очередь определяются уравнениями (8-9), введена функция пригодности как функция матрицы генов G_i.

2 Этап оптимизации

Оптимизация проводится при следующих параметрах ГА: количество особей N=150, количество поколений P=150, размер гена: K=8, количество генов: R=16, количество хромосом: H=2, $t_{max} = 160c$ и 150с., $k_{mut} = 0.006$, $\alpha = 3$. Высота пуска 12.5 км и 15.км

Результат для начальных условий 1: промах: 255м, скорость 305м/с, угол подлета -83°. Значение ФП – 0.8981; для условий 2: промах: 302м, скорость 311 м/с, угол подлёта: -87°, ФП = 0.9102

На рисунке 4 показаны 2 синтезированные траектории при высоте пуска 12.5 км и 15.км. На рисунке 5 – полученные управления.

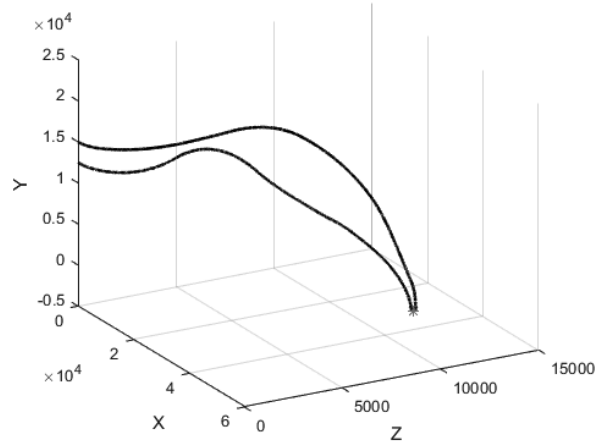


Рисунок 4 – Траектории движения ЛА с рассчитанным управлением

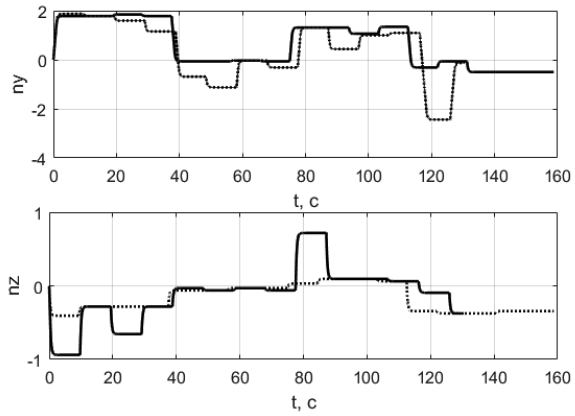


Рисунок 5 – Графики управления для полученных решений

Заключение

Приведённый алгоритм генетической оптимизации показал возможность применения метода для оптимизации программного управления для объекта, описываемого системой () за приемлемое время с приемлемым качеством управления.

В процессе оптимизации также выявилась сильная чувствительно значения функции пригодности от генов, отвечающих за управление на начальном этапе.

Наличие трех различных решений для одинакового набора начальных условий подтверждает: 1) попадание решений в локальные минимумы, из чего следует квазиоптимальность полученных управлений; 2) наличие множества локальных экстремумов функции пригодности.

Результат может быть улучшен несколькими методами: 1) увеличение количества особей в популяции; 2) увеличение максимального количества поколений 3) модификация способа параметризации с целью избежать высокой чувствительности функции пригодности к изменениям части генов.

Список использованных источников

[1] Воронов Е.М., Савчук А.М., Спокойный И.А., Сычев С.И. Многокритериально-оптималь- ный нелинейный метод пространственного наведения // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Приборостроение. 2016. № 6. С. 126–139

[2] Гладков Л.А., Курейчик В.В., Курейчик В.М. Генетические алгоритмы / Под. Ред. В.М. Курейчика – 2-е изд. испр. и доп. – М.ФИЗМАТЛИТ. 2006

[3] Батищев Д.А. Генетические алгоритмы решения экстремальных задач. – Воронеж: Изд-во ВГТУ, 1995

ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРНЫХ РЕШЕНИЙ НА КОМПЕНСАЦИЮ ПОСЛЕДСТВИЙ ОТ ПРОЯВЛЕНИЯ ДЕФЕКТОВ В КОМПОНЕНТАХ АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫХ КОМПЛЕКСОВ

В.Е. Гвоздев, Б.Г. Ильясов, А.С. Давлиева, В.В. Тесленко

Уфимский государственный авиационный технический университет
450008, Уфа, ул. К. Маркса, 12, Россия
aliyasr21@gmail.com
тел: +7 (937) 155-58-91

Ключевые слова: *функциональная безопасность, эффективность, дефект, структурное решение, аппаратно-программный комплекс*

Abstract

In this article, the influence of structural solutions on the consequences compensation from the manifestation of defects through the evaluation of the survivability of the components of the hardware-software complexes, determined by the average target efficiency, is considered. A formulation of the estimating problem the survivability system is described. The problem loss of efficiency in one system state and the possibility of compensation due to other states are considered. The results of studies that correspond to different structures in complex systems.

Введение

Системы обработки данных становятся ключевым фактором управления целевой эффективностью сложных аппаратно-программных комплексов (АПК). Отмеченное обстоятельство обуславливает повышение требований к системному свойству АПК, именуемого «безопасностью» одной из составляющих которого является стойкость. Одним из показателей функциональной безопасности является функциональная уязвимость.

Особенностью современных систем обработки данных является то, что для них характерно бесконечно большое число внутренних состояний. Это обусловлено бесконечно большим числом возможных комбинаций входных данных и иных внешних воздействий, стимулирующих проявление дефектов разной природы, причиной которых являются разнотипные ошибки, допущенные на разных стадиях жизненного цикла систем [1-4]. Это обосновывает целесообразность развития подходов к исследованию уязвимости систем на основе анализа внешнего поведения систем [5-7].

Дефект – системное понятие. Основной упор при анализе аппаратно-программных комплексов, к сожалению, делается на поиски дефектов программной реализации, а не дефектов организационного характера.

Целевая эффективность характеризует степень соответствия функционирования системы ее целевому назначению с точки зрения пользователя [8]. Целевая эффективность может использоваться как метрическая характеристика соответствия свойств АПК тому, что называется Voice of Customer (VoC). Учитывая системообразующую роль АПК в управлении сложными системами разной природы, можно утверждать, что функциональная стойкость относится к ключевым факторам управления целевой эффективностью [9, 10 и др.].

Сравнительный анализ альтернативных вариантов реализации систем обработки данных и управления на ранних стадиях проектирования по показателю целевой эффективности в качестве одной из задач предполагает сравнение вариантов проектных решений по возможности, в случае отклонения поведения системы от расчетного, компенсировать уменьшение функциональных возможностей некоторых частей системы за счет других ее частей. Это обуслав-

ливает актуальность разработки методических и инструментальных основ сравнительного анализа альтернативных вариантов реализации АПК по показателю функциональной эффективности.

В настоящей работе представлены результаты сравнительного анализа альтернатив построения систем по показателю стойкости, а также возможности компенсации изменения свойств АПК, являющихся узлами инфокоммуникационных систем, за счет изменения характеристик других компонент (узлов) систем в случае, когда характеристики как узлов, так и их отношений заданы интервальными оценками.

1 Анализ состояния исследований

На сегодняшний день существует достаточно много работ в области анализа уязвимости технических систем, например, [11-13]. В рамках этих работ в основном исследуется уязвимость с точки зрения изменения внутреннего состояния систем вследствие внешних воздействий, либо изменения свойств структуры. Однако технические системы, уязвимость которых рассматривается с точки зрения разработчика, отличаются от систем обработки данных и управления, где показатель уязвимости характеризует систему с точки зрения потребителя. Поэтому, во-первых, в качестве признака уязвимости рассматривается целевая эффективность, во-вторых, учитывая то, что аппаратно-программные комплексы могут функционировать в различных режимах, выбирается среднее значение показателя целевой эффективности. Для разных классов технических систем соответствуют разные показатели надежности.

Известен подход оценивания показателя целевой эффективности, являющейся величиной аддитивной, по показателю линейной свертки:

$$(1) \quad Э_{\Sigma} = \sum_{i=1}^{n} Э_i \cdot p_i \ ,$$

где p_i – финальная вероятность пребывания системы в *i*-м состоянии.

Однако не получили достаточного развития исследования показателя эффективности в случае вариативности характеристик состояния внешней среды и естественной вариативности внутренних параметров системы.

В рамках настоящей работы предлагается подход к исследованию статистических характеристик в случае, когда свойства компонентов распределенных систем и связей между ними являются интервальными оценками.

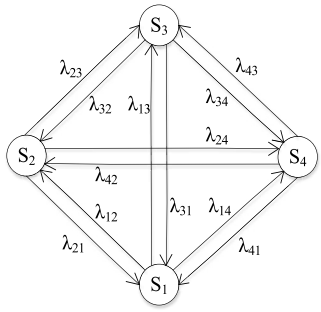
2 Формальная постановка задачи

Исходными данными задачи оценки влияния структурных решений на параметрическую уязвимость компонентов АПК, описанными в [14, 15] являются:

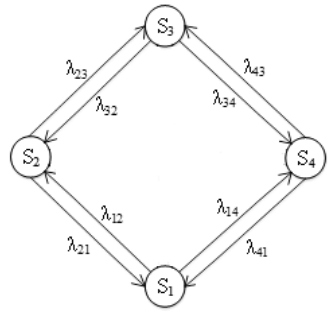
1) Структура в виде графа $V = (Э, \lambda)$, где $Э$ – узлы системы; λ_{ij} – ребра, связывающие *i*-й и *j*-й узлы, $i, j = \overline{1;n}$. В ходе исследований рассматривались четыре типовые структуры компонентов распределенных инфокоммуникационных систем, описанные в литературе [10 и др.], – «сеть», «кольцо», «звезда», «линейка» (рисунок 1).
2) Известные базовые значения показателей эффективности системы $Э_i, (i = \overline{1;n})$, а также диапазоны отклонений $\{\Delta Э_i^{(н)}, \Delta Э_i^{(в)}\}$ показателей эффективности в меньшую и большую стороны, т.е., $Э_i \in [Э_i - \Delta Э_i^{(н)}, Э_i + \Delta Э_i^{(в)}]$.

3) Известные базовые значения интенсивностей переходов $\lambda_{ij}(i=\overline{1;n};\ j=\overline{1;m})$, а также диапазоны отклонений как в меньшую, так и в большую стороны, т.е. $\lambda_{ij} \in [\lambda_{ij} - \Delta\lambda_{ij}^{(н)}, \lambda_{ij} + \Delta\lambda_{ij}^{(в)}]$.

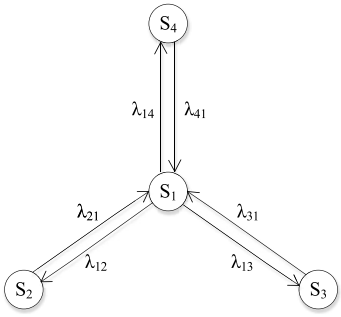
4) Статистической характеристикой потребительских свойств типовых компонентов является закон распределения среднего значения показателя целевой эффективности $F(Э_{\Sigma})$.



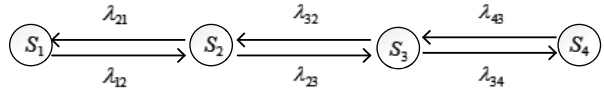
«Сеть»



«Кольцо»



«Звезда»



«Линейка»

Рисунок 1 – Типовые структуры системы

Требуется: рассмотреть варианты компенсации изменения эффективности в одном из узлов за счет изменения статистических характеристик показателей целевой эффективности в других узлах за счет:

1) Изменения математического ожидания при неизменной ширины интервалов отклонений $Э_i$ других узлов;
2) Изменения ширины интервалов $Э_i$ при неизменном математическом ожидании других узлов;
3) Равного изменения математического ожидания и ширины интервалов $Э_i$ других узлов.

Решение:

Основу решения задачи составляет следующий вычислительный эксперимент.

Шаг 1. Заданное число *N* раз генерировались равномерно распределенные случайные числа, соответствующие $Э_i^{(0)(n)}, \lambda_{ij}^{(n)}$. При проведении исследований N принималось равным 10000.

Шаг 2. Определялись значения финальных вероятностей состояний $p_i^{(n)}$, соответствующих $\lambda_{ij}^{(n)}$, по результатам решения уравнений Колмогорова [16]. На основе $p_i^{(q)}$ с учетом $Э_i^{(0)(n)}$ в соответствие с (1) определялись значения случайных величин $Э_\Sigma{}^{(0)(n)}, n = \overline{1;N}$.

Шаг 3. На основе выборки независимых случайных величин $\left\{Э_\Sigma{}^{(0)}\right\}_1^N$ определялись оценки математического ожидания $\hat{M}(Э_\Sigma^{(0)})$ и среднеквадратического отклонения $\hat{\sigma}(Э_\Sigma^{(0)})$.

Шаг 4. Операции, соответствующие шагам 1-3, повторялись *N* раз для случаев, когда потеря эффективности в одном из узлов $k, Э_k$ изменилась с диапазона [0;10] на [0;2]. Компенсация эффективности проводилась путем изменения эффективностей в других узлах на 10, 20 и 30%. Изменения в диапазонах значений эффективностей при этом приведены в таблицах 1-3.

Шаг 5. По полученным выборкам случайных чисел $\left\{Э_\Sigma{}^{(K)}\right\}_1^N$ рассчитывались характеристики, определенные в шаге 3: $\hat{M}(Э_\Sigma^{(K)})$; $\hat{\sigma}(Э_\Sigma^{(K)})$.

Таблица 1 – Компенсация за счет изменения математического ожидания при неизменной ширины интервалов отклонений $Э_i$ других узлов

	Показатели эффективности системы в узлах			
	$Э_1$	$Э_2$	$Э_3$	$Э_4$
Исходные значения	[0;10]	[0;10]	[0;10]	[0;10]
Потеря эффективности в узле	[0;2]	[0;10]	[0;10]	[0;10]
Компенсация 10%	[0;2]	[0,5;10,5]	[0,5;10,5]	[0,5;10,5]
Компенсация 20%	[0;2]	[1;11]	[1;11]	[1;11]
Компенсация 30%	[0;2]	[1,5;11,5]	[1,5;11,5]	[1,5;11,5]

Таблица 2 – Компенсация за счет изменения ширины интервалов $Э_i$ при неизменном математическом ожидании других узлов

	Показатели эффективности системы в узлах			
	$Э_1$	$Э_2$	$Э_3$	$Э_4$
Исходные значения	[0;10]	[0;10]	[0;10]	[0;10]
Потеря эффективности в узле	[0;2]	[0;10]	[0;10]	[0;10]
Компенсация 10%	[0;2]	[-0,5;10,5]	[-0,5;10,5]	[-0,5;10,5]
Компенсация 20%	[0;2]	[-1;11]	[-1;11]	[-1;11]
Компенсация 30%	[0;2]	[-1,5;11,5]	[-1,5;11,5]	[-1,5;11,5]

Таблица 3 – Компенсация за счет равного изменения математического ожидания и ширины интервалов $Э_i$ других узлов

	Показатели эффективности системы в узлах			
	$Э_1$	$Э_2$	$Э_3$	$Э_4$
Исходные значения	[0;10]	[0;10]	[0;10]	[0;10]
Потеря эффективности в узле	[0;2]	[0;10]	[0;10]	[0;10]
Компенсация 10%	[0;2]	[0;11]	[0;11]	[0;11]
Компенсация 20%	[0;2]	[0;12]	[0;12]	[0;12]
Компенсация 30%	[0;2]	[0;13]	[0;13]	[0;13]

На рисунках 2-4 представлены зависимости средней эффективности, определяемой $Э_{ср} = \frac{d\hat{M}}{\hat{M}}$, от характеристики устойчивости, определяемой по формуле $U = \frac{d\hat{\sigma}}{\hat{\sigma}}$, для рассматриваемых структур, полученные в результате проведения эксперимента. Для линейной и структуры типа «звезда» рассматривались 2 варианта потери эффективности – начального («линейка_н», «звезда_н») либо терминального узла («линейка_т», «звезда_т»).

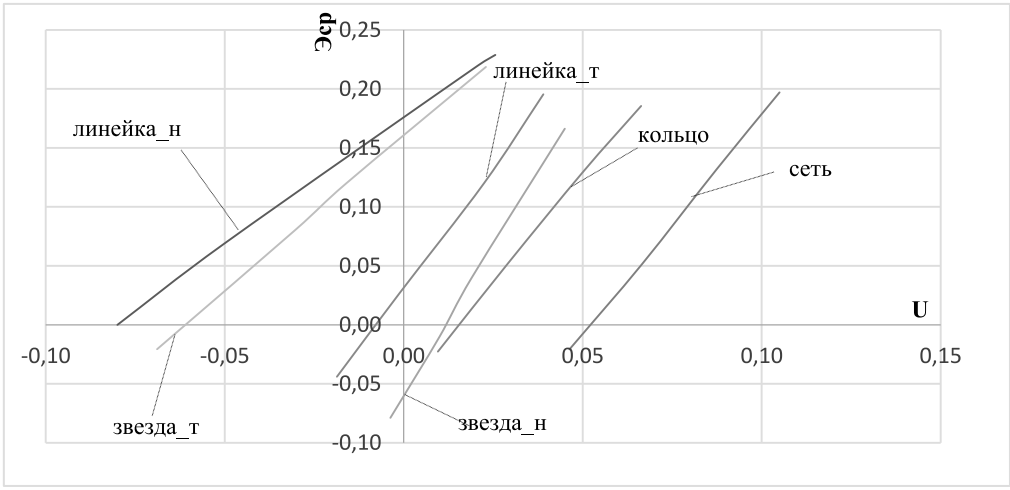


Рисунок 2 – Компенсация за счет изменения математического ожидания $Э_i$

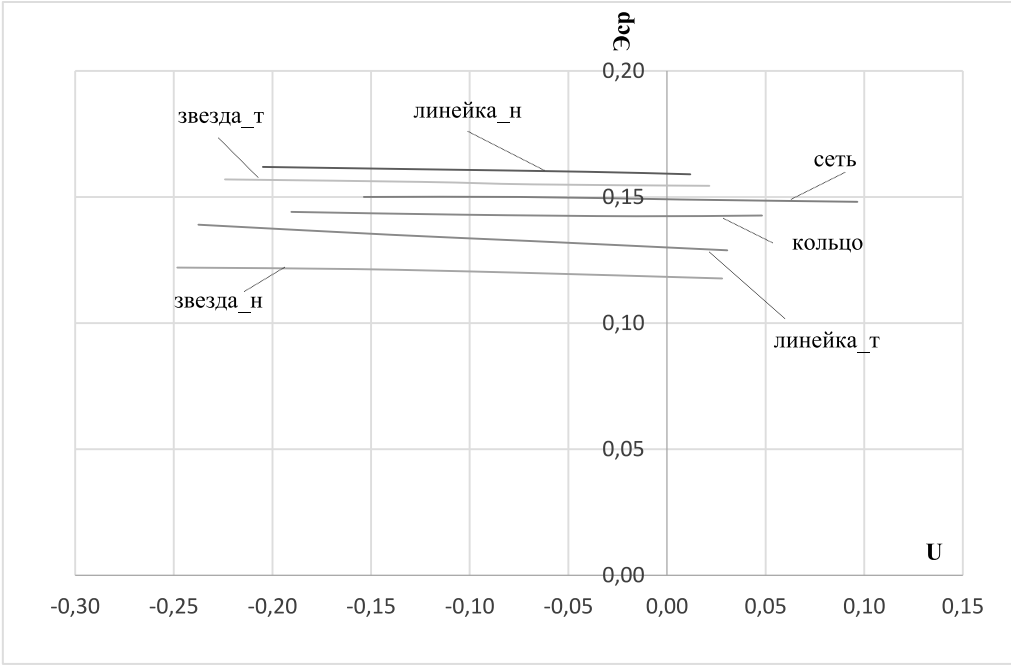


Рисунок 3 – Компенсация за счет изменения ширины интервалов $Э_i$

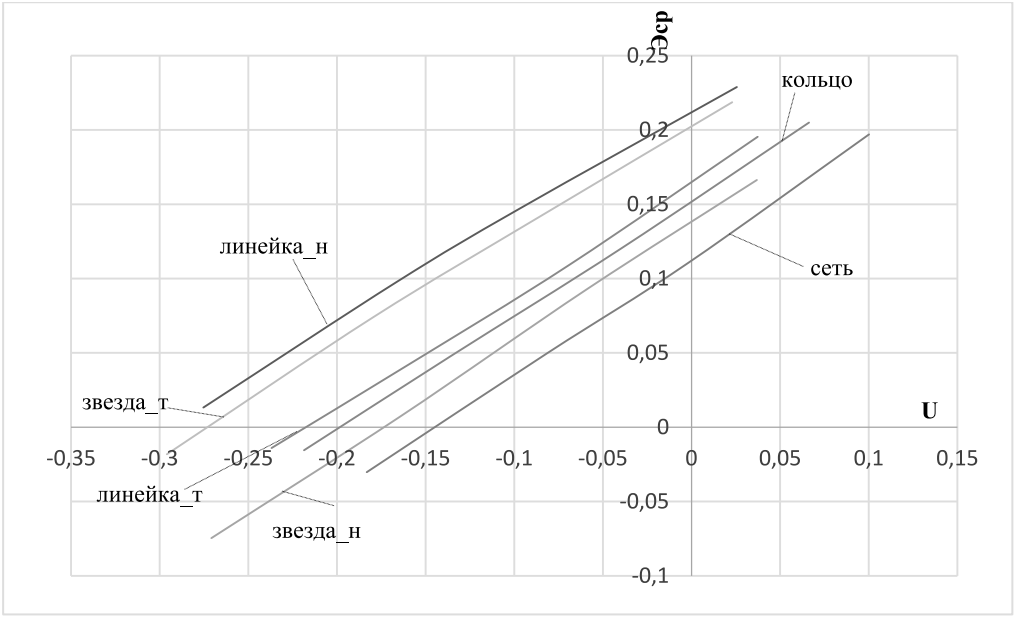


Рисунок 4 – Компенсация за счет изменения математического ожидания и ширины интервалов $Э_i$

Из полученных результатов можно заключить, что возможна компенсация потери эффективности в узлах структуры за счет изменений статистических характеристик в других узлах. При уменьшении устойчивости системы путем увеличения среднеквадратического отклонения, максимальное восстановление достигается путем изменения характеристик в других узлах в 25-30%.

Заключение

Уязвимость аппаратно-программных комплексов определяется как их внутренними свойствами, так и средой, в которой они используются. При этом допустимый уровень уязвимости определяется тем, насколько приемлемы отклонения в фактическом поведении системы от базового с точки зрения качества управления сложным объектом. Предлагаемый подход позволяет сопоставить альтернативные варианты построения структур сложных аппаратно-программных комплексов на ранних стадиях проектирования по показателю средней эффективности. Особенностью подхода является высокая степень формализации, что позволяет разработать инструмент предупреждения структурных дефектов на ранних стадиях проектирования.

Благодарности

Работа выполнена при поддержке гранта Российского фонда фундаментальных исследований № 16-08-00442 «Управление функциональной безопасностью аппаратно-программных комплексов в составе сложных технических систем».

Список литературы

[1] AbdelMoez, W. Error Propagation in Software architectures / W. AbdelMoez, D. Nassar, M. Shereshevsky, N. Gradetsky, R. Gunnalan, H. Yu B. Ammar, M. Mili // Proceedings of the Software

Metics, 10th International Symposium, Washington, DC, USA, pp. 384-393, IEEE Computer Society, 2004.
[2] Khoshgoflaar, T.M. Predicting software development errors using complexity metrics / T.M. Khoshgoflaar, J.C. Munson // IEEE of Selected Areas in Communications. – 1990. – Vol.8, №2. Pp. 253-261.
[3] Bellini, P. Comparing fault-proneness estimation models / P. Bellini, I. Bruno, P. Nesi, D. Rogai // Proc. of 10th IEEE International Conference on Engineering of Complex Computer Systems. – 2005. Pp. 205-214.
[4] Маевский, Д.А. Оценка количества дефектов программного обеспечения на основе метрик сложности / Д.А. Маевский, С.А. Яремчук // Электротехнические и компьютерные системы, 2012, №7(83). С. 113-120.
[5] Michael, C.C. On the uniformity of error propagation in software / C.C. Michael, R.C. Jones // Proceedings of the Annual Conference on Computer Assurance (COMPASS'97. Pp. 68-76, 1996.
[6] Liu, X.F. (2000) Software quality function deployment, IEEE Potentials, Vol.19, No.5, 14-16.
[7] Shindo, H. (1999), "Application of QFD to Software and QFD Software Tools", in "Pre-Conference Workshops of the Fifth International Symposium on Quality Function Deployment and the First Brazilian Conference on Management of Product Development", Belo Horizonte, Brazil.
[8] Антамошкин, А. Н., Моргунова О.Н., Моргунов Е.П. Методика исследования эффективности сложных иерархических систем // Вестник Сиб. гос. аэрокосмич. ун-та. – 2006. – Вып. 2 (9). – С. 9-13. – ISSN 1816-9724
[9] Мостовой А.Я. Управление сложными техническими системами: конструирование программного обеспечения спутников ДЗЗ. Монография. – М.: ТЕХНОСФЕРА, 2016. – 352 с.
[10] Тимофеев А.В. Адаптивное управление и интеллектуальный анализ информационных потоков в компьютерных сетях. – СПб.: ООО «Анатолия», 212. – 280 с.
[11] Кубарев А.В. Подход к формализации уязвимостей информационных систем на основе их классификационных признаков// Вопросы кибербезопасности. 2013. №2. С. 29–33.
[12] Махутов Н.А., Резников Д.О. Оценка уязвимости технических систем и ее место в процедуре анализа риска// Проблемы анализа риска. 2008. Т. 5. № 3. С. 72–85.
[13] Махутов Н.А., Резников Д.О., Петров В.П., Куксова В.И. Оценка живучести сложных технических систем // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. 2009. № 3. С. 47–66.
[14] Gvozdev V.E., Guzairov M.B., Blinova D.V., Davlieva A.S. Control of component alterations according with the target efficiency of data processing and control system // Proceedings of the International conference Information Technology and Nanotechnology. Session Data Science (Samara, Russia, 24-27 April, 2017): 2017. P. 11–16.
[15] Гузаиров М.Б., Гвоздев В.Е., Давлиева А.С., Тесленко В.В. Оценка живучести аппаратно-программных комплексов по среднему значению показателя целевой эффективности // Информационные и математические технологии в науке и управлении. Научный журнал. 2018. №1(9). С. 106-113.
[16] Вентцель Е.С. Исследование операций: задачи, принципы, методология. 2-е изд. М.:Наука,1988.208 с.

СИСТЕМООБРАЗУЮЩИЕ ФАКТОРЫ СТАДИЙ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА СИСТЕМ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ

В.Е. Гвоздев, Л.Р. Черняховская, Д.В. Блинова

ФГБОУ ВО Уфимский государственный авиационный технический университет
450008, Уфа, ул. К.Маркса, 12, Россия
kaf_apris@mail.ru
тел: +7 (347) 272-74-65

Ключевые слова: *система обработки данных, функциональная безопасность, жизненный цикл, дефект*

Abstract

The approaches of system analysis and control of complex systems (Anticipatory Failure Determination (AFD-1, ADF-2), Root Cause Analysis) with reference to defect management of data processing systems are described. The system-forming factors corresponding to different stages of the life cycle of data processing systems are considered, sources of defects at various stages of the life cycle are described. The classification of defects from the point of view of their attribution to the external (defects of co-evolution) or internal (structural defects) environments of data processing systems is considered.

Введение

Проблема обеспечения кибербезопасности относится к числу ключевых в рамках технологической революции, именуемой Индустрией 4.0. Обеспечение кибербезопасности в том числе предполагает управление функциональной безопасностью, что обуславливает необходимость совершенствования систем предупреждения, раннего обнаружения коренных причин дефектов в системах обработки данных (СОД) на разных стадиях жизненного цикла, а также эффективного устранения дефектов.

Проблема выделения системообразующих факторов относится к числу ключевых проблем управления сложными системами. К числу задач управления относится в том числе выявление дефектов; установление их коренных причин; исключение возможности повторного возникновения дефектов; анализ уязвимости и живучести СОД. Выделение системообразующих факторов на разных стадиях жизненного цикла СОД служит основанием для вычленения системы из среды, определяет подходы к исследованию полезных и вредных свойств системы. В силу отмеченных обстоятельств можно утверждать, что выявление системообразующих факторов на разных стадиях жизненного цикла СОД является элементом дефектологии СОД.

1 Подходы к управлению функциональной безопасностью СОД

В работе [1] подчеркивается необходимость смещения акцентов в проблематике создания систем обработки данных (СОД) от вопросов штатной эксплуатации к вопросам их безопасного функционирования. Там же отмечается необходимость совершенствования технологий разработки, позволяющих обеспечивать защиту изделий как от злонамеренных действий, так и от непреднамеренных ошибок, допускаемых разработчиками на разных стадиях жизненного цикла СОД. В работах [1-3] отмечается, что одним из перспективных современных направлений исследований в области системной инженерии является создание методологических и теоретических основ дефектологии СОД. При этом следует выделять классы задач, связанные с обеспечением технологической и эксплуатационной безопасности (задачи, решаемые в рамках

комплексной проблемы защиты информации [1]; задачи, связанные с обеспечением конфиденциальности, целостности и доступности информации для случая, когда в решении задач активное участие принимает пользователь [3]; задачи, связанные с построением СОД для управления и обработки информации в реальном времени при относительно малом участии пользователей), задачи функциональной безопасности [3]. Под функциональной безопасностью СОД понимается свойство СОД сохранять работоспособность в соответствии со своим назначением при случайных дестабилизирующих воздействиях и отсутствии злоумышленного влияния на программную, аппаратную составляющую или базы данных. В работах [4, 5] обсуждается проблематика классификации дефектов, а также затрагиваются вопросы формирования терминологии в области дефектоскопии программных продуктов.

Проведенный анализ литературы позволяет сделать заключение о необходимости различать подходы к управлению дефектами, вносимыми в изделия преднамеренно, и дефекты, допускаемые разработчиками СОД непреднамеренно, при том, что масштабы негативных последствий от непреднамеренных дефектов могут многократно превосходить масштабы последствий злонамеренных действий. Кроме того, следует по-разному подходить к управлению непреднамеренно допускаемыми дефектами на разных стадиях жизненного цикла изделий в силу различной природы дефектов.

Нам представляется, что рассматривая проблему управления дефектами, в первую очередь следует обратить внимание на то, что эта проблема принадлежит области управления сложными системами. Из этого следует, что методологической основой управления дефектами должна стать методология управления сложными системами. Это, с одной стороны, обосновывает возможность адаптации наработок, полученных при исследованиях других сложных систем, в область управления дефектами СОД (на важность этого направления работ указывается в [3]). В упомянутом источнике отмечается, что «...многие достижения в области теории и практики управления качеством сложной промышленной продукции, как правило, не известны и не используются специалистами, создающими и применяющими системы на базе программных средств». Таким образом, в настоящее время полезный опыт, накопленный в области управления качеством промышленных объектов, весьма слабо переносится в индустрию разработки сложных СОД. Поэтому, одним из аспектов управления качеством СОД является адаптация уже существующих и проверенных методологий анализа, проектирования, эксплуатации и модернизации сложных промышленных систем в сферу разработки СОД.

С другой стороны, следует подчеркнуть, что требуется большая осторожность при выполнении такой адаптации в силу большого субъективизма в отображении проблемных ситуаций различными правообладателями (понятие «правообладатель» понимается в смысле, определенном в [6]). Кроме того следует подчеркнуть различия содержания дефектов в продуктах и дефектов в проектах, при превалирующей значимости дефектов в проектах и процессах. Последнее обусловлено тем, что продукт является результатом проекта (процесса).

Рассмотрим содержание некоторых известных подходов системного анализа и управления сложными системами применительно к управлению дефектами.

Если подходить к управлению дефектами с позиций ресурсного подхода, то можно утверждать, что дефект неизбежно проявится, если будет возникнет подходящее для этого стечение обстоятельств. Подобная трактовка открывает возможность адаптации положений инверсионного анализа I-TRIZ [7] в область управления дефектами, в том числе методов Anticipatory Failure Determination (AFD-1, AFD-2). Суть AFD-1 состоит в реализации управления на основе изучения исторических данных, зарегистрированных в PHD (Project History Document), на анализе опыта эксплуатации систем с целью установления закономерностей в местах возникновения дефектов, а также причин возникновения дефектов. Суть AFD-2 заключается в разработке профилактических мероприятий, ориентированных на недопущение возникновения дефектов в СОД. Концептуальной основой AFD-2 является изучение СОД с пози-

ций «диверсанта»: «что, где и когда нужно сделать для того, чтобы возник отказ, имеющий наиболее тяжелые последствия».

Если подходить к управлению дефектами с позиций ситуационного подхода, то следует исходить из того, что содержания понятия «дефект» определяется режимом использования изделия. Проявление дефекта, которое в одном режиме использования является не критичным, может иметь важное последствие при другом режиме использования. Это служит основанием для разработки разных сценариев испытаний на основе совокупности функциональных и операционных профилей [8], которые ставятся в соответствие разным режимам использования.

Важным моментом в управлении дефектами является выявление причин возникновения дефектов. В качестве возможного подхода к проявлению дефектами в компонентах СОД на основе известных в других прикладных областях методов, упомянем нашедший использование в управлении качеством технических систем RCA (Root Cause Analysis) [9]. В рамках этого метода выделяется пять ступеней анализа, содержание которых применительно к управлению дефектами, может быть представлено следующим образом.

1) Симптомы (англ.– Symptoms). На этом шаге устанавливается факт отклонения поведения изделия от «эталонного», т. е определенного в спецификации.
2) Проблемы (англ. – Problems). На этом шаге выявляется разница между тем, какими свойствами должно обладать изделие, и тем, какими свойствами оно фактически обладает. Результатом реализации этого шага является локализация дефекта. Следует подчеркнуть, что под локализацией дефекта понимается более широкое понятие, нежели выявление дефекта в программных кодах, либо аппаратной компоненте. Мы исходим из того, что помимо существуют разные формы описания изделий на различных стадиях жизненного цикла: описание внешнего облика; спецификация требований пользователей; спецификация системных требований; архитектура и структура изделия; тесты; сценарии использования; функциональные и пользовательские операционные профили т.д.
3) Причины первого уровня (англ. – First-Level Causes). На этом шаге выявляются непосредственные причины возникновения дефектов (например, недостаточная изученность желаний и ожиданий пользователей; подмена тестирования программных компонентов демонстрационными прогонами; незнание, либо неправильное толкование областей применимости различных моделей и технологий, используемых при проектировании программных продуктов, либо аппаратных компонентов и т.п.).
4) Причины высокого уровня (англ. – Higher-Level Cause). Причины, приводящие к возникновению причин первого уровня. Хотя эти причины непосредственно не создают дефектов, они формируют звенья цепи причинно-следственных связей, реализация которых в конечном итоге приводит к возникновению дефекта. Применительно к СОД на этом уровне анализируются причины низкой культуры проекта (в первую очередь связанного с реализацией программного обеспечения, в технико-технологическом, методическом, экономическом, организационном и иных аспектах). Примером причины высокого уровня может служить расчет коэффициента парной корреляции на основе неоднородных в статистическом смысле данных.
5) Причины высшего уровня (англ. – Highest-Level Cause). Это коренные причины, приводящие к возникновению дефектов. Применительно к СОД этот уровень может ассоциироваться с недостатком у правообладателей нематериальных активов. Следуя [10, 11] к составным частям нематериальных активов следует отнести компетенции правообладателей компетенции исполнителей проекта; владение ими актуальной информацией в области проектирования программных систем и аппаратной составляющей СОД; создание руководителем проекта условий, стимулирующих исполнителей на полную реализацию своих возможностей.

2 Системообразующие факторы СОД

В литературе рассматривается два направления поиска системообразующих факторов:

- основанные на исследовании особенностей, специфики, характера системообразующих факторов в каждой анализируемой системе;
- основанные на выявлении закономерностей, присущих всем системам путем исследования специфичности, уникальности конкретных системообразующих факторов.

Ниже рассматриваются системообразующие факторы, соответствующие разным стадиям жизненного цикла СОД, а также источники возникновения дефектов на разных стадиях жизненного цикла, что соответствует первому из вышеупомянутых направлений.

2.1 Выделение проблемной ситуации

Миссией этого этапа жизненного цикла является осознание наличия проблемной ситуации; обоснование необходимости ее урегулирования; выработка признаваемой всеми заинтересованными сторонами реалистичной стратегии урегулирования проблемной ситуации.

К числу *системных факторов* этого этапа относятся симптомы проблемной ситуации; ограничения на ресурсы, доступные акторам, вовлеченным в проблемную ситуацию. К числу *структурных факторов* этапа относятся персональные онтологические модели акторов; различия в их представлениях о ценностях, что обуславливает разное восприятие одной и той же проблемной ситуации; подходы к организации коммуникаций между акторами, способы структуризации представляемых сведений [12]; подходы к выбору приоритетных направлений урегулирования проблемной ситуации.

Дефекты этого этапа обусловлены неопределенностью разной природы, препятствующей пониманию содержания проблемной ситуации; ограниченной потенциальностью персональных онтологических моделей акторов; неполнотой онтологической модели ситуации, основой которой является консенсус акторов относительно способов урегулирования проблемной ситуации. Результатами проявления дефектов являются ошибочное оценивание масштабов и сложности проблемной ситуации, реалистичности ее урегулирования, итогом чего являются дефекты стратегии урегулирования проблемной ситуации.

2.2 Разработка концепции использования СОД

Миссией этого этапа жизненного цикла является выработка стратегии использования СОД, согласующейся со стратегией урегулирования проблемной ситуации.

К числу *системных факторов* этапа относятся стратегия урегулирования проблемной ситуации; состав правообладателей СОД, их представления о желаемых потребительских свойствах информационных продуктов и услуг; ограничения на ресурсы, которые могут быть выделены на создание СОД. К числу *структурных факторов* относятся онтологическая модель проблемной ситуации; выбор приоритетных направлений реализации СОД; предполагаемая топология компонентов системы; операционный профиль СОД.

Дефекты этого этапа обусловлены несоответствием границ системы системным факторам; ошибками проектирования архитектуры СОД; ошибочными предположениями относительно потребительских свойств СОД, наличие которых обеспечит удовлетворенность пользователей [13, 14]; недочетами и ошибками в предполагаемых сценариях использования системы; случайными ошибками и просчетами системных архитекторов. Результатами проявления дефектов являются ошибки в оценках объемов ресурсов, необходимых для реализации системы; снижение качества спецификаций требований пользователей.

2.3 Специфицирование системных требований

Миссией этого этапа жизненного цикла является трансформация положений концепции использования СОД в систему управляемых требований, определяющих, ЧТО и при каких условиях система должна делать.

Системными факторами этого этапа является концепция использования СОД; ресурсы (включая нематериальные), которые доступны для реализации системы. *Структурными факторами* являются профиль нормативных документов, составляющих основу управления проектом реализации СОД; консолидированное решение правообладателей относительно рангов функциональных и нефункциональных требований; предполагаемая модель жизненного цикла СОД; инструментальные средства проектирования спецификаций.

Дефекты этого этапа обусловлены нарушением области и условий применимости нормативных документов и моделей жизненного цикла СОД; недостатками системы коммуникаций между разработчиками спецификации системных требований; возможностью неоднозначного толкования разработчиками спецификации содержания нормативных документов, нарушение правил и процедур формирования и документирования требований.

2.4 Проектирование СОД

Миссией этого этапа жизненного цикла является трансформация спецификаций системных требований в архитектуру и детальную структуру СОД. *Системными факторами* этого этапа являются концепция использования СОД; спецификации системных требований.

Структурными факторами этапа являются профиль нормативных документов и стандартов предприятий, регламентирующих последовательность и содержание активностей реализации СОД; ограничения на ресурсы, доступные для решения задач проектирования; ограничения, диктуемые свойствами вычислительной платформы; наличие готовых проектных решений, допускающих повторное использование; ограничения, вытекающие из ограничений на свойства надсистемы.

Дефекты этого этапа обусловлены дефектами внешнего облика СОД и спецификаций системных требований; нарушением области и условий применимости правил решения проектных задач; недостатками коммуникационной платформы субъектов, участвующих в реализации основных, вспомогательных и обеспечивающих процессов в составе проекта СОД.

2.5 Реализация СОД

Миссией этого этапа является трансформация проектных решений в программно-аппаратный комплекс, функциональные и нефункциональные характеристики которого соответствуют представлениям о ценностях пользователей; использование которого вызывает у пользователей чувство удовлетворения; соответствующего спецификации системных требований.

Структурными факторами этапа являются спецификации архитектуры и структур подсистем; ограничения на функциональные свойства, технические характеристики и интерфейсы подсистем и модулей; ограничения, диктуемые свойствами вычислительной платформы; наличие готовых программных компонентов, допускающих повторное использование; особенности подходов к тестированию, верификации и валидации компонентов и интерфейсов; промышленные стандарты.

Дефекты этапа обусловлены дефектами архитектурных и структурных решений; нарушением, либо неполным выполнением правил и рекомендаций стандартов; недостатками коммуникационной платформы субъектов, участвующих в реализации основных, вспомогательных и обеспечивающих процессов в составе проекта; описки и огрехи (англ. laps&slips) разработчиков программных модулей СОД и тестировщиков.

3 Системный архетип[1] управления дефектами

Одним из типовых приемов системного анализа является классификация изучаемых объектов (в рамках настоящей работы – дефектов СОД). Рассмотрим классификацию дефектов с

[1] Под архетипом, согласно [12, 15, 16], понимается сравнительно небольшое число подобных между собою управленческих ситуаций, представленных в обобщенном компактном виде

позиций отнесения их к внешней (дефекты коэволюции), либо ко внутренней (дефекты структуры) средам.

Дефекты коэволюции обуславливают несоответствие фактических характеристик качества СОД тем требованиям, которые определяются состоянием окружающей среды. Дефекты структуры определяются дефектами целей функционирования системы.

С точки зрения мест возникновения следует, во-первых, выделять классы дефектов, соотносимые с «жизненным миром» [17, 18]:

- дефекты, обусловленные искаженным восприятием проблемной ситуации неоднородными акторами (дефекты, обусловленные недостатком их знаний);
- различием мотивов[2] неоднородных акторов, вовлеченных в урегулирование проблемной ситуации.

Во-вторых, дефекты, сопоставимые с «миром систем» – дефекты применения правил и процедур построения, использования, интерпретации результатов использования формальных моделей [19].

В-третьих, дефекты коммуникационных платформ, которые возникают как в «жизненном мире», так и в «мире систем».

Выделим следующие составляющие системного архетипа управления дефектами, инвариантные к стадии жизненного цикла СОД:

- предметную составляющую (регистрируемые симптомы проблемной ситуации, обусловленной наличием дефектов; выделение критических факторов урегулирования проблемной ситуации);
- понятийную составляющую (структуризация неоднородными акторами проблемной ситуации, представление ее в виде концептов; неформализуемых понятий; идей, мыслей и т.д.). Понятийная составляющая позволяет выявить коренные причины возникновения дефектов, а также причинно-следственные связи между коренными причинами и симптомами проблемной ситуации;
- архетипное представление, акцентирующее внимание на формальной стороне проблемы управления дефектами, т.е. поиске рационального подхода к устранению дефектов разной природы с учетом их влияния на потребительские свойства СОД, а также доступных ресурсов;
- реализации найденных подходов, (т.е. практическая деятельность по управлению дефектами) и оценка их эффективности с точки зрения повышения потребительских характеристик СОД.

На рис. 1 представлен цикл управления дефектами. Особенностью представленной модели является учет критической важности нематериальных активов неоднородных акторов при распознавании существа проблемной ситуации и построении её онтологической модели на основе персональных онтологических моделей неоднородных акторов.

Заключение

Выделение системообразующих и структурных факторов СОД на разных стадиях их жизненного цикла создает основу для классификации дефектов и, следовательно, формирования методической, модельной и инструментальной основы для управления ими. Следует подчеркнуть критическую важность нематериальных активов неоднородных акторов, вовлеченных в процессы выявления целевых групп пользователей; установление симптомов, свидетельствующих о наличии дефектов; оценку влияния разных дефектов на ценность СОД с точки зрения разных целевых групп пользователей, их удовлетворенность качеством СОД.

[2] Под мотивом, следуя [15], понимается субъективное понимание человеком цели и возможного способа урегулирования проблемной ситуации

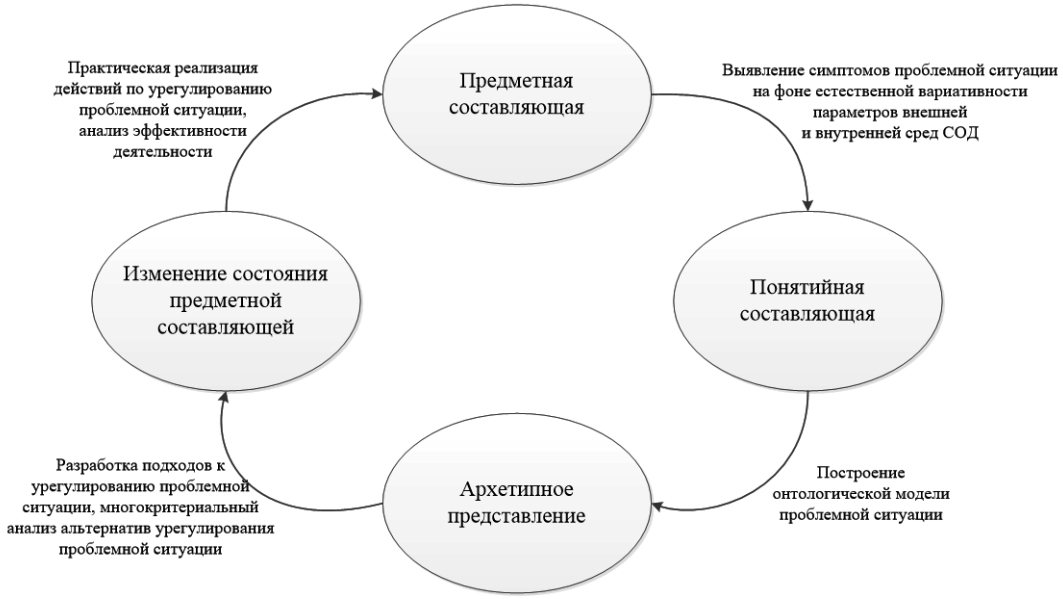


Рисунок 1 – Цикл управления дефектами

Благодарности

Данная работа поддержана грантом РФФИ 16-08-00442.

Список литературы

[1] Нагибин С.Я., Пальчун Б.П., Ухлинов Л.М. Технологическая безопасность программного обеспечения – новая проблема в области создания информационных систем // Информационное общество, 1995, вып. 6. – С. 45-49.

[2] Бородакий Ю. В., Юсупов Р. М., Пальчун Б. П. Проблема имитационного моделирования дефектоскопических свойств компьютерной инфосферы // Имитационное моделирование. Теория и практика: труды третьей всероссийской научно-практической конференции. – Санкт-Петербург: ФГУП ЦНИИТС, 2007. – С. 87-92.

[3] Липаев В.В. Функциональная безопасность программных средств. – М.: СИНТЕГ, 2004

[4] Марков А.С., Фадин А.А. Систематика уязвимостей и дефектов безопасности программных ресурсов. // Защита информации INSIDE. №3, 2013. – С. 2-7

[5] Гвоздев В.Е., Блинова Д.В. Концептуальные основы анализа дефектов функциональной безопасности АПК // Проблемы управления и моделирования в сложных системах: Труды XVII Международной конференции (22-25 июня 2015 г. Самара, Россия).– Самара: Самарский научный центр РАН, 2015. – С. 590-595

[6] ГОСТ Р ИСО/МЭК 15288-2005 Информационная технология. Системная инженерия. Процессы жизненного цикла систем

[7] Kaplan S., Visnepolschi S., Zlotin B., Zusman A. New tools for failure & risk analysis. An Introduction to Anticipatory Failure Determination (AFD) and The Theory of Scenario Structuring. – Ideation International Inc., 1999.

[8] Lyu M. R. Handbook of Software Reliability Engineering. – IEEE and McGraw-Hill, 1996

[9] Duffy G, Moran J, Riley W. Solve the real problem using root cause analysis. – Washington DC: Public Health Foundation, 2012

[10] Ольве Н.-Г., Рой Ж., Веттер М. Оценка эффективности деятельности компании. Практическое руководство использования сбалансированной системы показателей. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2004.

[11] Каплан Р.С., Нортон Д.П. Сбалансированная система показателей. От стратегий к действию. – М.: «Олимп-Бизнесс», 2003.
[12] Райков А.Н. Конвергентное управление и поддержка решений. – М.: Издательство ИКАР, 2009.
[13] CHAOS MANIFESTO 2014: Value versus Success & The Orthogonals. – The Standish Group International, Inc.
[14] Тимофеев А.Н. Почему падают IT-проекты? // Научно-образовательный журнал «Практика проектирования систем». – 2017. – С. 2-11.
[15] Бачурина С.С., Максимов В.В., Малышева Е.Г., Райков А.Н. От архетипов к когнитипам в менеджменте // Информационное общество. – 2001. – вып. 6, - С. 26-30
[16] Сенге П. Пятая дисциплина: искусство и практика самообучающихся организаций. – М.: ЗАО «Олимп-бизнес», 1999.
[17] Виттих В.А. Организация сложных систем / В.А. Виттих. – Самара: Самарский научный центр РАН, 2010.
[18] Виттих В.А. Введение в теорию интерсубъективного управления / В.А. Виттих. – Самара: Самарский научный центр РАН, 2013.
[19] Гвоздев В.Е., Черняховская Л.Р., Блинова Д.В. Эвергетика как методологическая основа управления выявлением дефектов на предпроектной стадии систем обработки данных // Онтология проектирования. – 2018. – Т. 8, №1(27). – С. 152-166.

К ВОПРОСУ РАЗРАБОТКИ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ОЧИСТКИ ОТРАБОТАННОГО МАСЛА НА ДВИГАТЕЛЕ ТЕПЛОВОЗА

О.М. Горбачева, А.С. Боровский

ФГБОУ ВО «Оренбургский Государственный Университет»
460018 Оренбургская область, г. Оренбург, просп. Победы, д. 13, Россия
Ol.gorba4ewa2017@yandex.ru, borovski@mail.ru
тел.: +7(919)857-93-03, +7(903)367-92-33

Ключевые слова: *автоматическая система, центрифуга, задающее устройство, устройство сравнения, регулятор, двигатель, управляющий механизм, система охлаждения, фильтр, расход жидкости, давление, динамические звенья*

Abstract

In work the actual problem of development of automatic control system of process of purification of the fulfilled oil on the engine of the locomotive is investigated today. The features of the proposed automatic system are described. The influence of process parameters on the degree of oil purification is investigated. The proposed system is presented in the form of dynamic links of automatic control system.

Введение

Техническую систему, в которой сырье и энергия используются максимально рационально и комплексно можно отнести к «безотходным технологиям», разработка и внедрение которых направлена на рациональное использование природных ресурсов и охрану окружающей среды. В связи с этим, вопрос поиска нового подхода в управлении существующими техническими системами как никогда актуален. В качестве такой технической системы предлагается рассмотреть технологические схемы процесса очистки отработанного масла[1].

Проведя сравнительный анализ существующих методов очистки отработанного масла, можно сделать вывод о том, что самым оптимальным, по критериям эффективности очистки, стоимости и простоте, является метод очистки отработанного масла при помощи центробежных сил (процесс центрифугирования).

В связи с этим, целью работы является необходимость разработки такого варианта системы очистки отработанного масла, методом центрифугирования, которая обеспечивала бы требуемый уровень очистки масла (по параметру вязкости), при этом выполнялся бы контроль таких параметров как давление и температура.

Для достижения данной цели были решены следующие основные задачи:

- проведен сравнительный анализ существующих технических систем очистки масла;
- исследовано влияние основных параметров на характеристики процесса очистки отработанного масла;
- разработаны алгоритмы управления процессом очистки отработанного масла методом центрифугирования.

Решение задачи

Существует ряд сложных технических систем по очистки отработанного масла с контролем ряда параметров, таких как: оптическая плотность[2], вязкость [3],давление и температура. Проведя анализ данных систем, можно отметить ряд их достоинств и недостатков. Так,

например, в системе [2] проводится анализ качества очистки отработанного масла по параметру оптической плотности, но отсутствует контроль за такими, не менее важными технологическими параметрами процесса, как температура и давление.

В технической системе [3], осуществляется очистка масла и производится контроль вязкости отработанного масла, но данная система отличается малой производительностью.

Известна существующая зависимость вязкости очищаемого масла от давления и температуры. С повышением давления увеличивается вязкость, а с повышением температуры, наблюдается снижение вязкости отработанного масла. С увеличением вязкости наблюдается значительное снижение степени очистки отработанного масла в центрифуге.

Таким образом, изучив существующие зависимости параметров, оказывающих влияние на процесс очистки отработанного масла, можно сделать вывод о необходимости создания автоматической системы управления процессом очистки отработанных масел методом центрифугирования, с учетом факторов оказывающих влияние на степень очистки.

В качестве прототипа была взята система, содержащая турбокомпрессор для наддува дизельных двигателей [4], центрифугу для очистки масла, систему охлаждения и фильтр грубой очистки.

Система находится непосредственно в двигателе тепловоза и производит очистку отработанного масла, после чего масло возвращается в масляную систему тепловоза. Вращение ротора центрифуги производится дизельным двигателем. Механическое регулирующее устройство, входящее в систему, позволяет регулировать площадь сечения канала, по которому подается отработанное масла в центрифугу, что оказывает влияние на давление в системе и как следствие на вязкость очищаемого масла. Недостатком данной системы является необходимость постоянного контроля оператором величины давления в системе и в случае его возрастания, приведение в действие регулирующего механизма вручную.

Для разработки основных алгоритмов автоматической системы управления процессом очистки отработанного масла методом центрифугирования с точки зрения математической модели, необходимо описать особенности составных частей системы.

Каждая составная часть модели обладает собственными особенностями и свойствами: модель дизельного двигателя – нелинейная, модель процесса центрифугирования описывается нелинейными дифференциальными уравнениями в частных производных.

Предполагаемая система включает в себя систему взаимосвязанных элементов. В ней происходит преобразование количества вещества и энергии.

При работе предполагаемой системы происходит переход тепловой энергии, вырабатываемой в дизельном двигателе в механическую энергию.

Процесс фильтрования характеризуется превращением потенциальной энергии движения частиц в кинетическую энергию.

Механическая энергия в процессе работы центрифуги переходит в кинетическую энергию движения частиц отработанного масла в центрифуге.

Рассматривая систему очистки как систему с взаимосвязанными тепловыми, механическими и гидродинамическими процессами, можно предположить, что изменение основных параметров в центрифуге (P,T), будет оказывать влияние на перераспределение преобразования тепловой энергии в механическую энергию и в кинетическую энергию движения частиц в центрифуге.

Предполагаемая система управления, воздействуя на управляемую величину процесса центрифугирования масла, заставляет ее быть пропорциональной величине, над которой ведется постоянный контроль. Контролируемыми параметрами системы являются давление и температура очищаемого масла. Регулируемыми параметрами системы является расход масла, изменение которого влечет изменение вязкости масла.

Повышение давления масла в центрифуге приводит к увеличению его вязкости, что существенно снижает степень очистки отработанного масла.

Изменение расхода очищаемого масла ведется с помощью исполнительного механизма, который корректирует размер сечения отверстия, через которое масла поступает в центрифугу. Для получения информации о давлении и температуре в системе используют датчики температуры и давления масла.

В процессе исследования была разработана функциональная схема предполагаемой автоматической системы управления процессом очистки отработанного масла в двигателе тепловоза (Рис. 1).

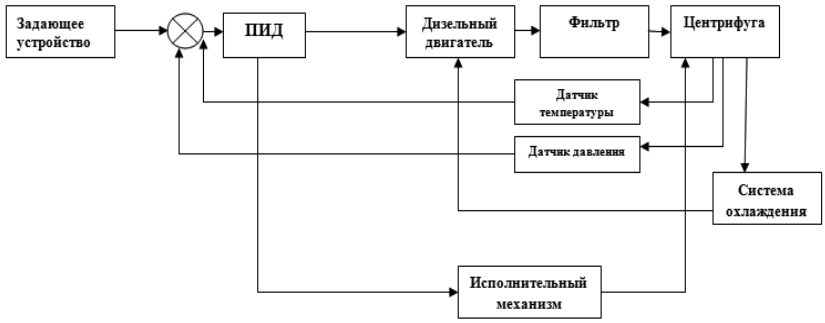


Рисунок 1 – Функциональная схема системы автоматического управления процессом очистки отработанного масла

Как видно из Рисунка 1, в системе используется управление по отклонению. Воздействие вырабатывается на основе информации об отклонении управляемой величины. В процессе работы системы происходит измерение управляемой величины (P,T), полученное значение сравнивается с требуемым значением, а выявляющее при этом отклонение преобразуется в управляющее воздействие.

Исполнительный механизм приходит в действие и изменяет площадь сечения входного отверстия в центрифугу, меняя при этом величину расхода подаваемого масла. Увеличение величины расхода очищаемого масла приводит к изменению вязкости очищаемого масла.

На основе функциональной схемы системы была разработана структурная схема предполагаемой системы (Рис.2).

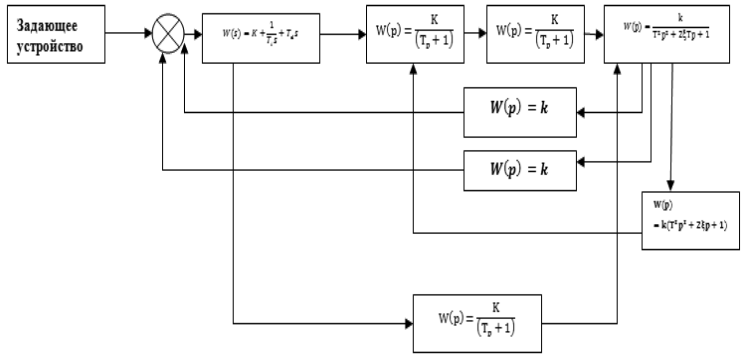


Рисунок 2- Структурная схема системы автоматического управления процессом очистки отработанного масла

Представим предполагаемую систему в виде динамических звеньев автоматической системы управления.

В цилиндре дизеля химическая энергия топлива Т в результате его горения (реакции окисления - соединения с кислородом атмосферного воздуха АВ) преобразуется в тепловую

энергию продуктов сгорания (газов), которая при помощи поршня и кривошипно-шатунного механизма преобразуется в механическую работу вращения вала двигателя.

Модель дизельного двигателя можно представить в виде апериодического звена первого порядка:

(1) $W(p) = \frac{k}{T_p+1}$

где: Т - постоянная времени дизельного двигателя зависит от конструктивных особенностей двигателя; К- коэффициент, является нелинейной функцией частоты вращения и расхода топлива. При малых отклонениях частоты вращения и расхода топлива коэффициент можно считать постоянным.

Модель фильтра грубой очистки также может быть представлена в виде апериодического звена первого порядка, с передаточной функцией

(2) $W(p) = \frac{k}{T_p+1}$

Центрифуга является колебательным звеном, так как при подаче на вход возмущающего действия в виде единичного скачка исходная величина стремится к новому установившегося значения, совершая при этом колебания.

Колебательное звено имеет передаточную функцию:

(3) $W(p) = \frac{k}{T^2p^2+2\xi Tp+1}$

где: Т- постоянная времени; ξ – параметр затухания

Процесс охлаждения масла в аппарате воздушного охлаждения представляет собой апериодическое звено второго порядка.

(4) $W(p) = k(T^2p^2 + 2\xi Tp + 1)$

Датчики давления и температуры можно отнести к усилительному (пропорциональному) звену, оно усиливает входной сигнал в К раз. Передаточная функция

(5) $W(p) = k$

где: К- коэффициент усиления.

Предполагаемая система заставляет управляемую величину на центрифуге быть пропорциональной задающей (контролируемой) величине.

Влияние исполнительного механизма на изменение свободного сечения канала подачи отработанного масла в центрифугу выполняется за счет движения поршня.

Исполнительный механизм в предполагаемой системе относят к динамическому звену первого порядка с постоянной времени Т в несколько секунд. Передаточная функция звена имеет вид:

(6) $W(p) = \frac{K}{(T_p+1)}$

Существует нелинейная зависимость между перепадом давления на входе в центрифугу и расходом, это приводит к тому, что при изменении расхода степень устойчивости системы регулирования изменяется.

Для обеспечения устойчивости, в разрабатываемую систему предлагается ввести ПИД-регулятор.

ПИД-регулятор имеет передаточную функцию

(7) $W(p) = K + \frac{1}{T_ip} + T_dp$

Заключение

Таким образом, предложенная система позволит добиться необходимой степени очистки отработанного масла при помощи автоматического регулирования соответствующих параметров.

Имитационная модель разрабатываемой системы была рассмотрена с применением программы MATLAB&Simulink. Полученные данные позволяют предполагать, что введение регулятора на основе нечеткой логики, окажет влияние на переходный процесс в разрабатываемой системе. Позволит значительно снизить время регулирования и избежать перерегулирования.

Список литературы:

[1] Горбачева О.М., Боровский А.С. «Системный анализ состояния автоматизации технологических процессов очистки отработанных масел»// Экология и промышленность России.- 2018г. -№ 5.- С. 54–58.

[2] Олдырев С.М., Повышение эффективности технологического процесса и оборудования для очистки отработанных масел в условиях предприятий АПК: дис… . канд. техн. наук: 05.20.03. Зеленоград, 2016.-146с.

[3] Морозов Н.А. Совершенствование центробежной очистки автомобильных эксплуатационных материалов от механических примесей: дис… канд. техн. наук: 05. 22. 10. Оренбург, 2006.-194с.

[4] Пат. №2550415 Российская Федерация, F04D25. Турбокомпрессор для наддува дизельных двигателей. [Текст] / Кобзов Д. Ю., Плеханов Г. Н., Трофимов А. А.Плеханов Н. Г.; заяв.25.04.2014, опубл.09.04.2015.

ПОДХОД К ДОЛГОСРОЧНОМУ ПЛАНИРОВАНИЮ ПРОГРАММ НАУЧНО-ПРИКЛАДНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ НА РОССИЙСКОМ СЕГМЕНТЕ МЕЖДУНАРОДНОЙ КОСМИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ С ПРИМЕНЕНИЕМ МУЛЬТИАГЕНТНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ОНТОЛОГИЙ

Е.А. Дёмина[1], Г.Н. Коробкова[1], О.И. Лахин[2], Е.А. Мартынчев[2]
[1]ПАО «РКК «Энергия»
141070, Королёв, Московская обл., ул. Ленина, 4А, Россия
elena.demina@rsce.ru
тел: +7 (495) 513-61-55, факс: +7 (495) 513-86-20
[2]ООО «НПК «Разумные решения»
443013, Самара, Московское шоссе, 17, офис 1201, Россия
info@kg.ru
тел: + 7 (846) 279-37-78

Ключевые слова: *российский сегмент международной космической станции; программа научно-прикладных исследований; космический эксперимент; научная аппаратура; адаптивное планирование; мультиагентные системы; онтология; база знаний*

Abstract
The paper presents an approach to creating a multi-agent system designed to improve the efficiency of developing and implementing programs of applied scientific research on the Russian segment of the International Space Station in real time. It solves the problem of constructing and adapting plans of space experiments taking into account unexpected events. The paper proposes the method of its adaptive planning on the basis of multi-agent technologies and ontologies. The architecture of the system and the expected results of its implementation are presented.

Введение

Пилотируемые космические комплексы (ПКК) являются сложными техническими системами [1]. Для анализа эффективности их целевого использования (ЦИ) применяется модель прогнозирования оптимального распределения ресурсов ПКК при реализации программ научно-прикладных исследований (НПИ) на борту. При оценке полноты распределения ресурсов ПКК более правильным представляется подход, в котором выбранный показатель (или показатели) определяется через отношение доли использованных (задействованных) ресурсов при реализации конкретной программы НПИ к созданным (и имеющимся на борту) на данном этапе полета пользовательским ресурсам (например, отношение массы научной аппаратуры (НА), использованной при выполнении программы НПИ, к массе всей имеющейся на борту НА; отношение выделенного для размещения полезных нагрузок объема в гермоотсеках к объему, занятому доставленной научной аппаратурой и т.п.).

За почти 20 лет эксплуатации на Российском сегменте Международной космической станции (РС МКС) выполнено более 398 космических экспериментов (КЭ), в год проводится в среднем 60 КЭ, в том числе, новых – 8-10. Используя накопленные статистические совокупности за весь период пилотируемого полета МКС, методами корреляционного и регрессионного анализа [2] выявлены закономерные связи между проектными параметрами и ресурсами РС МКС, к изменению которых наиболее чувствительны результирующие количественные индикаторы выполнения программ НПИ – количество проведенных космических экспериментов и реализованных сеансов.

Кроме проектных параметров и ресурсов РС МКС, на эффективность реализации программы НПИ влияет множество сопутствующих факторов [3]:

1) многоэтапность и многокритериальность процессов формирования и выполнения программ НПИ (ранжирование исследований и экспериментов);
2) изменения реальной программы полета МКС (событийность);
3) необходимость принимать решения по ситуации в условиях ограниченного времени (оперативность);
4) высокая взаимозависимость принимаемых решений, конфликты интересов проектантов, управленцев, кураторов, ученых;
5) необходимость постоянного взаимодействия всех участников КЭ;
6) внедрение технологии сменных полезных нагрузок с использованием универсальных рабочих мест (УРМ) на новых модулях РС МКС;
7) высокая стоимость пользовательских ресурсов (необходимы новые алгоритмы минимизации издержек).

Таким образом, полученная модель, накопленная база данных и выявленные факторы стали основой/предпосылкой для автоматизации процесса долгосрочного планирования программ НПИ на РС МКС.

Разрабатываемая на основе применения мультиагентных технологий и баз знаний «Автоматизированная система поддержки процесса формирования и выполнения программ НПИ на РС МКС» (АСПП НПИ) обеспечит согласованное планирование как на этапе наземной подготовки КЭ, так и на этапе бортовой реализации КЭ (доставка грузов с НА на борт РС МКС, размещение НА на борту станции, сеансы работ по проведению КЭ, своевременный возврат на Землю результатов КЭ). В основе мультиагентного подхода планирования лежит использование программных агентов, которые могут действовать от лица КЭ или его куратора, планируя согласованные сроки проведения КЭ и договариваясь с агентами НА о времени доставки НА на борт МКС и их подключения к ресурсам РС МКС.

Внедрение на ПАО «РКК «Энергия» АСПП НПИ обеспечит адаптивное планирование выполнения КЭ в режиме реального времени в условиях ресурсных ограничений по всем направлениям исследований, предусматриваемым «Долгосрочной программой научно-прикладных исследований и экспериментов, планируемых на РС МКС», повысит эффективность использования ресурсов РС МКС и оперативность принятия решений, а также сократит затраты времени и ресурсов на формирование и выполнение программ НПИ при возникновении различных событий.

1 Предлагаемый подход к планированию программ НПИ

В отличие от традиционных систем управления ресурсами, работающих преимущественно в пакетном режиме, в АСПП НПИ предлагается реализовать мультиагентные технологии и онтологии, которые позволят обеспечить адаптивное перестроение планов в реальном времени под действием внешних (по отношению к самой системе) событий (новые заявки на проведение КЭ, неисправности НА, переключение экипажа на другие задачи и т.п.), изменяющих текущую ситуацию и постановку задачи [4].

Особенностью мультиагентного подхода является возможность формирования плана проведения сеансов КЭ, доставки и интеграции НА в ресурсы РС МКС в результате функционирования динамически формируемой сети потребностей и возможностей (ПВ-сети) ресурсов МКС [5]. Текущая конфигурация интересов агентов в такой ПВ-сети может изменяться в любой момент под действием внешних или внутренних событий. Интерактивный характер взаимодействия позволяет в любой момент времени, т.е. без полного перепланирования, адаптивно достраивать или перестраивать планы проведения сеансов КЭ, доставки и интеграции НА в ресурсы РС МКС по мере возникновения событий или с целью непрерывной оптимизации,

пока есть время или не достигнут баланс интересов в текущей ситуации и улучшения больше невозможны.

Применение мультиагентного подхода при построении системы обеспечивает оперативное реагирование на события, а также улучшение создаваемых планов реализации НПИ проактивно – с использованием не только свободных ресурсов и слотов времени, но и путем цепочечных сдвижек данных о ранее запланированных КЭ или их переброски на другие ресурсы или время. Для этого используются программные агенты (объекты), «представляющие интересы» КЭ, НА, программы реализации НПИ, ресурсов РС МКС, экипажа, а также учитывающие связи между полетными операциями. В результате план реализации НПИ строится не путем классического комбинаторного перебора, а как гибкая сеть, отражающая баланс интересов всех участников процесса планирования и реализации программы НПИ [6].

Кроме того, в любой момент времени пользователь может интерактивно доработать план, удалив или добавив КЭ, изменив НА или используемые ресурсы РС МКС и выполнить иные необходимые операции. В результате такого рода действий КЭ перераспределяются с учетом возможностей имеющихся ресурсов, автоматически формируя новые планы экипажу по выполнению КЭ, планы использования энергии в модулях РС МКС, планы доставки НА на станцию и возврата результатов КЭ на Землю, планы наземным службам поддержки.

Построение плана реализации НПИ имеет многоуровневый и многоитерационный характер (рисунок 1), обеспечивая продвижение от предварительного грубого плана – к более сбалансированному и согласованному, учитывающему все интересы и ограничения, по мере того, как становится известной та или иная информация об имеющихся ресурсах и осуществляется бронирование интерфейсов (от заявки – к первому ТЗ), от предварительного плана – до точного, согласованного с другими подразделениями и утвержденного руководством.

Также следует учитывать, что в ходе КЭ могут возникать нештатные ситуации, связанные с выходом используемой аппаратуры из строя, что также приводит к необходимости согласованно внести изменения в планы всех уровней иерархии.

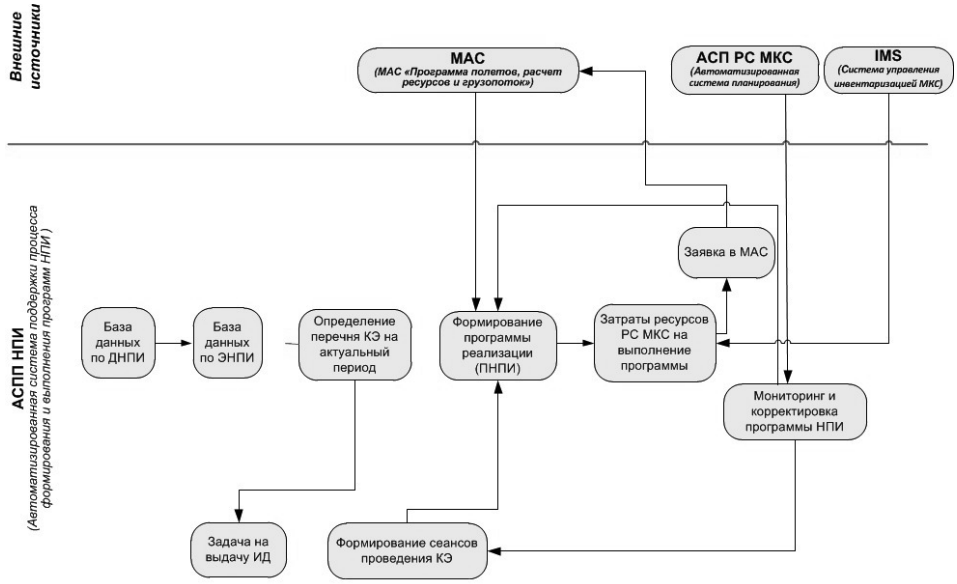


Рисунок 1 – Процесс разработки плана реализации НПИ

2 Онтология планирования НПИ

Планирование НПИ определяется, прежде всего, конфигурацией РС МКС (модули СМ, СО1, МИМ1, МИМ2, ФГБ), которая может изменяться, и тесно связано с перечнем КЭ, готовых к реализации или уже реализуемых на борту станции.

КЭ, планируемые к выполнению на борту, должны быть обеспечены НА, должен быть разработан необходимый комплект программно-методической документации, подготовлен экипаж. Особенности планирования НПИ связаны с текущим состоянием станции, а именно, программой её полёта и пользовательскими ресурсами, выделяемыми на выполнение научных исследований. Кроме того, выполнение ряда КЭ зависит от определённых условий, таких как светотеневая обстановка на трассе полёта МКС, ориентация станции и т.п. Важным обстоятельством при планировании является лимит времени экипажа, выделяемого на выполнение программы НПИ, который зависит от численности экипажа и от его занятости служебными операциями.

Онтология НПИ представляет собой описание ресурсов для проведения КЭ, предоставляемых МКС с их возможностями и ограничениями, описание различных характеристик и ограничений проводимых КЭ и применяемой при этом НА [7]. На рисунке 2 представлен фрагмент онтологии НПИ, где выделены основные классы понятий предметной области по проведению НПИ, а также отношения, связывающие эти понятия [8].

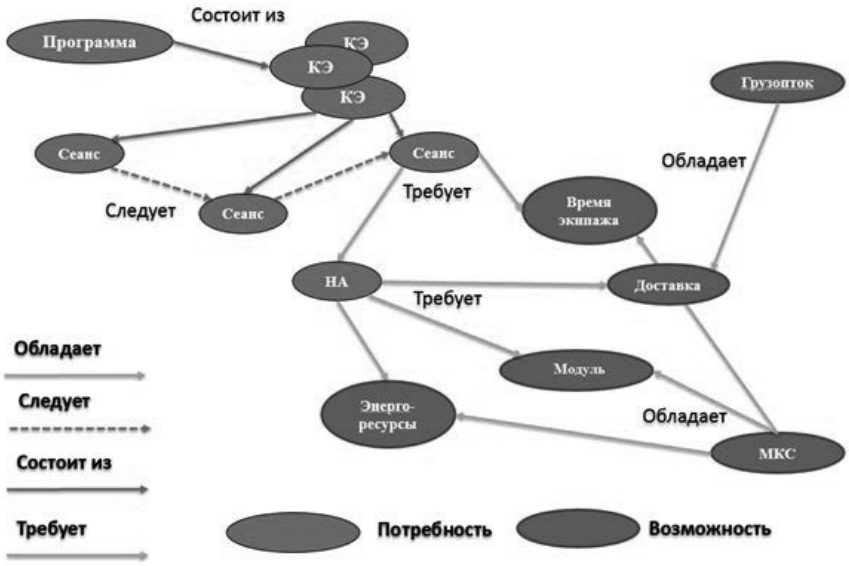


Рисунок 2 – Онтология НПИ

3 Архитектура АСПП НПИ

Для реализации АСПП НПИ была разработана ее архитектура. В структуре АСПП НПИ (рисунок 3) можно выделить следующие основные модули, взаимодействующие между собой.

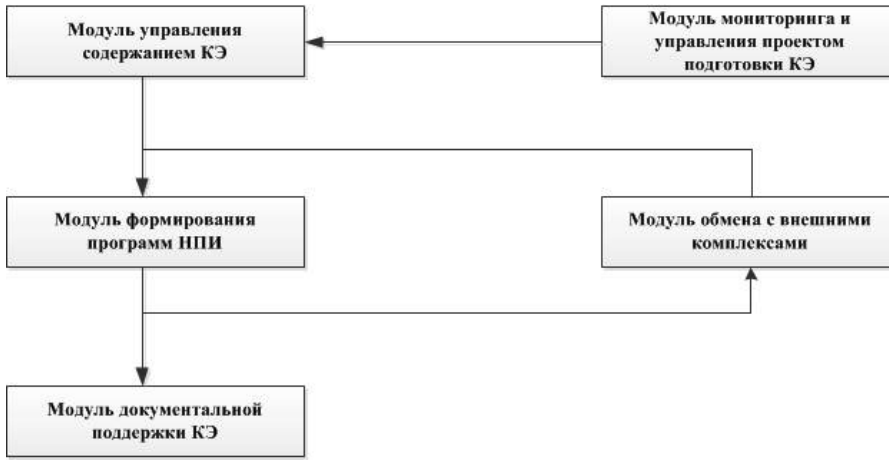


Рисунок 3 – Структура взаимодействия АСПП НПИ

1) *Модуль управления содержанием КЭ* предназначен для обеспечения и организации совместного процесса создания, редактирования и управления содержанием КЭ на этапе всего жизненного цикла КЭ. Модуль обеспечивает также ведение базы данных научной, целевой, штатной аппаратуры и механических адаптеров, которые необходимы для проведения КЭ. Поддерживает формирование перечня результатов, возвращаемых на физических носителях, и передаваемых по каналам связи РС МКС.
2) *Модуль формирования программ НПИ* предназначен для формирования, согласования и поддержки в актуальном состоянии следующих программ: долгосрочной НПИ (ДНПИ) с учетом информации о технических решениях, приказах и требованиях, относящихся к КЭ; этапной НПИ (ЭНПИ) с учетом текущих статусов проведения КЭ; программы реализации НПИ (ПНПИ) с учетом планирования проведения сеансов КЭ с помощью мультиагентного планировщика, реализующего метод адаптивного планирования.
3) *Модуль мониторинга и управления проектом подготовки КЭ* предназначен для поддержки принятия решений при управлении работами и согласовании действий по подготовке КЭ. Наземная подготовка КЭ представляет собой проект, для успешной реализации которого необходим комплексный план работ, состоящий из множества задач, выполняемых различными исполнителями.
4) *Модуль документальной поддержки КЭ* предназначен для сбора в едином месте информации из различных источников и ее использования при формировании документов. Модуль обеспечивает снижение трудоемкости работ по выпуску документации в процессе подготовки и реализации КЭ. Модуль реализует табличные формы для построения ДНПИ, ЭНПИ, ПНПИ, которые могут быть сформированы на любом этапе жизненного цикла КЭ.
5) *Модуль обмена с внешними комплексами* предназначен для взаимодействия с существующими системами предприятия. Модуль обеспечивает обмен данными со сторонними системами и преобразует данные в события, которые могут влиять на текущее планирование.

Программное обеспечение АСПП НПИ функционирует на сервере и работает непрерывно в режиме реального времени. Для пользователей АСПП НПИИ предоставляют отдельные клиентские места.

Заключение

Разрабатываемая АСПП НПИ с использованием мультиагентных технологий и онтологий позволит эффективно решать задачи, связанные с осуществлением деятельности по долгосрочному планированию и перепланированию, мониторингу и анализу фактического состояния наземной подготовки и выполнения КЭ РС МКС. Предполагается, что внедрение разрабатываемой системы позволит:

- сократить рабочее время специалистов на согласование и выпуск документации для выполнения программы НПИ. Предполагается экономия до 1/6 рабочего времени на выпуск документации;
- поддерживать в актуальном состоянии информацию по характеристикам КЭ и НА, а также имеющимся ресурсам МКС, и обеспечение оперативного доступа к этой информации;
- своевременно информировать о событиях, способных привести к изменениям в программе реализации, и учитывать такие события в плане;
- сократить время на предварительное планирование размещения оборудования;
- улучшить взаимодействие между подразделениями ПАО «РКК «Энергия» в части планирования использования ресурсов РС МКС при выполнении КЭ;
- автоматизировать рутинные операции и уменьшить человеческие ошибки;
- сократить время на консультации по телефону, за счет возможности просмотра актуальных планов в системе для подготовки предложений;
- сократить временные затраты на формирование программ НПИ.

Применение мультиагентных технологий позволит ввести элементы самоорганизации в АСПП НПИ при формировании и выполнении программ НПИ на РС МКС. Тем самым реализуется новый подход к решению поставленной задачи, который позволяет справляться с растущей сложностью планирования программ НПИ.

В дальнейшем система будет развиваться не только в направлении многокритериального подхода к планированию, что позволит комплексно учитывать многие важные критерии (например, качество и стоимость работ, индивидуальные предпочтения и ограничения отдельных исполнителей и многие другие), но и расширять функциональные возможности по интеграции с существующими и разрабатываемыми на предприятии системами.

Список литературы

[1] Борисов В.В., Васильева Т.В., Лукьященко В.И., Суворов В.В., Цымбалюк М.М. Системное проектирование эффективного целевого использования пилотируемых комплексов // Космонавтика и ракетостроение, 12, 1998. – С. 74-82.

[2] Демина Е.А., Егоров В.Ф., Клепова Т.В., Шаманина Г.А. и др. Анализ эффективности реализации программ научно-прикладных исследований на РС МКС в период 2007 – 2008 гг. // НТО – Королев: ОАО «РКК «Энергия», 2008.

[3] Кузнецов А.Н. Методологические основы анализа функционирования и развития системы эксплуатации космических средств. – Санкт-Петербург: Наука, 2002.

[4] Скобелев П. О. Мультиагентные технологии в промышленных применениях: к 20-летию основания Самарской научной школы мультиагентных систем // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2010. – №12. – С. 33-46.

[5] 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.

[6] Виттих, В. А., Скобелев П.О. Метод сопряжённых взаимодействий для управления распределением ресурсов в реальном масштабе времени // Автометрия. – 2009. – Т. 45, № 2. – С. 78-87.

[7] Скобелев П.О. Онтологии деятельности для ситуационного управления предприятием в реальном времени // Онтология проектирования. – 2012 - №1(3). – С.26-48.

[8] Коршиков Д.Н., Лахин О.И., Носкова А.И., Юрыгина Ю.С. Методы представления знаний для решения задач моделирования // Материалы V Международной научно-технической конференции «Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем» Open Semantic Technologies for Intelligent Systems, 19 – 21 февраля 2015 г. – Минск: БГУИР, 2015. – С. 425-428.

ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ В ОБРАТНЫХ ЗАДАЧАХ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ В УСЛОВИЯХ ИНТЕРВАЛЬНОЙ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ВОЗМУЩЕНИЙ

А.Н. Дилигенская

Самарский государственный технический университет
443100, Самара, ул. Молодогвардейская, 244, Россия
adiligenskaya@mail.ru
тел: +7 (846) 337-07-00

Ключевые слова: *обратная задача теплопроводности, параметрическая оптимизация, интервальные неопределенности*

Abstract

A method of parametric optimization for solution of the inverse boundary heat conduction problem under incomplete information with respect to input data is proposed. The method is based on a methodology of optimal control theory for objects with distributed parameters. The problem has been formulated as problem of minimization of temperature discrepancy in a uniform metric under interval uncertainty of perturbations when the set of control actions is limited to the class of piecewise parabolic functions. On the basis of parametrization of control actions, the problem is reduced to an unsmooth problem of mathematical programming that has been formulated for the whole set of temperature discrepancies for all possible values of uncertain factors of noise. To solve the formulated problem, the authors used an alternance method that provides a computation of the optimum values of the sought parameters, which ensure the minimal error of approximation for the whole set of possible temperature realizations. This algorithm implies the guaranteed quality approach under conditions of interval uncertainty. The results obtained in numerical experiments with basic model disturbances are analyzed.

Введение

Разработка новых методов устойчивого решения обратных задач математической физики [1, 2], пригодных для идентификации технологических процессов и позволяющих восстанавливать неизвестные управляющие воздействия, параметры или характеристики на основе полученной в результате измерений неточно заданной информации о состоянии системы, является актуальной научно-технической проблемой.

Методы решения обратных задач являющихся, как правило, некорректно поставленными задачами и требующих применения специального математического аппарата для их решения, в основном, базируются на одном из двух подходов. Первый подход основывается на аппроксимации оператора обратной задачи, не являющегося непрерывным, семейством непрерывных операторов и предусматривает регуляризацию некорректно поставленных обратных задач [1-3]. Второй подход использует переопределение метрических пространств, на которых заданы входные и выходные воздействия теплового процесса и, таким образом, осуществляет переход к условно-корректной постановке задачи на основе дополнительной (априорной) информации о характере решения задачи [4, 5].

В данной работе решение обратной задачи теплопроводности (ОЗТ) производится методами теории оптимального управления объектами с распределенными параметрами (ОРП) [6] и реализуется в классе кусочно-параболических функций, что достигается с помощью введения ограничений на вторую производную искомой характеристики. Такой подход позволяет представить искомую характеристику в параметризованном виде и перейти от исходной по-

становки ОЗТ к специальной задаче математического программирования относительно вектора параметров полученного представления управляющего воздействия, что соответствует сведению исходной некорректно поставленной задачи к условно корректной постановке. Последующее решение задачи исчерпывает решение исходной ОЗТ и может основываться на специальном методе [7], учитывающем альтернансные свойства искомых параметризуемых решений.

Данный подход успешно применен для решения базовых типов ОЗТ при наличии невозмущенных исходных данных [8-10], и здесь распространен на решение граничной ОЗТ с учетом возмущений.

1 Постановка обратной задачи теплопроводности в условиях неполноты исходной информации

Рассмотрим содержательную постановку обратной задачи на примере граничной ОЗТ по восстановлению плотности теплового потока $q(\varphi)$.

Исследуется базовая модель процесса нестационарной теплопроводности относительно температурного поля $\theta(x,\varphi)$ на примере линейного одномерного уравнения теплопроводности в относительных единицах измерения безразмерного времени (число Фурье) φ и пространственной координаты x

$$(1)\quad \frac{\partial\theta(x,\varphi)}{\partial\varphi}=\frac{\partial^2\theta(x,\varphi)}{\partial x^2},\ 0<x<1,\ 0<\varphi\le\varphi^*,$$

дополненного соответствующими краевыми условиями

$$(2)\quad \frac{\partial\theta(1,\varphi)}{\partial x}=q(\varphi),\ \frac{\partial\theta(0,\varphi)}{\partial x}=0,\ \varphi\in\left[0,\varphi^*\right],\ \theta(x,0)=0,\ x\in[0,1].$$

При постановке граничной ОЗТ плотность теплового потока $q(\varphi)$ неизвестна, ее требуется восстановить на основе дополнительных данных $\theta_\delta^*(\varphi)$, полученных в результате наблюдений за поведением объекта в точке $x^*\in[0,1)$ в условиях влияния возмущающих факторов. В типовой ситуации действия аддитивной помехи $\delta(\varphi)$ экспериментально полученная температурная зависимость $\theta_\delta^*(\varphi)$ может быть представлена в виде суммы

$$(3)\quad \theta_\delta^*(\varphi)=\theta^0(x^*,\varphi)+\delta(\varphi)$$

невозмущенного решения прямой задачи $\theta^0(x^*,\varphi)$ и возмущающего воздействия $\delta(\varphi)$.

На идентифицируемую функцию, рассматриваемую в качестве искомого управляющего воздействия $u(\varphi)=q(\varphi)$, накладываются ограничения принадлежности заданному подходящему множеству V достаточно гладких функций

$$(4)\quad u(\varphi)\in V,\ \varphi>0,$$

и формулируется экстремальная постановка ОЗТ. По экспериментальной температурной зависимости $\theta_\delta^*(\varphi)$, полученной в некоторой фиксированной точке $x^*\in[0,1)$ при учете возмущения $\delta(\varphi)$, требуется восстановить искомое управление $u^0(\varphi)$, минимизирующее невязку между приближенно заданным распределением $\theta_\delta^*(\varphi)$ и точным решением задачи $\theta(x^*,\varphi)$, соответствующим искомой функции $u^0(\varphi)$.

Решение поставленной ОЗТ предлагается производить с помощью аналитического метода параметрической оптимизации [8-11], позволяющего осуществить параметрическую идентификацию искомой характеристики при оценке невязки $\theta_\delta^*(\varphi)-\theta(x^*,\varphi)$ на основе погрешности

приближения $\theta(x^*,\varphi)$ к $\theta^*_\delta(\varphi)$ в равномерной метрике на заданном интервале. Формулируется задача поиска подчиненного ограничению (4) оптимального управления $u^0(\varphi)$, обеспечивающего на интервале идентификации выполнение минимаксного соотношения

$$I_1 = \max_{\varphi\in[0,\varphi^*]} \left|\theta^*_\delta(\varphi) - \theta(x^*,\varphi,u)\right| \to \min_{u\in V}.$$

Данные $\theta^*_\delta(\varphi)$, полученные с учетом влияния возмущений, характеризуются неполнотой исходной информации, что может рассматриваться как интервальные неопределенности, при которых объем априорных сведений о неточно заданной характеристике ограничивается сведениями о границах интервала ее возможного изменения. В такой постановке задачи полагается, что влияние помехи в любой момент времени однозначно определяется величиной δ, о которой известно то, что она может принимать любое значение в заданных пределах

(5) $\delta_{\min} \le \delta \le \delta_{\max}$,

где $\delta_{\min} \le 0; \delta_{\max} \ge 0$.

Интервальные неопределенности вида (5) приводят к тому, что экспериментальная зависимость $\theta^*_\delta(\varphi,\delta)$ в любой момент времени может иметь отклонение в диапазоне $\left[\theta^*{}_{\min}, \theta^*{}_{\max}\right]$ от невозмущенного состояния $\theta^0(x^*,\varphi)$, соответствующего значению δ=0. Здесь $\theta^*{}_{\min}(\varphi) = \theta^0(x^*,\varphi) + \delta_{\min}$, $\theta^*{}_{\max}(\varphi) = \theta^0(x^*,\varphi) + \delta_{\max}$. В случае отсутствия информации о значениях $\delta_{\min}$ и $\delta_{\max}$ интервальные неопределенности могут быть изначально заданы по отношению к экспериментальным значениям температуры в каждый момент времени φ

(6) $\theta^*{}_{\min}(\varphi) \le \theta^*_\delta(\varphi,\delta) \le \theta^*{}_{\max}(\varphi)$.

В ситуации, когда точная информация о значении $\theta^0(x^*,\varphi)$ или о величине уровня помех δ в измеряемом сигнале неизвестна, полагается, что δ может принимать любое из значений на заданном диапазоне изменения (5), или что вместо одной возмущенной приближенно заданной температурной кривой $\theta^*_\delta(\varphi,\delta)$ может рассматриваться любая зависимость, удовлетворяющая условиям (6). В этом случае задача может быть сформулирована по отношению не к одному процессу с неопределенностями вида (5) или (6), а относительно множества тепловых процессов с полной информацией о значениях экспериментальной температуры $\theta^*_\delta(\varphi,\delta)$ в каждый момент времени, удовлетворяющих всем возможным вариантам в условиях (6), или о значениях δ, соответствующих всем возможным реализациям возмущающего воздействия согласно (5). Т.е., процесс (1), (2) в условиях (3), (5) или (6) заменяется совокупностью бесконечного числа подобных процессов с полной информацией об экспериментальной температуре или о величине возмущения. Таким образом, интервальные неопределенности (5) и (6) соответствуют бесконечной совокупности измеряемых температурных распределений $\theta^*_\delta(\varphi,\delta)$ на интервале идентификации, зависящих в каждый момент времени от величины δ.

При подобном подходе решение ОЗТ может рассматриваться как поиск оптимального управляющего воздействия $u^0(\varphi)$ для всей совокупности процессов теплопроводности. Требование на предельно допустимое отклонение расчетного температурного состояния $\theta(x^*,\varphi,u^0)$ от возможных значений экспериментальной температуры $\theta^*_\delta(\varphi,\delta)$ должно быть выполнено для всех допустимых значений $\delta\in\left[\delta_{\min},\delta_{\max}\right]$ на всем интервале идентификации $\varphi\in[0,\varphi^*]$

(7) $$I_2 = \max_{\delta}\left|\max_{\varphi\in[0,\varphi^*]}\left|\theta^*_\delta(\varphi,\delta) - \theta(x^*,\varphi,u)\right|\right| \to \min_{u\in V};\quad \delta\in\left[\delta_{\min},\delta_{\max}\right].$$

Для объекта (1),(2) в условиях (3), (5) или (6) необходимо найти подчиненное ограничению (4) управляющее воздействие $u(\varphi)=q(\varphi)$, обеспечивающее на заданном временном интервале выполнение минимаксного соотношения (7).

2 Редукция к задаче математического программирования

Решение задачи (7) может быть основано на методах теории оптимального управления объектами с распределенными параметрами, и сведено к минимизации ошибки равномерного приближения модельной температуры к экспериментально полученной зависимости.

Для поиска решений в классе непрерывно-дифференцируемых кусочно-параболических функций, представляющем компактное множество, вводится новое (формальное) управляющее воздействие $u''(\varphi)$, являющееся второй производной $u(\varphi)$ и подчиненное типовому ограничению на максимально возможное значение $\left|u''_{\max}\right|$ [8, 9]. Это позволяет сформулировать задачу оптимального управления ОРП, математическая модель которого может быть задана на основе модального описания в виде бесконечной системы обыкновенных дифференциальных уравнений первого порядка относительно коэффициентов разложения температурного поля в ряд по собственным функциям тепловой задачи.

Применение к полученной задаче известных необходимых условий оптимальности, заданных, например, в форме принципа максимума Понтрягина, позволяет получить параметризованное представление искомого оптимального управления. При таком подходе управление $u(\varphi)$ однозначно характеризуется вектором параметров $\Delta=\left(\Delta_i\right)$, $i=\overline{1,N+2}$, где значение N определяет число знакочередующихся интервалов постоянства второй производной $u''(\varphi)$ исходного управляющего воздействия. Вектор параметров $\Delta=\left(\Delta_1,\Delta_2,...,\Delta_{N-1},u(0),u'(0),u''_{\max}\right)$, принадлежащий замкнутому ограниченному множеству G_{N+2}, содержит длительности $\Delta_1,\Delta_2,...,\Delta_{N-1}$ интервалов постоянства $u''(\varphi)$ и неизвестные априори параметры, соответствующие $u(0)$, $u'(0)$ и $u''_{\max}$ [8, 9, 11].

В условиях интервальной неопределенности применение принципа максимума Понтрягина к задаче (7) позволяет получить алгоритм оптимального управления всей совокупностью объектов оптимизации в виде кусочно-параболической функции времени, той же структуры, как и при наличии полной информации об объекте [12]. Оптимальное управляющее воздействие $u^0(\varphi)$ по-прежнему определяется числом N и значениями вектора параметров Δ^0.

В этом случае, температурное поле также является функцией параметров Δ, что позволяет осуществить точную редукцию некорректной постановки исходной ОЗТ к задаче математического программирования относительно вектора Δ, но задача оптимизации формулируется не по отношению к одной реализации $\theta^*_\delta(\varphi)$ экспериментальных данных, а по отношению к совокупности таких реализаций $\theta^*_\delta(\varphi,\delta)=\theta^0(x^*,\varphi)+\delta(\varphi)$, где δ может принимать любые значения из допустимого диапазона:

$$(8)\quad I^0(\Delta)=\max_{\delta}\left|\max_{\varphi\in\left[0,\varphi^*\right]}\left|\theta^*_\delta(\varphi,\delta)-\theta(x^*,\varphi,\Delta)\right|\right|\to\min_{\Delta};\ \ \delta\in\left[\delta_{\min},\delta_{\max}\right].$$

Оптимальное управление $u(\varphi)$, являющееся решением минимаксной задачи (8), обеспечивает минимально возможную погрешность $I^0(\Delta^0)$ аппроксимации всех допустимых реализаций $\theta^*_\delta(\varphi,\delta)$ для всех возможных значений δ. При этом получаемая точность $I^0(\Delta^0)$ решения ОЗТ будет совпадать с минимально возможной погрешностью для наиболее неблагоприятной реализации, характеризующейся максимальным отклонением от $\theta^0(x^*,\varphi)$ или максимальным по

абсолютной величине уровнем возмущения $\delta_0 = \max\left(\left|\delta_{\max}\right|,\left|\delta_{\min}\right|\right)$. В то же время, эта погрешность $I^0(\Delta^0)$ заведомо превышает минимально возможное значение для остальных допустимых реализаций $\theta^*_\delta(\varphi,\delta)$ и значений δ. Такая потеря по величине критерия оптимальности (8) по сравнению с ситуацией, когда экспериментальная зависимость или уровень помехи известны точно, является неизбежной компенсацией за гарантированное качество процесса идентификации в условиях интервальной неопределенности. Тем самым, оптимальное управление $u(\varphi)$ реализует стратегию гарантированного результата.

3 Методика решения минимаксной задачи с интервальными неопределенностями

На основе постановки задачи математического программирования (8) сформируем вектор $\mathbf{v}=(\varphi,\delta)$, представляющий совокупность всех фиксированных значений $\varphi\in[0,\varphi^*]$ и $\delta\in\left[\delta_{\min},\delta_{\max}\right]$, соответствующий всем возможным реализациям $\theta^*_\delta(\varphi,\delta)$, и запишем задачу (8) в следующем виде

$$(9)\quad I^0(\Delta)=\max_{\mathbf{v}}\left|\theta^*_\delta(\mathbf{v})-\theta(x^*,\varphi,\Delta)\right|\to\min_{\Delta}.$$

Здесь разность $\theta^*_\delta(\mathbf{v})-\theta(x^*,\varphi,\Delta)$ для каждого значения вектора Δ представляет собой всю совокупность распределений температурных невязок по времени для всех возможных реализаций возмущающего воздействия δ.

Формулировка (9) предусматривает возможность отыскания максимума абсолютного температурного отклонения на множестве допустимых значений моментов времени и величины погрешности. Решение задачи (9) может быть основано на существенных особенностях оптимальных температурных распределений, обладающих на заданном интервале идентификации свойствами чебышевского альтернанса и фиксирующих достижение знакочередующихся максимальных по абсолютной величине отклонений ошибки $\pm I^0(\Delta)$ приближения $\theta^*_\delta(\mathbf{v})-\theta(x^*,\varphi,\Delta)$ температурного поля в некоторых точках, число *R* которых на единицу превышает число *N*+2 искомых параметров [7-9].

На задачу (9) с интервальными неопределенностями также могут быть распространены свойства температурных распределений $\theta^*_\delta(\mathbf{v})-\theta(x^*,\varphi,\Delta)$, которые относятся здесь ко всей их совокупности, на основании чего соответствующие точки $\mathbf{v}_k$ могут содержать комбинации величин $\left(\varphi^0_k,\delta^0_k\right)$ с разными значениями неопределенных факторов. Решение проблемы отыскания значений δ^0_k для каждой точки φ^0_k и распознания конфигурации $\theta^*_\delta(\mathbf{v})-\theta(x^*,\varphi,\Delta)$ на множестве значений **v** для последующего формирования расчетных систем уравнений производится на основе альтернансного метода [7, 11].

Согласно общим свойствам [7], на заданной области определения **v** существуют точки $\mathbf{v}^0_k=\left(\varphi^0_k,\delta^0_k\right)$, $k=\overline{1,R}$ с предельно допустимыми отклонениями $\pm I^0(\Delta)$ расчетной температуры $\theta(x^*,\varphi,\Delta)$ от экспериментально измеренной $\theta^*_\delta(\mathbf{v})$. Для любого фиксированного значения δ форма кривой $\theta^*_\delta(\mathbf{v})-\theta(x^*,\varphi,\Delta)$ совпадает с аналогичной в задаче с полным объемом информации, определяется числом *N* и может быть точно задана на основе альтернансных свойств. Для учета интервальных неопределенностей остается распознать соответствующие реализации $\theta^*_\delta(\varphi,\delta_k)$ или соответствующие значения δ^0_k, при которых достигаются температурные минимумы и максимумы в точках φ^0_k.

На основе соображений физического характера очевидно, что значения $\delta=\delta_{min}$ и $\delta=\delta_{max}$ выделяют соответственно «нижнюю» и «верхнюю» температурные кривые, между которыми располагаются температурные невязки для всех других значений δ.

При общем управляющем воздействии для всей совокупности процессов положительные предельные температурные отклонения (максимумы температурной невязки) достигаются на предельной реализации $\theta^*_{max} = \theta^*_{\delta}(\varphi, \delta_{max})$, ограничивающей все множество траекторий «сверху» и соответствующей максимальному уровню возмущения $\delta=\delta_{max}$. Отрицательные предельные отклонения (минимумы погрешности аппроксимации) достигаются в этих условиях на нижней траектории $\theta^*_{min} = \theta^*_{\delta}(\varphi, \delta_{min})$ при величине погрешности $\delta=\delta_{min}$.

Температурные кривые $\theta^*_{min}(\varphi)$ и $\theta^*_{max}(\varphi)$, соответствующие «нижней» и «верхней» реализациям, могут быть получены в результате применения алгоритмов статистической обработки данных, зависящих от вида возмущающего воздействия, или на основе априорной информации о $\delta=\delta_{min}$ и $\delta=\delta_{max}$.

В соответствии с изложенным, составляется система расчетных соотношений, решение которой при заданном числе N относительно вектора параметров Δ^0 позволяет получить аппроксимацию идентифицируемой функции плотности теплового потока $q(\varphi)=u(\varphi)$ в форме кусочно-параболической зависимости.

4 Вычислительные примеры и результаты решения

Решение сформулированной граничной ОЗТ в условиях интервальной неопределенности было реализовано в классе кусочно-параболических функций при $N=3$ при типовых модельных «возмущениях», получаемых с помощью генератора псевдослучайных чисел.

ПРИМЕР. Случайные погрешности в измерениях температур.

Влияние случайных погрешностей на экспериментальную зависимость рассматривалось на примере нормального закона распределения плотности вероятностей при использовании правила «трех сигм» в виде $\theta^*_{\delta}(\varphi) = \theta^0(x^*, \varphi) + \frac{\delta_0}{3}\omega(\varphi)$, где ω - случайная величина, распределенная по нормальному закону с нулевым математическим ожиданием $M=0$ и единичной дисперсией $\sigma^2=1$, δ_0 - амплитуда (уровень) шума.

Для зашумленной температурной кривой в качестве границ диапазона размещения всех реализаций с допустимым уровнем δ могут использоваться нижняя и верхняя огибающие, построенные на основе преобразования Гильберта при использовании, в случае необходимости, предварительного сглаживания экспериментальных данных. При таком подходе максимумы температурной невязки лежат на верхней огибающей при $\delta=\delta_{max}=\delta_0$, а минимумы – на нижней при $\delta=\delta_{min}=-\delta_0$.

Некоторые результаты решения граничной ОЗТ с учетом интервальных неопределенностей случайных погрешностей в измерениях представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Точность решения задачи ($N=3$) при нормальном законе распределения помехи $\delta(\varphi)$ и уровне погрешности $\delta_0 \in [0, 3]\%$

δ, %	0	0.2	0.5	1 %	2	3
$\max\limits_{\mathbf{v}} \left\|\theta^*_{\delta}(\mathbf{v}) - \theta(x^*, \varphi, \Delta^0)\right\|$, %	0.21	0.5749	1.0039	1.8268	3.5260	5.3241
$\max\limits_{\mathbf{v}} \left\|q^*(\varphi) - u(\varphi, \Delta^0)\right\|$, %	2.6270	3.2249	3.4501	4.3829	7.0154	9.9863

Точность решения ОЗТ при использовании возмущенных данных существенно зависит от вида и уровня помехи, а также от алгоритмов статистической обработки данных, предусматривающих процедуры фильтрации или сглаживания. С увеличением амплитуды помехи в алгоритмах фильтрации для поддержания гладкого характера экспериментальной кривой приходится увеличивать сглаживающие свойства алгоритмов, что может приводить к потере качественных особенностей искомых решений $\theta_\delta^*(\varphi) - \theta(x^*, \varphi, \Delta^0)$, к возможному пропуску экстремумов, что, в свою очередь, отражается на точности аппроксимации идентифицируемой характеристики.

Заключение

Представленный подход подтверждает возможность применения аналитического метода параметрической оптимизации для решения ОЗТ в условиях неполноты исходной информации о результатах измерения температуры. Возмущенные исходные данные рассматриваются как интервальные неопределенности, сформулированные по отношению к уровню возмущающего воздействия или непосредственно по отношению к экспериментально полученной температурной зависимости, в виде информации о границах интервала их возможного изменения. Это позволяет сформулировать обратную задачу относительно множества тепловых процессов, соответствующих всем возможным реализациям возмущающего воздействия и использовать для ее решения метод параметрической оптимизации, основанный на минимизации ошибки равномерного приближения модельной температуры к экспериментальным данным.

Благодарности

Работа над статьей поддержана РФФИ (проект № 18-08-00565 и 18-08-00048).

Список литературы

[1] Тихонов А.Н., Арсенин В.Я. Методы решения некорректных задач. М.: Наука, 1979.
[2] Алифанов О.М., Артюхин Е.А., Румянцев С.В. Экстремальные методы решения некорректных задач. М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит, 1988.
[3] Бек Дж., Блакуэлл Б., Ч. Сент-Клэр мл. Некорректные обратные задачи теплопроводности. М.: Мир, 1989.
[4] Лаврентьев М.М. О некоторых некорректных задачах математической физики. Новосибирск: Изд-во СО АН СССР, 1962.
[5] Иванов В.К., Васин В.В., Танана В.П. Теория линейных некорректных задач и ее приложения. М.: Наука, 1978.
[6] Бутковский А.Г. Методы управления системами с распределенными параметрами. М.: Наука, 1975.
[7] Рапопорт Э.Я. Альтернансный метод в прикладных задачах оптимизации. М.: Наука, 2000.
[8] Рапопорт Э.Я., Плешивцева Ю.Э. Специальные методы оптимизации в обратных задачах теплопроводности // Известия РАН. Энергетика, 2002. № 5. С. 144-155.
[9] Дилигенская А.Н., Рапопорт Э.Я. Аналитические методы параметрической оптимизации в обратных задачах теплопроводности с внутренним тепловыделением // Инженерно-физический журнал, 2014. Т. 87. № 5. С. 1082-1089.
[10] Дилигенская А.Н., Рапопорт Э.Я. Метод минимаксной оптимизации в коэффициентной обратной задаче теплопроводности // Инженерно-физический журнал, 2016. Т. 89. № 4. С. 1007-1012.
[11] Diligenskaya A. Estimation of the heat flux density during the induction heating process based on the parametric optimization. Int. J. of Microstructure and Materials Properties, 2016, Vol. 11, No.1/2 pp. 5-17.
[12] Рапопорт Э.Я. Оптимизация процессов индукционного нагрева металла. М.: Металлургия, 1993.

МОДЕЛЬ ПРИМЕНЕНИЯ КОАЛИЦИЙ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ МОБИЛЬНЫХ ВОЗДУШНЫХ РОБОТОВ В УСЛОВИЯХ ОГРАНИЧЕННЫХ КОММУНИКАЦИЙ НА ПРИМЕРЕ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ МОНИТОРИНГА

А.А. Дьяченко[1], Д.Я. Иванов[1], В.Б. Шабанов [2]

[1]Научно-исследовательский институт многопроцессорных вычислительных систем
имени академика А.В. Каляева ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет»
347928 Россия, Ростовская обл., г. Таганрог, ул. Чехова 2, ГСП-284

aleksandernet@yandex.ru, donat.ivanov@gmail.com
тел.: +7(8634) 681-906

[2]ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет»
347928 Россия, Ростовская обл., г. Таганрог, ул. Чехова 2, ГСП-284
v.b.shabanov@gmail.com
тел: +7(908)195-77-00

Ключевые слова: *воздушный робот, беспилотный летательный аппарат, мониторинг, коалиция роботов, группа роботов, ограниченные коммуникации*

Abstract

The article deals with the task of planning the actions of intelligent mobile air robots united in a coalition. An intelligent mobile air robot in this work is understood as an unmanned aerial vehicle with a high degree of autonomy. A coalition of intelligent mobile air robots jointly performs a common task. When planning the actions of the coalition robots, it is proposed to use a network-centric approach to management.

Введение

Применение беспилотных летательных аппаратов с высоким уровнем автономности (способных выполнять полеты без участия, или с минимальным участием оператора), которые в рамках нашей работы будем называть воздушными роботами, представляется перспективным для проведения ряда практических работ, в первую очередь - для проведения мониторинга труднодоступных, удаленных и протяженных территорий. Воздушные роботы находят применение при мониторинге дорожно-транспортной обрасновки [1; 2], лесных пожаров [3; 4], сельскохозяйственных угодний [5–8], нефтегазопровдов [9] и нефтяных месторождений [10; 11] и др. И хотя в настоящий момент воздушные роботы чаще применятся в одиночку, однако большое количество инженерных проектов [12] и научных исследований направлены на решение практических задач группами воздушных роботов [13–21]. В данной работе рассмотрена задача применения коалиции (гетерогенной группы) воздушных роботов, действующих в условиях ограниченных коммуникаций.

1 Упрощенная математическая модель воздушного робота

В работе использовалась упрощенная математическая модель воздушного робота с возможностью управления по трем координатам X, Y, Z.

Математическая модель БЛА представлена в следующем виде:

$$\dot{V}_x = \frac{1}{m}(P_x - c_x V_x^2);$$

$$\dot{V}_y = \frac{1}{m}(P_y - c_y V_y);$$

$$\dot{\theta} = \frac{V_x}{K_r}\sin(\alpha_p);$$

$$\dot{X}_b = V_x \cos(\theta);$$

$$\dot{Y}_b = V_x \sin(\theta);$$

$$\dot{Z}_b = V_y;$$

здесь $V_x, V_y, \dot{V}_x, \dot{V}_y$ – скорости и ускорения по осям X и Y в системе координат связанной с БЛА; m – масса БЛА (принята одинаковой для всех БЛА); P_x, P_y – силы тяги, действующие на БЛА по осям X и Y соответственно; c_x, c_y – коэффициенты проекций аэродинамических сил по осям X и Y; $\theta, \dot{\theta}$ – текущий курсовой угол и скорость его изменения; K_r – коэффициент радиуса разворота; α_p – угол поворота руля; X_b, Y_b, Z_b – координаты БЛА связанные с земной системой координат.

Делая замену переменных на обобщенные переменные, получим математическую модель в переменных состояния:

$$\dot{x}_1 = \frac{1}{m}P_x - \frac{c_x}{m}x_1^2;$$

$$\dot{x}_2 = \frac{1}{m}P_y - \frac{c_y}{m}x_2;$$

$$\dot{x}_3 = \frac{1}{K_r}\sin(\alpha_p)x_1;$$

$$\dot{x}_4 = \cos(x_3)x_1;$$

$$\dot{x}_5 = \sin(x_3)x_1;$$

$$\dot{x}_6 = x_2.$$

2 Алгоритм управления воздушным роботом

Введем условные обозначения координат X_c, Z_c, Y_c, α_c – координаты цели в неподвижной системе координат. X_b, Z_b, Y_b, α_b – координаты БЛА в неподвижной системе координат.

Необходимо чтобы БЛА вышел к целевой точки с заданным курсом и чтобы выполнялось условие

$$|\alpha_c - \alpha_b| = \xi,$$

где ξ – наперед заданное малое число.

Для этого вводится новая точка координаты, которой определяются следующими выражениями:

$$\begin{cases} \overline{X}_c = X_c + \rho \cdot \cos(\alpha_c + \pi); \\ \overline{Z}_c = Z_c + \rho \cdot \sin(\alpha_c + \pi); \\ \overline{Y}_c = Y_c. \end{cases}$$

Параметр ρ задается аналитически либо эмпирически, он зависит от маневренности БЛА. Новая точка $\overline{M}_c[\overline{X}_c, \overline{Z}_c, \overline{Y}_c]$ располагается позади целевой точки и лежит на одной прямой с ней, с учетом того что α_c задается в горизонтальной плоскости. Сам процесс управления состоит из 2-х фаз.

В первой фазе управление реализовано так, чтобы БЛА устремился к точке $\overline{M}_c$.

Во второй фазе БЛА достигая определенного положения в окрестности точки $\overline{M}_c$ с радиусом R начинает эволюцию своего положения для выхода к целевой точки $M_c[X_c, Z_c, Y_c]$.

Первая фаза реализуется следующими процедурами:

(1) $b = \overline{X}_c - X_b(t)$,

(2) $a = \overline{Z}_c - Z_b(t)$,

(3) $h = \overline{Y}_c - Y_b(t)$,

(4) $c = \sqrt{b^2 + a^2}$,

(5) $l = \sqrt{c^2 + h^2}$,

(6) $\alpha_1 = arctg\left(\frac{a}{b}\right)$,

(7) $\alpha_2 = arctg\left(\frac{h}{c}\right)$,

(8) $\varepsilon_\alpha(t) = \alpha_1 - \alpha_b(t)$,

(9) $\alpha_p(t+1) = \varepsilon_\alpha(t) K_p$.

С помощью (1) – (7) вычисляются расстояния l до точки $\overline{M}_c$ и углы α_1 для горизонтальной плоскости и α_2 для вертикальной плоскости. Выражение (8) вычисляет ошибку по углу, а выражение (9) формирует управляющее воздействие по управлению курсовым рулем.

В управлении α_p введено ограничение, если $|\alpha_p| > \beta$, то его ограничивают максимальным значением $\alpha_p = \pm\beta$.

Контур управления по высоте имеет следующий вид:

(10) $\varepsilon_h(t) = \overline{Y}_c - Y_b(t)$,

(11) $P_y(t+1) = \varepsilon_h(t) K_y$.

Выражения (10), (11) управляют подъемной силой.

Когда первая фаза выхода на целевую точку завершается, управление переходит на вторую фазу. Переходом на вторую фазу является условие

$$R \geq \sqrt{(X_b(t) - \overline{X}_c)^2 + (Z_b(t) - \overline{Z}_c)^2} .$$

Управление второй фазы реализуется следующим алгоритмом.

Вычисляется знак функции, значение которого будет использоваться в качестве параметра при вычислении управляющего воздействия.

$$sign = (Z_b(t) - \overline{Z}_c) - tg(\overline{\alpha}_c)(X_b(t) - \overline{X}_c) .$$

Далее вычисляются координаты точки пересечения двух прямых. Одна прямая задана с помощью точки с координатами $[X_b(t), Z_b(t), Y_b(t)]$ и направления $\alpha_c + \pi$. Другая прямая задается точкой M_c и углом α_c. В результате решения системы уравнений двух прямых находим координаты их пересечения

$$\begin{cases} (Z - Z_b(t)) - tg(\alpha_c + \pi)(X - X_b(t)) = 0 \\ (Z - Z_c(t)) - tg(\alpha_c)(X - X_c(t)) = 0 \end{cases},$$

$$X_p(t) = \frac{Z_c - Z_b(t) + tg(\alpha_c + \pi)X_b(t) - tg(\alpha_c)X_c}{tg(\alpha_c + \pi) - tg(\alpha_c)},$$

$$Z_p(t) = tg(\overline{\alpha}_c + \pi)(X_p(t) - X_b) + Z_b(t) .$$

Таким образом, отрезок $\|[X_b(t), Z_b(t)], [X_p(t), Z_p(t)]\|$ определяет кратчайшее расстояние между БЛА и вектором, проходящим через целевую точку с заданным направлением α_c. Расстояние в горизонтальной плоскости между этими точками находится выражением:

$$L_b(t) = \sqrt{(X_b(t) - X_p(t))^2 + (Z_b(t) - Z_p(t))^2} .$$

Далее на основе выражения (13) определяется знак для выработки соответствующего управления. Знак определяется из условия

если $\alpha_c < \pi / 2$, то

если $sign > 0$, то $Cs = -1$ иначе $Cs = 1$,

иначе

если $sign > 0$, то $Cs = 1$ иначе $Cs = -1$.

Далее определяем функцию $T(t)$ определяющую управляющее воздействие на рули управляющие курсом

$$T(t) = \frac{\pi}{(1 + \exp((-1)K_\theta \cdot Cs \cdot L_b(t)))} - \frac{\pi}{2} + \alpha_c ,\ \alpha_p(t+1) = T(t) - \alpha_p(t) .$$

Таким образом, выработано управление управляющее курсом БЛА.

3 Мониторинг группами воздушных роботов в условиях ограниченных коммуникаций

Управление коалицией воздушных роботов может осуществляться централизованно от устройства управления полетом коалиции. Однако реализация такого подхода требует обеспечения канала связи между устройством управления полетом коалиции и воздушными робота-

ми. К такому каналу связи предъявляются высокие требования по пропускной способности и латентности.

При функционировании в условиях ограниченных коммуникаций, необходимо стремиться уменьшить объемы передаваемых между воздушными роботами данных, а также использовать такие стратегии управления, которые допускают возникновения определенных задержек при передаче данных.

Для это предлагается использовать децентрализованные стратегии [22–24] управления воздушными роботами коалиции. Это позволит снизить нагрузку на канал связи между устройством управления и коалицией. Также предлагается осуществлять предварительную обработку данных, полученных от сенсорных устройств и в первую очередь от бортовых видеокамер, за счет использования бортовых вычислительных устройств.

Для организации единого информационного пространства системы «коалиция воздушных роботов - устрйоство управления» предлагается организовать двухранговую сеть. Нижний ранг сети представляет собой сеть, образованная каналами связи между воздушными роботами коалиции. При этом дальность устойчивой связи бортовых средств телекоммуникации может быть меньше, чем расстояния между некоторыми парами воздушных роботов. На этом уровне целесообразно применять ячеистую топологию, обеспечивая маршрутизацию в условиях недетерминированной структуры сети. Второй ранг сети образован каналами связи между одним или несколькими воздушными робтами коалиции и устройством управления коалицией. Оснащать все роботы коалиции бортовыми средствами связи с устройством управления не целесообразно. Задача маршрутизации в такой сети может быть решена за счет применения методов роевой оптимизации [25; 27; 28], как это рассмотрено в работе [26].

Заключение

В статье рассматривается задача организации планирования действий интеллектуальных мобильных воздушных роботов, объединенных в коалиции. Под интеллектуальным мобильным воздушным роботом в данной работе понимается беспилотных летательный аппарат с высокой степенью автономности. Коалиция интеллектуальных мобильных воздушных роботов совместно выполняет общую задачу. При организации планирования действий роботов коалиции предлагается использовать сетецентрический подход к управлению.

Благодарности

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научных проектов № 17-29-07054 и №16-29-04194

Список литературы

[1] Puri A., Valavanis K.P., Kontitsis M. Statistical Profile Generation for Traffic Monitoring Using Real-time UAV based Video Data // Control & Automation (27-29 June). , 2007. pp. 1–6.
[2] Doherty P. Advanced Research with Autonomous Unmanned Aerial Vehicles. // KR. , 2004. C. 731–732.
[3] Casbeer D.W. и др. Forest fire monitoring with multiple small UAVs // Proceedings of the 2005, American Control Conference, 2005. : IEEE, 2005. pp. 3530–3535.
[4] Sujit P.B., Kingston D., Beard R. Cooperative forest fire monitoring using multiple UAVs // Decision and Control, 2007 46th IEEE Conference on. , 2007. pp. 4875–4880.
[5] Xiang H., Tian L. Development of a low-cost agricultural remote sensing system based on an autonomous unmanned aerial vehicle (UAV) // Biosyst. Eng. 2011. Т. 108. № 2. pp. 174–190.
[6] Herwitz S.R. и др. Imaging from an unmanned aerial vehicle: agricultural surveillance and decision support // Comput. Electron. Agric. 2004. Т. 44. № 1. pp. 49–61.
[7] Berni J.A.J. и др. Thermal and narrowband multispectral remote sensing for vegetation monitoring from an unmanned aerial vehicle // IEEE Trans. Geosci. Remote Sens. 2009. Т. 47. № 3. pp. 722–738.

[8] Das J. и др. Das J. et al. Devices, systems, and methods for automated monitoring enabling precision agriculture // Automation Science and Engineering (CASE), 2015 IEEE International Conference on. – IEEE. , 2015. pp. 462–469.
[9] Hausamann D. и др. Monitoring of gas pipelines - a civil UAV application // Aircr. Eng. Aerosp. Technol. 2005. Т. 77. № 5. pp. 352–360.
[10] Allen J., Walsh B. Enhanced oil spill surveillance, detection and monitoring through the applied technology of unmanned air systems // International oil spill conference. , 2008. pp. 113–120.
[11] Kalyaev I. et al. A novel method for distribution of goals among UAVs for oil field monitoring // Informatics, Electronics and Vision & 2017 7th International Symposium in Computational Medical and Health Technology (ICIEV-ISCMHT), 2017 6th International Conference on. , 2017. pp. 1–4.
[12] Lim B.H. et al. Development of software platform for monitoring of multiple small UAVs // Digital Avionics Systems Conference (DASC), IEEE/AIAA 35th. , 2016. pp. 1–5.
[13] Моисеев В.С. Групповое применение беспилотных летательных аппаратов. Казань: Редакционно-издательский центр “Школа,” 2017. 572 С.
[14] Самодов И.О., Миляков Д.А., Мелкулов В.И. Оптимизация алгоритма группового управления беспилотными летательными аппаратами в составе локальной сети // Известия Южного федерального университета. Технические науки. 2014. № 12 (161). С. 157–166.
[15] Гайдук А.Р., Капустян С.Г. Концепция построения систем коллективного управления беспилотными летательными аппаратами // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2012. Т. 10. № 7. С. 8–16.
[16] Меркулов В.И., Харьков В.П., Шамаров Н.Н. Оптимизация коллективного управления группой беспилотных летательных аппаратов // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2012. Т. 10. № 7. С. 3–8.
[17] Харьков В.П., Меркулов В.И. Синтез алгоритма иерархического управления группой БЛА // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2012. Т. 10. № 8. С. 61–67.
[18] Acevedo J.J. и др. Distributed cooperation of multiple UAVs for area monitoring missions // Motion and Operation Planning of Robotic Systems. : Springer, 2015. С. 471–494.
[19] Гайдук А.Р. Управление группой БЛА с ограничением на управление и переменные состояния // Мехатроника. Автоматизация. Управление. 2012. № 7. С. 52–57.
[20] Ефанов В.Н., Мизин С.В., Неретина В.В. Управление полетом БПЛА в строю на основе координации взаимодействия группы летательных аппаратов // Вестник УГАТУ. 2014. Т. 18. № 1. С. 114–121.
[21] Иванов Д.Я., Усачев Л.Ж. Выбор целей движения при изменении строя в группе БЛА // XII Всероссийское совещание по проблемам управления ВСПУ-2014. , 2014. С. 2015–2020.
[22] Каляев И.А., Капустян С.Г., Гайдук А.Р. Стайные принципы управления в группе объектов // Мехатроника. Автоматизация. Управление. 2004. Т. 12. С. 27–38.
[23] Каляев И.А., Гайдук А.Р., Капустян С.Г. Распределенные системы планирования действий коллективов роботов. Москва: Янус-К, 2002. 292 С.
[24] Каляев И.А., Гайдук А.Р., Капустян С.Г. Модели и алгоритмы коллективного управления в группах роблотов. Москва: Физматлит, 2009. 280 С.
[25] Schoonderwoerd R. и др. Ant-based load balancing in telecommunications networks // Adapt. Behav. 1997. Т. 5. № 2. С. 169–207.
[26] Иванов Д.Я., Мельник Э.В. Маршрутизация и распределение нагрузки в коммуникационной среде сетецентрических информационно-управляющих системах с распределенным диспетчированием и кластеризацией // Актуальные вопросы современной техники и технологии [Текст]: Сборник докладов XII Международной научной конференции (Липецк, 26 июля 2013 г.). / под ред. А.В. Горбенко. Липецк: Издательский центр “Гравис,” 2013. С. 24–28.
[27] Caro G. Di, Dorigo M. AntNet: Distributed stigmergetic control for communications networks // J. Artif. Intell. Res. 1998. Т. 9. pp. 317–365.
[28] Caro G. Di, Ducatelle F., Gambardella L.M. AntHocNet: An adaptive nature-inspired algorithm for routing in mobile ad hoc networks // Eur. Trans. Telecommun. 2005. Т. 16. № 5. pp. 443–455.

СТРОЕВАЯ ЗАДАЧА В КОАЛИЦИЯХ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ МОБИЛЬНЫХ РОБОТОВ В УСЛОВИЯХ ОГРАНИЧЕННЫХ КОММУНИКАЦИЙ

Д.Я. Иванов[1], В.Б. Шабанов[2]

[1]Научно-исследовательский институт многопроцессорных вычислительных систем
имени академика А.В. Каляева ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет»
347928 Россия, Ростовская обл., г. Таганрог, ул. Чехова 2, ГСП-284
donat.ivanov@gmail.com
тел.: +7(8634) 681-906

[2]ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет»
347928 Россия, Ростовская обл., г. Таганрог, ул. Чехова 2, ГСП-284
v.b.shabanov@gmail.com
тел: +7(908)195-77-00

Ключевые слова: *интеллектуальный мобильный робот, коалиция роботов, группа роботов, строевая задача, ограниченные коммуникации*

Abstract

The combination of intelligent mobile robots in a coalition for performing complex missions will expand the scope of such robots. The solution of many practical application, such as mapping, exploration of the shelf, monitoring, formation of mobile telecommunications networks of rapid deployment, requires coalition's robots to create a formation with specified configuration. In practice, there are significant limitations on the bandwidth of communication channels and the range of communication between the robots in the coalition. In this paper, we propose original methods to solve the formation task in the coalition of intelligent mobile robots with a decentralized control strategy and limited communications.

Введение

Современные тенденции развития робототехники требуют от роботов все большей автономности [1] и адаптируемости к изменениям внешних факторов. Одиночный робот ограничен в своих возможностях имеющимся набором бортовых функциональных и сенсорных устройств, имеющих ограниченный радиус видимости, а также небольшой запас бортовых энергоресурсов. Особенно остро эти проблемы стоят для малоразмерных роботов.

Объединение интеллектуальных мобильных роботов в коалиции для выполнения сложных миссий позволит расширить области применения таких роботов. [2], [3]. Коалиции малоразмерных автономных роботов могут применяться для решения целого ряда практических задач, таких как картографирование [4], [5], поисковые операции [6], мониторинг [7], [8], радиоэлектронная разведка и радиоэлектронная борьба, сортировка радиоактивных отходов [9], охранные системы, мобильные телекоммуникационные сети быстрого развертывания [10], перемещение крупного тела [11], мобильные распределенные сети датчиков [12] и др.

При этом при практическом использовании имеются существенные ограничения на пропускную способность каналов связи и дальность связи между роботами коалиции.

1 Строевая задача в коалициях мобильных роботов

Во избежание неточности трактования некоторых терминов, определимся с используемой в данной работе терминологией.

Под коалицией роботов будем понимать временное (либо постоянное) объединение в группу роботов, имеющих различные функциональные возможности и конструктивное уст-

ройство. Т.е. под коалицией понимаем гетерогенную группу роботов. Требуемое расположение мобильных роботов в пространстве будем называть строем (в литературе также встречается термин «формация» от англ. «formation»). Форму строя, заданную определенным (математическим) образом будем называть конфигурацией строя. Строй мобильных роботов, удовлетворяющий требованиям, предъявляемым к конфигурации, будем называть целевым строем. Отдельные положения (места) мобильных роботов, удовлетворяющие требованиям, предъявляемым к целевому строю, будем называть целевыми положениями роботов в целевом строю.

2 Известные методы решения строевой задачи и актуальность задачи

Проблеме решения строевых задач посвящен ряд исследований, опирающихся на методы теории оптимального управления [13]–[15]; метод потенциальных полей (Potential Field Approach) [16]–[18]; бионический (биомиметический) подход [19]–[22]; подход по принципу «ведущий–ведомый» (leader–follower) [23]–[27]; подход по принципу «виртуальная структура/виртуальный лидер» (virtual structure/virtual leader) [28], [29]; подход на основе теории игр [30].

Невзирая на обширные преимущества известных походов к решению строевой задачи в коалициях роботов, можно выделить некоторые недостатки:

- применение теории оптимального управления в коалициях автономных роботов затруднено из-за высокой вычислительной сложности решения строевой задачи этими методами, а также за счет использования централизованного устройства управления, и специального набора внешних сенсоров и камер, что делает невозможным практическое использование коалиций роботов за пределами специально подготовленных помещений;
- известные эмпирические подходы к решению строевой задачи ориентированы в основном на решение частных случаев строевой задачи: формирование строя определенной конфигурации (формы), поддержание уже сформированного строя, формирование строя при известных координатах целевых положений. Однако эти методы не позволяют формировать строй, заданных матрицей расстояний между мобильными роботами без привязки к конкретным координатам целевых положений роботов в пространстве;
- рассмотренные методы и подходы решения строевой задачи не учитывают ограничения на информационный обмен при решении строевой задачи.

Таким образом, актуальным является решение строевой задачи в коалициях мобильных роботов, позволяющее формировать строй любой требуемой конфигурации , заданный матрицей $\mathbf{D}_v$ расстояний $d_{vi,j}$ между целевыми положениями роботов в строю, реализация которого возможна с использованием распределенного множества бортовых вычислительных устройств, а информационный обмен осуществляется с определенными ограничениями..

3 Предлагаемый подход к решению строевой задачи в коалициях мобильных интеллектуальных мобильных роботов

В работе предлагается декомпозировать строевую задачу на две подзадачи.

Первая подзадача – *подзадача определения целевых положений*, которая заключается в определении координат $p_\mu(x_\mu, y_\mu, z_\mu)(\mu = \overline{1,N})$ целевых положений $v_\mu \in \mathbf{V}$ строя $\mathbf{D}_v$ в пространстве и назначений $U(r_i, v_\mu)$ роботов $r_i \in \mathbf{R}$ по целевым положениям $v_\mu \in \mathbf{V}$.

Вторая подзадача – *подзадача перемещения роботов* $r_i \in \mathbf{R}$ из начальных положений в назначенные точки p_μ целевых положений $v_\mu \in \mathbf{V}$, координаты которых получены после выполнения первой подзадачи, с предотвращением столкновений.

На рисунке 1 схематично изображены две подзадачи строевой задачи, входные и выходные данные для каждой из них.

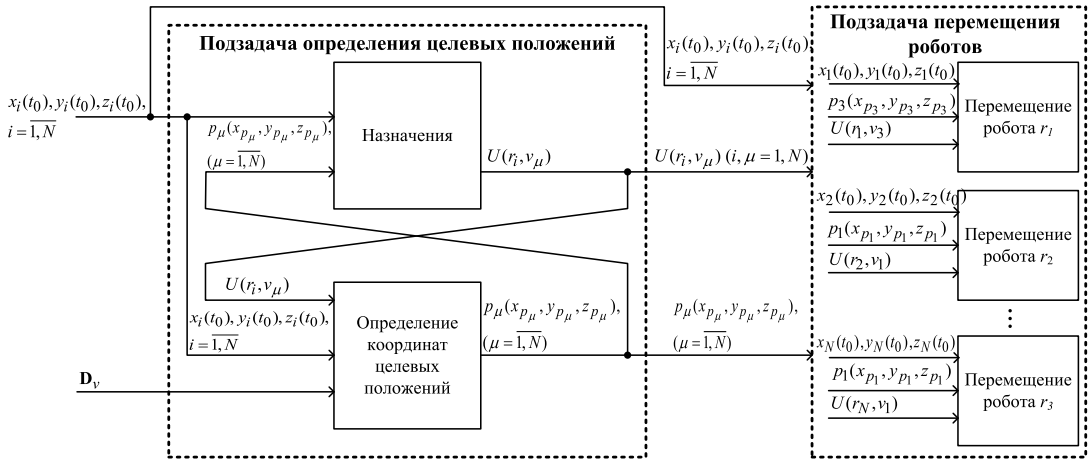


Рисунок 1 – Две подзадачи строевой задачи и их входные и выходные данные при условии, что целевой строй задан матрицей расстояний между роботами в строю

Так как строевая задача должна решаться за минимальное время $\min(T_{СЗ})$, то решение каждой из подзадач также должно выполняться за минимальное время, то есть

$$(1)\quad \min(T_{СЗ}) = \min(T_{ПОЦП} + T_{ППК}) \approx \min T_{ПОЦП} + \min T_{ППК},$$

где $T_{ПОЦП}$ – время решения подзадачи определения целевых положений; $T_{ППК}$ – время решения подзадачи перемещения роботов.

В свою очередь, минимум времени $T_{ППК}$ решения второй подзадачи будет обеспечиваться в случае, когда самое длительное время перемещения робота коалиции из начального положения в целевое положение будет минимальным, т.е.

$$(2)\quad \min(T_{ППК}) = \min(\max\ t_{ППК,i}), i = \overline{1,N},$$

где $t_{ППК,i}$ – время перемещения i-го робота из начального положения в целевое.

Подзадача о перемещении роботов в точки пространства, соответствующие целевым положениям этих роботов в строю, является частным случаем задачи перемещения одиночных роботов из исходной точки в целевую с предотвращением столкновений роботов коалиции между собой. Этой задаче посвящен ряд работ (например, работы [31]–[38]), поэтому в рамках данного исследования рассматриваться не будет.

Более сложной является первая подзадача. Рассмотрим ее подробнее. Рассмотрим множество $\mathbf{R}$ роботов $r_i \in \mathbf{R}(i = \overline{1,N})$, каждый из которых способен определять свое состояние и получать информацию о координатах других роботов коалиции. Также рассмотрим множество $\mathbf{V}$ целевых положений $v_\mu \in \mathbf{V}(i = \overline{1,N})$ в искомом строю. Расстояния между целевыми положениями описываются матрицей $\mathbf{D}_v$. Ограничения подзадачи определения целевых положений заключается в том, что координаты целевых положений заранее не заданы.

Необходимо найти координаты $p_\mu(x_\mu, y_\mu, z_\mu)(\mu = \overline{1,N})$ всех целевых положений $v_\mu \in \mathbf{V}(i = \overline{1,N})$ в пространстве, соответствующие матрице $\mathbf{D}_v$ расстояний между целевыми

положениями, а также соответствия $U(r_i, v_\mu)$ между роботами $r_i \in \mathbf{R}$ и целевыми положениями $v_\mu \in \mathbf{V}$, обеспечивающие выполнение (2).

Особенностью сформулированной выше подзадачи является то, что существует бесконечное множество наборов координат целевых положений в пространстве, расстояния между которыми соответствуют матрице расстояний между целевыми положениями в целевом строю. Необходимо выбрать такой из них, который обеспечивал бы минимальные расстояния между начальными положениями роботов коалиции и соответствующими им целевыми положениями в строю. Однако для этого необходимо определить эти самые соответствия, то есть решить задачу о назначениях [39], [40]. Известные подходы к решению задачи о назначениях, такие как «Венгерский метод», определяют назначения в двудольном графе на основе матрицы стоимостей ребер графа. В нашем случае стоимостями ребер графа являются расстояния между начальными и целевыми положениями роботов, и построить таблицу стоимостей можно только в том случае, если известны координаты целевых положений, но, как было указано выше, определение координат целевых положений требует информации о назначениях роботам целевых положений. В докладе будут представлены модификации разработанных авторами методов формирования строя произвольной конфигурации [41]–[44], отличающиеся учетом ограниченных коммуникаций.

4 Компьютерное моделирование

Работоспособность алгоритмов решения строевой задачи в коалициях интеллектуальных мобильных роботов при условии ограниченных коммуникаций была подтверждена компьютерным моделированием.

Заключение

В данной работе предложена декомпозиция строевой задачи на две подзадачи, приведены ссылки на известные подходы к решению одной из них. Дана формальная постановка второй подзадачи.

Предложенные авторами модификации методов формирования строя произвольной конфигурации в коалициях интеллектуальных мобильных роботов позволяют формировать строй, заданный матрицей расстояний между целевыми положениями в целевом строе.

Дальнейшее направление развития проекта представляется в проведении экспериментов с реальными мобильными роботами (наземными и воздушными), а также дальнейшем развитии теоретических основ управления коалициями интеллектуальных мобильных роботов при условии ограниченных коммуникаций.

Благодарности

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 17-29-07054

Список литературы

[1] И. Л. Ермолов, “Повышение автономности мобильных роботов, как важнейшее направление развития современной робототехники,” Вестник МГТУ “СТАНКИН,” Том 2, с. 121–127, 2010.

[2] Д. Я. Иванов, “Применение больших групп роботов, как одно из перспективных направлений развития робототехники / Application of large robots groups of as one of the promising directions of robotics development”/ Труды международного научно-технического семинара “Робототехника. Взгляд в будущее.,” 2010, с. 72–74.

[3] Д. Я. Иванов, “Перспективы применения больших групп роботов в экстремальной робототехнике” / Материалы Пятой Всероссийской научно-практической конференции «Перспективные системы и

задачи управления» и второй молодежной школы-семинара «Управление и обработка информации в технических системах», 2010, с. 215–220.
[4] Р. В. Сапрыкин, “Алгоритмы информационного взаимодействия интеллектуальных мобильных роботов при картографировании внешней среды функционирования,” Известия Южного федерального университета. Технические науки, Том 3 (164), с. 164–174, 2015.
[5] В. В. Воробьев, “Решение задачи групповой рекогносцировки с использованием локального взаимодействия роботов,” Второй Всероссийский научно-практический семинар Беспилотные транспортные средства с элементами искусственного интеллекта (БТС-ИИ-2015) (9 октября 2015г., г. Санкт-Петербург, Россия) Труды семинара.- Санкт-Петербург Изд-во, с. 34–41, 2015.
[6] Д. С. Будаев, Г. Ю. Вощук, Н. А. Гусев, И. В. Майоров, А. Н. Мочалкин, “Разработка прототипа согласованного управления группой беспилотных аппаратов с применением мультиагентных технологий,” Известия ЮФУ. Технические науки, Том 10, с. 18–28, 2015.
[7] Д. Иванов, “Формирование строя группой беспилотных летательных аппаратов при решении задач мониторинга,” Известия ЮФУ. Технические науки, Том 4, с. 219–224, 2012.
[8] А. С. Кремлев, С. А. Колюбин, and С. А. Вражевский, “Автономная мультиагентная система для решения задач мониторинга местности,” Известия высших учебных заведений. Приборостроение, vol. 56, 4, с. 61–65, 2013.
[9] R. Bogue, “Robots in the nuclear industry: a review of technologies and applications,” Ind. Robot An Int. J., Том 38, 2, с. 113–118, 2011.
[10] И. Л. Ермолов, Ю. В. Подураев, and С. А. Собольников, “Система планирования действий в группе мобильных роботов при создании подвижной коммуникационной сети,” Труды международной научно-технической конференции “Экстремальная робототехника,” 2012.
[11] И. А. Каляев, С. Г. Капустян, and А. Р. Гайдук, “Самоорганизующиеся распределенные системы управления группами интеллектуальных роботов, построенные на основе сетевой модели,” Управление большими системами: сборник трудов, 30–1, с. 605–639, 2010.
[12] P. Ogren, E. Fiorelli, and N. E. Leonard, “Cooperative control of mobile sensor networks: Adaptive gradient climbing in a distributed environment,” IEEE Trans. Automat. Contr., vol. 49, no. 8, pp. 1292–1302, 2004.
[13] А. Р. Гайдук, “Управление группой БЛА с ограничением на управление и переменные состояния,” Мехатроника. Автоматизация. Управление, 7, с. 52–57, 2012.
[14] А. Р. Гайдук, С. Г. Капустян, В. И. Меркулов, К. В. Бесклубова, “Групповое управление БЛА,” 2014.
[15] R. Ritz, M. Hehn, S. Lupashin, and R. D’Andrea, “Quadrocopter performance benchmarking using optimal control,” in Intelligent Robots and Systems (IROS), 2011 IEEE/RSJ International Conference on, 2011, pp. 5179–5186.
[16] Т. П. Рыжова, “Управление коллективом мобильных роботов” / Экстремальная робототехника. Труды международной научно-технической конференции, 2011, pp. 281–287.
[17] Т. Барбашова, А. А. Кирильченко, М. А. Колганов, “Некоторые аспекты использования метода потенциалов при управлении мобильными роботами,” Москва, 2004.
[18] D. Sutantyo, S. Kernbach, and P. Levi, “Multi-Robot searching algorithm using Lévy flight and artificial potential field,” in IEEE International Workshop on Safety, Security and Rescue Robotics, 2010.
[19] T. Balch and R. C. Arkin, “Behavior-based formation control for multirobot teams,” in IEEE Transactions on Robotics and Automation, 1998, pp. 926–939.
[20] C. W. Reynolds, “Flocks, herds and schools: A distributed behavioral model,” ACM SIGGRAPH Computer Graphics, vol. 21. pp. 25–34, 1987.
[21] J. Funge, X. Tu, and D. Terzopoulos, “Cognitive modeling: knowledge, reasoning and planning for intelligent characters,” in Proceedings of the 26th annual conference on Computer graphics and interactive techniques, 1999, pp. 29–38.
[22] D. C. Brogan and J. K. Hodgins, “Group behaviors for systems with significant dynamics,” Proc. 1995 IEEE/RSJ Int. Conf. Intell. Robot. Syst. Hum. Robot Interact. Coop. Robot., vol. 3, 1995.
[23] P. K. C. Wang, “Navigation strategies for multiple autonomous mobile robots moving in formation,” J. Robot. Syst., vol. 8, no. 2, pp. 177–195, 1991.
[24] J. P. Desai, J. Ostrowski, and V. Kumar, “Controlling formations of multiple mobile robots,” Proceedings. 1998 IEEE Int. Conf. Robot. Autom. (Cat. No.98CH36146), vol. 4, 1998.
[25] M. Mesbahi and F. Y. Hadaegh, “Formation flying control of multiple spacecraft via graphs, matrixinequalities, and switching,” Proc. 1999 IEEE Int. Conf. Control Appl. (Cat. No.99CH36328), vol. 2, 1999.
[26] В. Н. Буков, А. М. Бронников, Н. И. Сельвесюк, “Децентрализованное координированное управление группой беспилотных летательных аппаратов” / Труды IX Всероссийской научно-технической конференции «Повышение эффективности средств обработки информации на базе мат. моделирования», 2009.

[27] В. Н. Ефанов, С. В. Мизин, В. В. Неретина, “Управление полетом БПЛА в строю на основе координации взаимодействия группы летательных аппаратов,” Вестник УГАТУ, Том 18, 1, с. 114–121, 2014.
[28] M. A. Lewis and K.-H. Tan, “High Precision Formation Control of Mobile Robots Using Virtual Structures.,” Auton. Robot., vol. 4, pp. 387–403, 1997.
[29] Н. С. Морозова, “Виртуальные формации и виртуальные лидеры в задаче о движении строем группы роботов,” Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 10. Прикладная математика. Информатика. Процессы управления, , с. 135–149, 2015.
[30] M. E. Erdoğan, M. Innocenti, and L. Pollini, “Obstacle Avoidance for a Game Theoretically Controlled Formation of Unmanned Vehicles,” in 18th IFAC, 2011.
[31] А. К. Платонов, А. А. Кирильченко, М. А. Колганов, “Метод потенциалов в задаче выбора пути: история и перспективы,” М. Изд. ИПМ им. М.В. Келдыша РАН, 2001.
[32] В. Е. Павловский, В. В. Евграфов, В. В. Павловский, Н. В. Петровская, “Динамика, моделирование, управление мобильными роботами,” Материалы Поспеловских чтений, 2007.
[33] И. Л. Ермолов, Ю. В. Илюхин, С. А. Собольников, “Планирование траекторий движения в группе автономных мобильных коммуникационных роботов,” Вестник МГТУ “СТАНКИН,” 4, с. 96–100, 2012.
[34] А. А. Большаков, М. Ф. Степанов, А. М. Степанов, Ю. А. Ульянина, “Планирование траектории движения мобильного робота,” Вестник Саратовского государственного технического университета, Том 4, 3, с. 330–347, 2010.
[35] Б. С. Юдинцев and О. В. Даринцев, “Интеллектуальная система планирования траекторий мобильных роботов, построенная на сети Хопфилда,” Современные проблемы науки и образования, 4, с. 1–11, 2014.
[36] О. В. Даринцев and А. Б. Мигранов, “Система планирования движения группы мобильных микророботов на основе генетических алгоритмов,” Известия РАН. Теория и системы управления, 3, с. 163–173, 2007.
[37] M. W. Mueller and R. D’Andrea, “A model predictive controller for quadrocopter state interception,” Proc. Eur. Control Conf. (ECC), 2013, 2013.
[38] M. W. Mueller, M. Hehn, and R. D’Andrea, “A computationally efficient algorithm for state-to-state quadrocopter trajectory generation and feasibility verification,” in IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems, 2013, pp. 3480–3486.
[39] М. Н. Кирсанов, “Графы в Maple. Задачи, алгоритмы, программы” М. Издательство ФИЗМАТЛИТ, с. 168, 2007.
[40] Н. Кристофидес, Теория графов: Алгоритмический подход., no. 247. Москва: Мир, 1978.
[41] D. Ivanov, I. Kalyaev, and S. Kapustyan, “Method of circles for solving formation task in a group of quadrotor UAVs,” in Systems and Informatics (ICSAI), 2014 2nd International Conference on, 2014, pp. 236–240.
[42] D. Ivanov, I. Kalyaev, and S. Kapustyan, “Formation Task in a Group of Quadrotors,” in Robot Intelligence Technology and Applications 3, Springer, 2015, pp. 183–191.
[43] D. Ivanov, S. Kapustyan, and I. Kalyaev, “Method of Spheres for Solving 3D Formation Task in a Group of Quadrotors,” Interact. Collab. Robot. Vol. 9812 Ser. Lect. Notes Comput. Sci. First Int. Conf. ICR 2016, Budapest, Hungary, August 24-26, 2016, Proc., vol. 9812, 2016.
[44] Д. Я. Иванов, “Решение строевой задачи в группе беспилотных квадрокоптеров,” Известия ЮФУ. Технические науки, Тои 8, с. 138–147, 2014.

ПЛАНИРОВАНИЕ ТРАЕКТОРИИ ДВИЖЕНИЯ АВТОМОБИЛЕПОДОБНОГО МОБИЛЬНОГО РОБОТА С ПОМОЩЬЮ ТЕЛЕКАМЕРЫ

А.А. Кацурин

Институт автоматики проблем управления ДВО РАН
690041, г. Владивосток, ул. Радио, 5, Россия
katsurin@mail.ru
тел: +7 (423) 2320682

Ключевые слова: *планирование траектории, мобильный робот, телеуправление, мобильная камера, мехатроника*

Abstract

The paper solved the task of planning the trajectory of a car-like mobile robot using a movable camera installed on it. Using a developed system and algorithm of telecontrol the robot moves in the specified direction with any initial orientation of a movable camera and basis of robot. Proposed system of telecontrol by the mobile robot and algorithm of its work allows automatically to consider mutual orientation of a movable camera and the basis of the mobile robot. Such algorithm was developed and simulated on model.

Введение

В настоящее время мобильные роботы и манипуляторы с телеуправлением получили широкое распространение для выполнения работ в экстремальных и опасных условиях, таких как поисково-разведывательные работы, обезвреживание боеприпасов, охрана окружающей среды и т.д. [1-5] При этом оператор на основе изображения рабочей зоны на экране монитора формирует требуемые команды управления с помощью специальных задающих устройств. Точность, быстрота и качество решения задач одно из основных требований, предъявляемых к оператору мобильного робота. Основная проблема при телеуправлении мобильным роботом, оборудованным подвижной телекамерой, заключается в большой психологической нагрузке на оператора. В этом случае при формировании управляющих команд оператор должен постоянно учитывать текущую пространственную ориентацию, как основания робота, так и телекамеры [6, 7].

Задача разработки системы дистанционного управления была решена для мобильного робота на движущейся платформе с четырьмя независимо вращающимися колесами и установленной на платформе подвижной камерой [8, 9]. Однако, полученное решение не может быть применено к мобильным роботам, построенным по типу автомобиля, имеющих два рулевых колеса спереди и два задних ведущих колеса. Из-за своих кинематических ограничений такая платформа не может разворачиваться на месте.

Для решения этой задачи надо связать команды управления движением мобильного робота с вектором ориентации оптической оси телекамеры установленной на его корпусе. Для этого необходимо сформировать такую траекторию, двигаясь по которой платформа, поворачиваясь на заданный угол, совмещает вектор ориентации платформы и оптической оси камеры в конечной точке данной траектории.

Таким образом, проблема разработки новых методов и алгоритмов эффективного телеуправления мобильными роботами с помощью камеры способной изменять ориентацию своей оптической оси все еще остается актуальной.

1 Постановка задачи

В работе ставится и решается задача разработки системы телеуправления мобильным роботом и алгоритма ее работы для устранения указанной выше проблемы. Алгоритм работы системы позволяет автоматически учитывать взаимную ориентацию подвижной камеры и основания робота. Оператор формирует управляющие команды на основе изображения на мониторе. Робот движется в заданном направлении при любой ориентации подвижной камеры и основания робота.

2 Математическое описание траектории

Для решения поставленной задачи существует два способа: 1. платформа начинает двигаться вперед по сформированной траектории в сторону первоначального взгляда камеры, по мере движения платформа поворачивается до тех пор, пока угол ориентации платформы не совпадёт с первоначальным углом ориентации взгляда камеры, это происходит в конечной точке сформированной траектории, а дальше движение происходит прямолинейно (графическое изображение данного способа представлено на рис. 1), 2. платформа сначала движется назад прямолинейно, а затем, двигаясь по сформированной траектории, возвращается в исходную точку, но с ориентацией, совпадающей с ориентацией камеры (графическое изображение данного решения представлено на рис. 2).

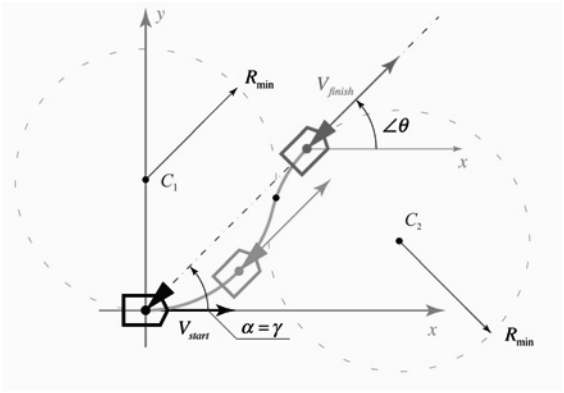


Рисунок 1 – Графическое представление траектории для первого способа

На рис. 1 и 2 введены следующие обозначения: R_{min} - радиус дуги, является минимальным радиусом, по которому способен ехать автомобилеподобный робот (платформа), α - угол ориентации камеры в абсолютной системе координат, отсчитывается от оси *x,* γ - угол ориентации камеры, отсчитывается относительно вектора V_i в положительном направлении, V_{start}, V_{finish} - вектора ориентации движения платформы, в начальной и конечных точках траектории, C_1, C_2 – центры окружностей с радиусом R_{min}.

Рассмотрим данные траектории более детально. Во-первых, стоит отметить, что траектории строятся из соображения, что у платформы по типу автомобиля имеется некоторый минимальный радиус поворота R_{min}, по которому она способна двигаться. Этот минимальный радиус (при сохранении формы траектории) обеспечивает минимальное расстояние, которое пройдет мобильный робот прежде, чем выйдет на траекторию прямолинейного движения в сторону первоначального взгляда камеры. Во-вторых, каждый новый участок траектории должен начинаться из точки, в которой можно провести одну касательную, как для нового, так и

старого участка, и в данных точках происходит поворот рулевых колёс, так чтобы обеспечить движение по следующему участку траектории.

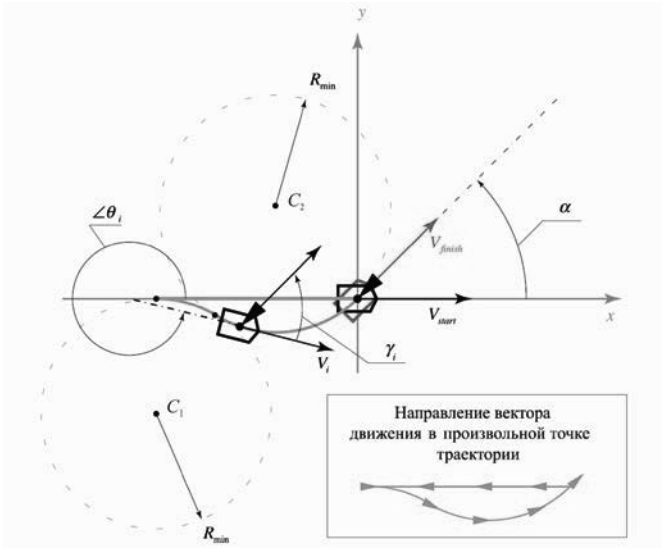


Рисунок 2 – Графическое представление траектории для второго решения

Найдем уравнения для построения первой траектории состоящей из двух дуг и прямой. В заданной системе координат точка отсчета, расположена в начальной точке движения, ось *x* лежит вдоль вектора первоначальной ориентации автомобиля V_{start}, ось *y* - нормаль к оси *x*, как показано на рис. 1.

Параметрическое уравнение первой окружности с центром в точке C_1:

$$(1)\quad \begin{cases} x = R_{min} \cdot \mathbf{cos}(t) \\ y = R_{min} \cdot \mathbf{sin}(t) + R_{min} \end{cases}, 0 \le t \le 2\pi .$$

Данная окружность построена так, что имеет точку соприкосновения с точкой начала движения и точку соприкосновения со второй окружностью.

Параметрическое уравнение второй окружности с центром в точке C_2:

$$(2)\quad \begin{cases} x = \dfrac{-B \pm \sqrt{B^2 - 4A \cdot C}}{4A} + R_{min}\,\mathbf{cos}(t) \\ y = \dfrac{R_{min} + \dfrac{-b\sqrt{b^2 - 4a \cdot c}}{2a}}{2} + R_{min}\,\mathbf{sin}(t) \end{cases}, 0 \le t \le 2\pi ,$$

где *A, B, C* и *a, b, c* – коэффициенты, рассчитанные по формулам, представленным в Табл. 1.

Теперь по аналогии с первым способом найдем уравнения, описывающие траекторию для второго способа.

Параметрическое уравнение первой окружности с центром в точке C_1:

$$(3)\quad \begin{cases} x = \dfrac{-2R_{min} \cdot \mathbf{sin}(\alpha)\sqrt{\left(4\mathbf{sin}^2(\alpha) - (8\mathbf{cos}(\alpha) - 8)\right) - R_{min}^2}}{2} + R_{min}\,\mathbf{cos}(t) \\ y = -R_{min} + R_{min}\,\mathbf{sin}(t) \end{cases}, 0 \le t \le 2\pi .$$

Данная окружность построена так, что имеет точку соприкосновения с первоначальной прямой движения платформы и точку соприкосновения со второй окружностью.

Уравнение второй окружности с центром в точке C_2:

$$(4)\quad \begin{cases} x = -R_{min} \cdot \mathbf{sin}(\alpha) + R_{min} \cdot \mathbf{cos}(t) \\ y = R_{min} \cdot \mathbf{cos}(\alpha) + R_{min} \cdot \mathbf{sin}(t) \end{cases}, 0 \le t \le 2\pi .$$

Вторая окружность имеет точку соприкосновения с прямой $y = \mathbf{tan}(\alpha) \cdot x$ в начале координат.

Таблица 1 – Формулы для расчета коэффициентов

Коэффициенты		
$A = \mathbf{tan}^2(\alpha) + 1$	$B = 2R_{min} \cdot \mathbf{tan}(\alpha) \cdot \left(-\frac{1}{\mathbf{cos}(\alpha)} - 1 \right)$	$C = R_{min}^2 \cdot \left(\frac{1}{\mathbf{cos}^2(\alpha)} + \frac{2}{\mathbf{cos}(\alpha)} - 3 \right)$
$a = \frac{1}{\mathbf{tan}^2(\alpha)} + 1$	$b = \frac{2R_{min}}{\mathbf{sin}(\alpha) \cdot \mathbf{tan}(\alpha)} - 2R_{min}$	$c = \left(\frac{1}{\mathbf{sin}^2(\alpha)} - 3 \right) - R_{min}^2$

Таким образом, получены траектории, двигаясь по которым мобильная платформа поворачивается и совмещает вектор ориентации платформы с вектором курса движения мобильного робота в конечной точке траектории. Движение по заданной траектории выполняется по дугам с центрами в точках C_1 и C_2. В точках соприкосновения происходит переход на новый участок траектории.

3 Получение кинематических соотношений

Далее необходимо найти кинематические соотношения для данного вида платформы. Для этого рассмотрим изображение, представленное на рис. 3.

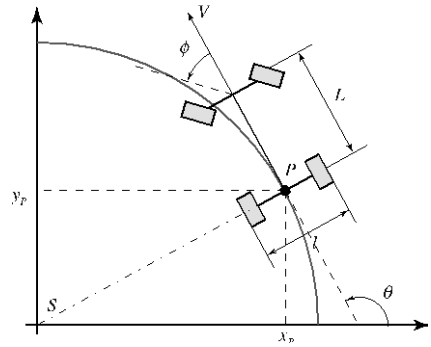


Рисунок 3 – Основные параметры конфигурации автомобилеподобной платформы на плоскости

На рис. 3 введены следующие обозначения: V – вектор ориентации платформы, θ - угол между вектором ориентации V и осью x, отсчитываемый в положительном направлении, ϕ - угол поворота рулевых колёс относительно оси соединения передних и задних колёс, P – точка принадлежащая корпусу платформы, двигающаяся по некоторой траектории, выделенной синим цветом. Для удобства последующих расчётов расположим в данной точке камеру. Стоит отметить, что точка P может быть выбрана произвольно, так как при движении по некоторой дуге вокруг её центра, любая точка движется также относительно этого центра, но по другому радиусу.

Упрощенная кинематическая модель (без учёта проскальзывания колёс по поверхности) для автомобилеподобных мобильных роботов берётся из следующих работ [10-12]

$$(5)\quad \begin{cases} \dot{x} = \nu(t)\cdot \mathbf{cos}(\theta) \\ \dot{y} = \nu(t)\cdot \mathbf{sin}(\theta) \\ \dot{\theta} = \dfrac{\nu(t)}{L}\cdot \mathbf{tan}\,\phi \\ \phi = \mathbf{arcsin}\left(\dfrac{L}{R-\dfrac{l}{2}}\right) \end{cases},$$

где L – расстояние между передним и задним мостами, R – радиус дуги, по которой будет двигаться робот при заданном угле ϕ, l – расстояние между колёсами.

Полученное математическое описание кинематики автомобилеподобной платформы потребуется в дальнейшем при создании и тестировании алгоритма на модели робота.

4 Разработка алгоритма телеуправления движением мобильного робота

Для решения поставленной задачи - связать команды управления движением мобильного робота с вектором ориентации взгляда телекамеры установленной на его корпусе, разрабатываемый алгоритм должен реализовать автоматическое движение по траектории, обеспечивая тем самым поворот мобильной платформы так, чтобы обеспечить дальнейшее движение робота по заданному оператором курсу. В момент поворота робота, сервоприводы со смонтированной на них телекамерой должны поворачиваться в обратную повороту сторону для обеспечения стабилизации ориентации взгляда камеры по углу рысканья.

Движение по заданной траектории, изображенной на рис. 1 выполняется по следующему алгоритму:

1) При отклонении джойстика задающего управляющие команды движения мобильного робота от нулевого положения или при нажатии одной из клавиш, задающих управляющие команды движения, тело основной программы, отвечающей за управление мобильным роботом, запускает выполнение программного модуля.
2) Рассчитывается желаемый угол курса.
3) Подается управляющий сигнал на привод поворачивающий рулевой мост, значение угла поворота рулевого моста ϕ вычисляется из последнего уравнения системы (5).
4) После поворота рулевого моста, подаётся управляющий сигнал на приводы движущих колёс, что приводит робот в движение по первой дуге с центром в точке C_1.
5) Достигая точки соприкосновения со второй окружностью, робот останавливается и поворачивает рулевой мост на угол ϕ, рассчитанный из последнего уравнения системы (5).
6) После поворота рулевого моста, подаётся управляющий сигнал на приводы движущих колёс, что приводит робот в движение по второй дуге с центром в точке C_2.
7) Достигая точки перехода с окружности на прямую, робот останавливается и поворачивает рулевой мост на угол $\phi = 0$, что обеспечит прямолинейное движение по заданному курсу.

5 Математическое моделирование

Для проверки работоспособности разработанного алгоритма было выполнено математическое моделирование. При моделировании предполагалось, что оператор изменяет угол ориентации взгляда камеры в начальной точке в абсолютной системе координат, после чего, подаёт команду «Движение вперёд» для мобильного робота, чтобы он двигался в сторону взгляда камеры. Платформа должна начать движение по траектории, совместив в результате свой век-

тор ориентации (курса) с заданным вектором ориентации камеры, и продолжить движение вперёд в сторону заданного курса.

Был задан управляющий сигнал, который повернёт вектор ориентации камеры на угол $\alpha = 60°$ в абсолютной системе координат. Данное направление и будет являться дальнейшим курсовым углом движения платформы, что возможно, только при $\theta = 60°$. Результаты моделирования представлены на рис. 4.

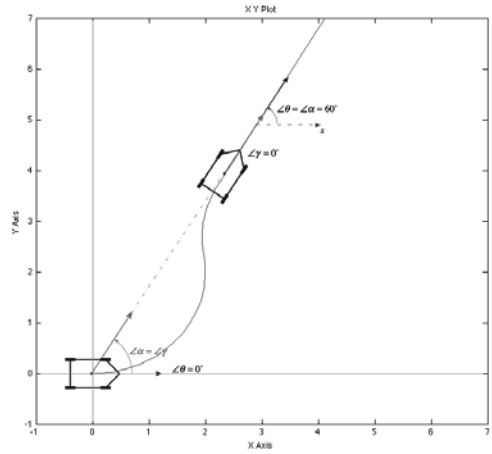


Рисунок 4 – Визуализация траектории пройденной роботом

Таким образом, результаты выполненного моделирования подтвердили работоспособность предложенного алгоритма.

Заключение

Разработанная система позволяет автоматически учитывать ориентацию камеры, установленной на корпусе подвижного робота в процессе формирования команд для управления движением робота. Для платформы автомобилеподобного робота был разработан алгоритм, который позволяет связать команды робота с вектором ориентации камеры. Математическая модель системы, включенной в алгоритме управления была успешно исследована на работоспособность в рабочей среде Matlab. Использование предлагаемой системы позволяет значительно уменьшить психологическую нагрузку на оператора мобильного робота, что повышает его производительность.

Благодарности

Работа выполнялась при финансовой поддержке РФФИ (грант 16-29-04195).

Список литературы

[1] Changhwan C., Yongchil S., Seungho J., Seungho K. Tele-Operated Fuel Handling Machine Manipulation Robot for the Nuclear Power Plants // Proc. CD-ROM of the 6th Asian Control Conf. Bali, Indonesia. 2006. pp. 983-987.

[2] Andreev V.P., Pryanichnikov V.E. Operation Environment of Mobile Robots with Supervision Control // Annals of DAAAM for 2011 & Proceedings of the 22nd International DAAAM Symposium. Vienna, Austria. 2011. Volume 22, No. 1. P. 0021-0022.

[3] Cetin L., Baser O., Keskin O., Uyar E. Vision Based Control Algorithm for a Mobile Manipulator //Annals of DAAAM for 2011 & Proceedings of the 22nd International DAAAM Symposium. Vienna, Austria. 2011. Volume 22, No. 1. P. 0449-0450.

[4] Tomasz Kosicki and Trygve Thomessen. Cognitive Human-Machine Interface Applied in Remote Support for Industrial Robot Systems // International Journal of Advanced Robotic Systems. 2013. Vol. 10, No. 342. pp. 1-11.
[5] Soichiro Suzuki, Satoshi Hasegawa and Masayuki Okugawa. Remote control system of disaster response robot with passive sub-crawlers considering falling down avoidance // ROBOMECH Journal. 2014.Vol. 1, No. 20. pp. 1-12.
[6] Филаретов В. Ф., Кацурин А. А., Пугачев Ю.А. Метод полуавтоматического комбинированного управления манипулятором с помощью подвижной телекамеры // Мехатроника, автоматизация, управление. 2009. № 2. С. 38-45.
[7] Филаретов В. Ф., Кацурин А. А. Метод полуавтоматического позиционного управления манипулятором с помощью телекамеры, изменяющей пространственную ориентацию своей оптической оси // Мехатроника, автоматизация, управление. 2008. № 9. С. 15-22.
[8] Katsurin Alexey. System of Telecontrol by the Mobile Robot with Movable Camera // Applied Mechanics and Materials. 2014. Vol. 643. pp. 9-14.
[9] Кацурин А.А. Разработка системы телеуправления мобильного робота с подвижной телекамерой // Проблемы управления и моделирования в сложных системах: Труды XVI Международной конференции. - Самара: Самарский НЦ РАН, 2014. - С. 580-585.
[10] Bruno Siciliano, Ousamma Khatib. Handbook of Robotics. – Berlin, Springer, 2007.
[11] Eric N Moret. Dynamic Modeling and Control of a Car-Like Robot. – Blacksburg, Virgin, 2003.
[12] Patricia Mellodge. Feedback Control for a Path Following Robotic Car. – Blacksburg, Virgin, 2002.

АНАЛИЗ АППРОКСИМАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ГИПЕРЭКСПОНЕНЦИАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СПЕЦИАЛЬНОГО ВИДА

А.И. Коваленко[1], С.В. Смирнов[2]

[1] Самарский государственный технический университет
443100, Самара, ул. Молодогвардейская, 244, Россия
annushka199@bk.ru
тел: +7 (846) 337-03-42

[2] Институт проблем управления сложными системами РАН
443020, Самара, ул. Садовая, 61, Россия
smirnov@iccs.ru
тел: +7 (846) 333-27-70

Ключевые слова: *гиперэкспоненциальное распределение, расстояние Чебышева, характеристики систем обслуживания.*

Abstract. The possibility of approximating two-parametric distributions of positively defined random variables by the *Hs*-hyper exponential distribution of a special kind is shown. Calculations of this approximation efficiency estimate for different sets of parameters and examples of approximation applications are given.

Введение

При описании случайных величин, характеризующих процессы различной природы в сложных системах, всегда существует проблема построения адекватных и одновременно аналитически или численно-аналитически разрешимых моделей. Под адекватностью понимается, прежде всего, точность соответствия статистическим наблюдениям, а о разрешимости судят по вычислимости практически полезных результатов моделирования систем.

Так, хорошей вычислимостью характеризуются марковские модели систем, в которых предполагается, что случайные величины имеют экспоненциальные распределения. Однако такие модели часто оказываются не достаточно точными, например, в случае учета процессов приработки и/или старения при оценке показателей надежности систем. Одним из приемов моделирования с достаточной степенью обобщения и большой точностью является применение аппарата полумарковских процессов с общим фазовым пространством состояний. В работах [1, 2] в аналитическом виде с помощью этого аппарата определены характеристики одноканальных систем с отказами обслуживания, в которых все случайные величины, описывающие работу систем, имеют общий вид распределения. Этот подход позволяет моделировать системы с учетом последействия. Вместе с тем, трудности разрешимости в аналитическом виде системы интегральных уравнений и сложности вычислительного плана позволяют рассматривать только частные режимы функционирования систем. Кроме того, для полученных аналитических формул возникают трудности подсчета характеристик систем в связи с необходимостью интегрирования функций восстановления, аналитический вид которых неизвестен для многих популярных моделей распределения случайных величин, например, Вейбулла-Гнеденко и др. [3]. Еще одним немаловажным фактором является то, что чаще всего статистически надежно может быть оценено лишь ограниченное количество моментов случайной величины, не говоря уже о законе распределения.

В связи с вышеупомянутыми трудностями, а также с необходимостью моделирования сложных систем с большим количеством возможных состояний, таких как сетецентрические системы, возникает необходимость аппроксимации распределений случайных величин, позво-

ляющей уменьшить вычислительные трудности и в то же время учесть существенные с точки зрения практики характеристики случайных явлений.

1 Постановка задачи

В [4] предложен способ моделирования распределения положительно определенной случайной величины X, которая характеризуется эмпирическим коэффициентом вариации $V^*(X) \in (1, \infty)$, специальным двухпараметрическим гиперэкспоненциальным распределением Hs с плотностью

$$\tilde{f}(t) = (1-p)\lambda\, e^{-\lambda t} + p^2 \lambda e^{-p\lambda t},$$

где $t \geq 0$, $p \in (0, 1)$, $\lambda > 0$. Параметры p и λ определяются из уравнений для первых двух моментов Hs-распределения:

$$E(X) = \frac{(2-p)}{\lambda}, \quad D^2(X) = \frac{\left(-p^3 + 2p^2 - 2p + 2\right)}{p\lambda^2},$$

– математического ожидания и дисперсии, когда в левые части уравнений подставляются соответствующие эмпирические статистические оценки.

Это распределение, впервые предложенное одним из соавторов данной статьи, имеет ряд преимуществ:

- значительное упрощение аналитических моделей времени пребывания системы в состояниях, когда это время сильно варьируется, за счет расщепления таких состояний на две фазы, длительности пребывания в которых имеют экспоненциальные распределения;
- необходимость определения только двух моментов эмпирически наблюдаемой случайной величины, для которых существуют устойчивые, эффективные и состоятельные статистические оценки на практически приемлемых объемах выборок;
- разрешимость системы уравнений для моментов при любых величинах эмпирических оценок математического ожидания и среднеквадратического отклонения - $E^*(X)$, $D^*(X)$;
- распределение Hs замыкает в области $V^*(X) = D^*(X)/E^*(X) \in (1, \infty)$ однозначную факторизацию двумерного пространства эмпирических характеристик ($E^*(X) > 0$, $D^*(X) \geq 0$), которую в области $V^*(X) \in (0, 1)$ описывают хорошо известные и широко используемые двухпараметрические гипоэкспоненциальные распределения Эрланга [5], в области $V^*(X) = 0$ – вырожденное распределение константы [6], в области $V^*(X) = 1$ – экспоненциальное распределение;
- значительное упрощение вычислительных процедур, в частности, при определении функции восстановления, аналитический вид которой можно получить лишь для некоторых распределений [3].

Задача настоящей работы – исследование результатов аппроксимации гиперэкспоненциальным распределением специального вида Hs следующих важных с практической точки зрения распределений положительно определенных случайных величин (далее – базовых распределений), имеющих коэффициент вариации больше единицы, $V(X) \in (1, \infty)$:

1) Логарифмически нормальное распределение с плотностью

$$f_{ЛН}(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma t} e^{-\frac{(\ln t - \mu)^2}{2\sigma^2}}, \text{ где } t \geq t^*,\ \sigma > \sqrt{\ln 2},\ \mu \in (-\infty, \infty).$$

2) Распределение Вейбулла-Гнеденко с плотностью

$$f_{ВГ}(t) = \frac{\beta}{\Theta}\left(\frac{t}{\Theta}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t}{\Theta}\right)^{\beta}}, \text{ где } t \geq 0,\ \beta \in (0, 1), \Theta > 0.$$

3) Гамма-распределение с плотностью

$$f_{\Gamma}(t) = \alpha \frac{(\alpha t)^{\nu-1}}{\Gamma(\nu)} e^{-\alpha t}, \text{ где } t \geq 0, \ \alpha > 0, \nu \in (0,1).$$

Hs-распределение характеризуется убывающей интенсивностью «отказов» (молодеющее распределение). При указанных параметрах распределения 1-3 имеют коэффициент вариации больше 1 и являются молодеющими. Значение t^* является решением трансцендентного уравнения, определяющего точку максимума интенсивноти «отказов» логарифмически нормального распределения.

2 Количественный анализ аппроксимационных свойств распределения *Hs*

В таблице 1 приведены количественные оценки аппроксимации *Hs*-распределением базовых распределений случайных величин для $E(X) = 0{,}5$ при значениях коэффициентах вариации $V(X)$ из множества {1,2; 1,6; 2,0; 2,8; 3,6; 4,4; 5,2; 6,0}.

В качестве основных оценок фигурируют расстояние Чебышева между функциями плотности базового и аппроксимирующего распределений, определяемое как

$$\rho(f, \tilde{f}) = \sup_{t \geq 0} \left| f(t) - \tilde{f}(t) \right| \tag{1}$$

и интеграл квадрата отклонения аппроксимирующей функции плотности распределения от базовой

$$e(f, \tilde{f}) = \int_0^{\infty} \left| f(t) - \tilde{f}(t) \right|^2 dt. \tag{2}$$

Также немаловажными критериями являются показатели (1) и (2), рассчитанные с весом t:

$$\rho_B(f, \tilde{f}) = \sup_{t \geq 0} t \left| f(t) - \tilde{f}(t) \right|, \tag{3}$$

$$e_B(f, \tilde{f}) = \int_0^{\infty} t \left| f(t) - \tilde{f}(t) \right|^2 dt. \tag{4}$$

Последнее замечание связано с тем, что при определении характеристик технических систем и систем обслуживания часто возникает необходимость подсчета интегралов вида

$$\int_0^{\infty} H_g(t) \, f(t) dt \tag{5}$$

и их комбинаций. Здесь $H_g(t)$ – функция восстановления для случайной величины с плотностью $g(t)$, а интеграл (5) имеет смысл числа восстановлений – реализаций случайной величины с плотностью $g(t)$ за время одной реализации случайной величины с плотностью $f(t)$.

Поскольку критерием аппроксимации в практических задачах является близость рассчитываемых характеристик системы к результатам, полученным с учетом исходных законов распределения, то важно отметить следующее. Характерной особенностью всех приведенных случаев является то, что расстояние Чебышева (наибольшее отклонение плотностей распределения) вычисляется именно в точке $t = 0$. Но при умножении плотности на функцию восстановления это наибольшее отклонение компенсируется, так как по определению. $H_g(0) = 0$. Это касается и тех случаев, когда расстояние Чебышева для плотностей распределения не существует. К тому же асимптотическое поведение функции восстановления $H_g(t)$ известно:

$$\lim_{t \to \infty} H_g(t) = \frac{t}{E(X)}.$$

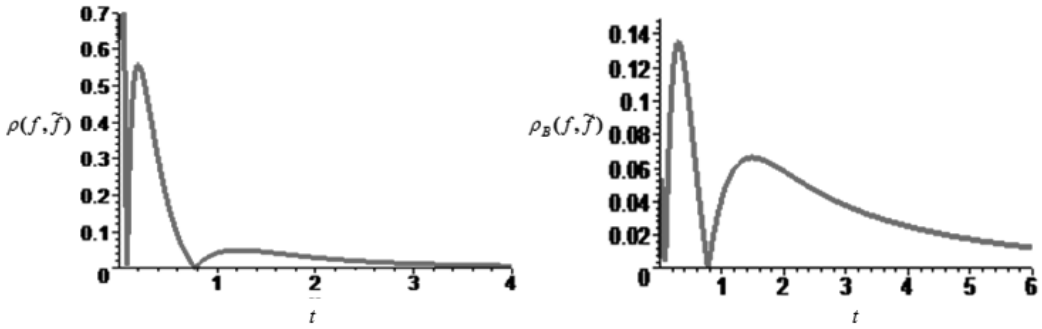
Заметим, что за счет умножения на функцию $H_g(t)$ уменьшается интеграл квадрата отклонения аппроксимирующей функции от исходной. Такой эффект наблюдается в примере расчета стационарных характеристик системы обслуживания – см. следующий раздел.

Таблица 1 – Количественные оценки аппроксимации базовых распределений случайной величины X распределением Hs при $E(X) = 0{,}5$ и $V(X) \in \{1{,}2;\ 1{,}6;\ 2{,}0;\ 2{,}8;\ 3{,}6;\ 4{,}4;\ 5{,}2;\ 6{,}0\}$

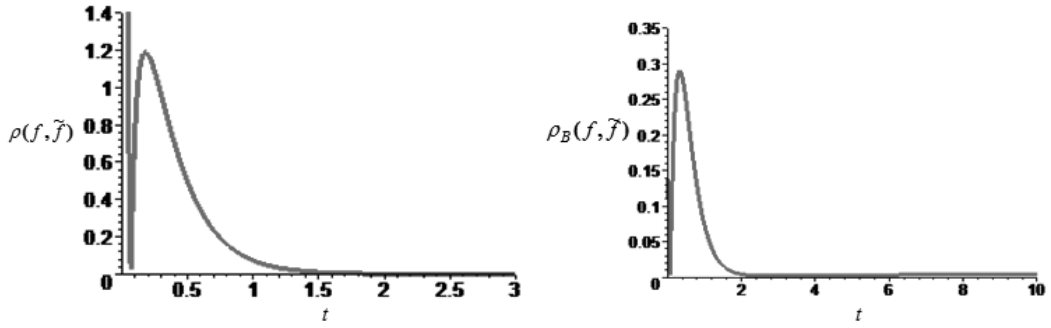
	Логарифмически нормальное	Вейбулла-Гнеденко	Гамма-распределение	Hs
$V(X) = 1{,}2$	$\mu = -1{,}305$, $\sigma = 1{,}106$, $t^* = 0{,}127$	$\Theta = 0{,}455$, $\beta = 0{,}838$	$\alpha = 1{,}389$, $\nu = 0{,}695$	$p = 0{,}393$ $\lambda = 3{,}214$
$\rho(f, \tilde{f})$	2,447	∞	∞	
$\varepsilon(f, \tilde{f})$	0,073	0,003	0,012	
$\varepsilon_B(f, \tilde{f})$	0,002	0,002	0,001	
$V(X) = 1{,}6$	$\mu = -1{,}411$, $\sigma = 1{,}198$, $t^* = 0{,}088$	$\Theta = 0{,}365$, $\beta = 0{,}648$	$\alpha = 0{,}781$, $\nu = 0{,}391$	$p = 0{,}202$ $\lambda = 3{,}597$
$\rho(f, \tilde{f})$	3,018	∞	∞	
$\varepsilon(f, \tilde{f})$	0,039	0,006	0,092	
$\varepsilon_B(f, \tilde{f})$	0,001	0,006	0,009	
$V(X) = 2{,}0$	$\mu = -1{,}498$, $\sigma = 1{,}269$, $t^* = 0{,}065$	$\Theta = 0{,}288$, $\beta = 0{,}543$	$\alpha = 0{,}500$, $\nu = 0{,}250$	$p = 0{,}127$ $\lambda = 3{,}747$
$\rho(f, \tilde{f})$	3,333	∞	∞	
$\varepsilon(f, \tilde{f})$	0,024	0,004	0,205	
$\varepsilon_B(f, \tilde{f})$	0,003	0,006	0,018	
$V(X) = 2{,}8$	$\mu = -1{,}637$, $\sigma = 1{,}374$, $t^* = 0{,}041$	$\Theta = 0{,}181$, $\beta = 0{,}430$	$\alpha = 0{,}255$, $\nu = 0{,}128$	$p = 0{,}064$ $\lambda = 3{,}872$
$\rho(f, \tilde{f})$	3,640	∞	1,665	
$\varepsilon(f, \tilde{f})$	0,033	0,023	0,407	
$\varepsilon_B(f, \tilde{f})$	0,007	0,007	0,032	
$V(X) = 3{,}6$	$\mu = -1{,}745$, $\sigma = 1{,}451$, $t^* = 0{,}029$	$\Theta = 0{,}119$, $\beta = 0{,}370$	$\alpha = 0{,}077$, $\nu = 0{,}154$	$p = 0{,}039$ $\lambda = 3{,}923$
$\rho(f, \tilde{f})$	3,777	∞	2,071	
$\varepsilon(f, \tilde{f})$	0,071	0,082	0,546	
$\varepsilon_B(f, \tilde{f})$	0,010	0,014	0,041	
$V(X) = 4{,}4$	$\mu = -1{,}834$, $\sigma = 1{,}511$, $t^* = 0{,}021$	$\Theta = 0{,}082$, $\beta = 0{,}332$	$\alpha = 0{,}103$, $\nu = 0{,}052$	$p = 0{,}026$ $\lambda = 3{,}948$
$\rho(f, \tilde{f})$	3,849	∞	2,363	
$\varepsilon(f, \tilde{f})$	0,121	0,169	0,639	
$\varepsilon_B(f, \tilde{f})$	0,012	0,024	0,047	
$V(X) = 5{,}2$	$\mu = -1{,}910$, $\sigma = 1{,}560$, $t^* = 0{,}017$	$\Theta = 0{,}059$, $\beta = 0{,}306$	$\alpha = 0{,}074$, $\nu = 0{,}037$	$p = 0{,}019$ $\lambda = 3{,}963$
$\rho(f, \tilde{f})$	3,891	∞	2,581	
$\varepsilon(f, \tilde{f})$	0,174	0,270	0,700	
$\varepsilon_B(f, \tilde{f})$	0,013	0,033	0,051	
$V(X) = 6{,}0$	$\mu = -1{,}976$, $\sigma = 1{,}602$, $t^* = 0{,}014$	$\Theta = 0{,}043$, $\beta = 0{,}286$	$\alpha = 0{,}028$, $\nu = 0{,}056$	$p = 0{,}064$ $\lambda = 3{,}872$
$\rho(f, \tilde{f})$	3,918	∞	∞	
$\varepsilon(f, \tilde{f})$	0,227	0,377	0,743	
$\varepsilon_B(f, \tilde{f})$	0,014	0,041	0,053	

Можно видеть, что с увеличением коэффициента вариации $V(X)$ в целом для базовых распределений наблюдается рост расстояния Чебышева и интегралов квадрата ошибок. Расстояние Чебышева может не давать существенного вклада в интеграл ошибок, особенно в интеграл ошибок с весом, даже если оно имеет неограниченное значение. Эти тенденции относятся и к количественным оценкам аппроксимации *Hs*-распределением при бо́льших значениях математического ожидания $E(X)$.

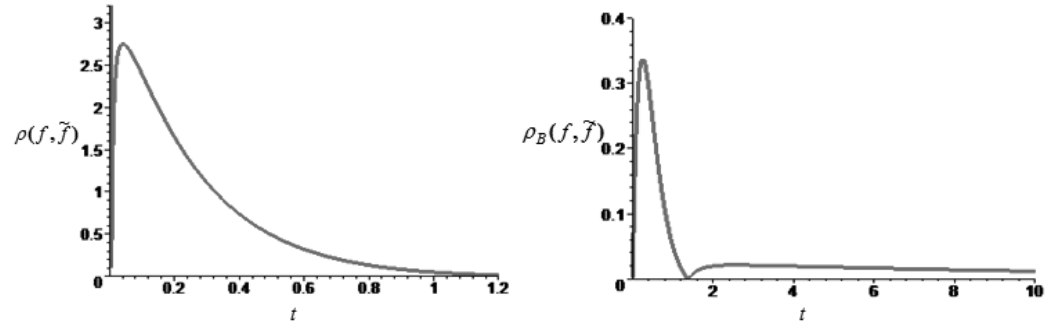
Характерный вид отклонений, оцениваемых выражениями (1) и (3), приведен на рисунке 1 для случая $E(X) = 0{,}5$ и $V(X) = 6$.



а) логарифмически нормальное распределение



б) распределение Вейбулла-Гнеденко



в) Гамма-распределение

Рисунок 1 – Отклонение и взвешенное отклонение плотности *Hs*-распределения от плотностей аппроксимируемых базовых распределений случайной величины X

3 Пример расчета характеристик системы обслуживания *M*/*G*/1/0 с отказами

Рассмотрим расчет стационарных вероятностных характеристик системы *M*/*G*/1/0 с отказами обслуживающего прибора.

Система функционирует следующим образом. Если обслуживающий прибор свободен, то поступившая в систему заявка начинает обслуживаться, в противном случае заявка теряется. После достижения прибором суммарной наработки, реализуемой как случайная величина общего вида, происходит его отказ, и сразу же начинается восстановление прибора. При этом обслуживаемая заявка, а также заявки, поступающие в систему во время восстановления прибора, теряются.

Распределением наработки на отказ обслуживающего прибора является распределение Вейбулла-Гнеденко. Исследуется его замена гиперэкспоненциальным *Hs*-распределением с помощью расчетных формул, полученных в [7] для общего вида случайных величин.

Рассмотрим систему обслуживания, в которой среднее время между поступлением заявок – 1 час; время обслуживания распределено по закону Эрланга 3-го порядка со средним значением 1,5 часа; наработка на отказ – случайная величина γ с распределением Вейбулла-Гнеденко и средним 4 часа. В таблице 3 приведено сравнение расчетов характеристик надежности системы с распределением наработки по законам Вейбулла-Гнеденко и гиперэкспоненциальному вида *Hs*.

Определяемые характеристики системы – значения стационарных показателей функционирования p_0, p_1, p_2 - финальные вероятности пребывания обсуживающего прибора в свободном состоянии, в состоянии обслуживания заявки и в состоянии аварийного восстановления соответственно, а также среднее стационарное время T_1 пребывания системы в работоспособном состоянии. Величины этих характеристик, полученные при замене распределения Вейбулла-Гнеденко распределением *Hs*, обозначены в таблице 3 как p^*_0, p^*_1, p^*_2, T^*_1.

Таблица 3 – Количественная оценка аппроксимации характеристик системы *M*/*G*/1/0 *Hs*-распределением при $E(\gamma) = 0{,}5$ и $V(\gamma) \in \{1{,}2; 1{,}6; 2{,}0; 2{,}8; 3{,}6; 4{,}4; 5{,}2; 6{,}0\}$

$V(\gamma)$	p_0	p^*_0	p_1	p^*_1	p_2	p^*_2	T_1	T^*_1
1,2	0,56244	0,56180	0,24309	0,24345	0,19447	0,19476	0,43220	0,43333
1,6	0,56728	0,56521	0,24040	0,24155	0,19232	0,19324	0,42378	0,42737
2,0	0,57089	0,56733	0,23840	0,24037	0,19072	0,19230	0,41759	0,42369
2,8	0,57577	0,56959	0,23568	0,23912	0,18855	0,19130	0,40936	0,41981
3,6	0,57890	0,57065	0,23395	0,23853	0,18716	0,19082	0,40412	0,41799
4,4	0,58108	0,57123	0,23273	0,23821	0,18619	0,19057	0,40052	0,41701
5,2	0,58269	0,57157	0,23184	0,23802	0,18547	0,19041	0,39787	0,41643
6,0	0,58394	0,57179	0,23114	0,23790	0,18492	0,19032	0,39583	0,41605

Превышение абсолютной погрешности вычислений при аппроксимации для показателя среднего стационарного времени T_1 пребывания системы в работоспособном состоянии при $V(\gamma) = 6$ достигает 5%, для остальных характеристик надежности – 2%.

Заключение

Приведенные расчеты подтверждают конкурентоспособность предложенного в [4] способа моделирования двухпараметрических распределений положительно определенных случайных величин, количественно оценивают эффект аппроксимации популярных распределений таких величин гиперэкспоненциальным распределением специального вида *Hs* при различном наборе параметров и для различного рода задач.

Дальнейшие исследования в данном направлении могут быть посвящены: анализу эффективности аппроксимации двухпараметрических распределений, рассмотренных в настоящей работе, по математическому ожиданию и квантилю распределений; результатам применения гиперэкспоненциального распределения специального вида *Hs* с комплексным типом параметров [8]; применению *Hs*-распределения для решения задач оптимизации периодичности технического обслуживания элементов ветвящихся структур [9].

Благодарности

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Самарской области в рамках научного проекта №17-48-630410.

Список литературы

[1] Корлат, А.Н. Полумарковские модели восстанавливаемых систем и систем массового обслуживания / А.Н. Корлат, В.Н. Кузнецов, М.И. Новиков, А.Ф. Турбин. — Кишинев: Штиинца, 1991. — 209 с.

[2] Коваленко, А.И. Системный анализ и многокритериальная оптимизация процессов профилактического восстановления в системах с отказами каналов обслуживания: Автореф. дис. … канд. тех. наук: 05.13.01; [Место защиты: Сам. гос. тех. университет]. — Самара, 2017. — 20 с.

[3] Байхельт, Ф. Надежность и техническое обслуживание. Математический подход / Ф. Байхельт, П. Франкен. — М.: Радио и связь, 1988. — 392 с.

[4] Смирнов, С.В. Моделирование «сверхнерегулярных» случайных величин по экспериментальным данным / С.В. Смирнов // Автоматизация научных исследований: Межвуз. сб. научн. трудов. – Куйбышев: КуАИ, 1988. - С. 52-57.

[5] Тараканов, К.В. Аналитические методы исследования систем / К.В. Тараканов, Л.А. Овчаров, А.Н. Тырышкин. - М.: Сов. радио, 1974. - 240 с.

[6] Корн, Г. Справочник по математике для научных работников и инженеров. / Г. Корн, Т. Корн. - М.: Наука, 1984. - 832 с.

[7] Песчанский, А.И. Стационарные характеристики однолинейной системы обслуживания с потерями и ненадежным прибором / А.И. Песчанский, А.И. Коваленко // Таврический вестник информатики и математики. — 2013. — №1(22). — С. 69–79.

[8] Рыжиков, Ю.И. Применение гиперэкспоненциальной аппроксимации в задачах расчета немарковских систем массового обслуживания / Ю.И. Рыжиков, А.В. Уланов // Вестник Томского государственного университета. Управление, вычислительная техника и информатика. - 2016. - №3(36). - С. 60-65.

[9] Песчанский, А.И. Оптимизация периодичности технического обслуживания звеньев ресурсоснабжающих сетей с ветвящейся структурой / А.И. Песчанский, Г.Н. Рогачев, А.И. Коваленко // Вестн. Сам. гос. техн. ун-та. Серия «Технические науки». — 2017. — Вып. 4(56) . — С. 50 – 57.

РАСПРОСТРАНЕНИЕ МЕТОДА АГРЕГИРОВАННЫХ РЕГУЛЯТОРОВ НА СТОХАСТИЧЕСКИЙ НЕЛИНЕЙНЫЙ ДИСКРЕТНЫЙ ОБЪЕКТ

С.И. Колесникова

Национальный исследовательский Томский государственный университет
634050, Томск, ул. Ленина, 36, Россия
skolesnikova@yandex.ru
тел: +7 (3822) 529-672, факс: +7 (3822) 529 585

Ключевые слова: *стохастический дискретный объект, целевое множество, инвариантное множество, минимальная дисперсия выходной переменной*

Abstract

The problem of generalization of the method of analytical construction of aggregated regulators to the control of a stochastic discrete object is considered. The control object has unstable states among the limiting states and is represented as a nonlinear difference equation. An analytical synthesis of the system of scalar control is carried out, which transfers the initial object from an unstable state to a stable state and ensures the further stabilization of the object in the vicinity of the given macrostate.

Введение

Рассматривается задача конструирования системы управления выводом в заданное множество состояний [1-8] нелинейного стохастического дискретного объекта с неустойчивыми режимами функционирования в разомкнутом состоянии.

Для решения задачи применяется широко известный метод аналитического конструирования агрегированных регуляторов (АКАР) [3], разработанный ранее для детерминированных объектов.

В данной работе строится алгоритм для одномерного нелинейного объекта с аддитивными шумами авторегрессионного типа с нулевым средним и ограниченной дисперсией.

Относительно объекта управления имеют место предположения [3, 9, 10]:

A. описание объекта управления задано в виде системы нелинейных разностных уравнений с аддитивно входящими в правые части описания переменными управления и случайных составляющих;
B. выполняются все требования методов управления на многообразиях, а именно: существует глобально устойчивая целевая система для модели объекта, удовлетворяющая аналитически заданному инвариантному многообразию $\psi\left(X(t)\right)=0,\ t\in \mathrm{N}:=\left\{0,1,2,...\right\}$ где $X(t)$ - переменная состояния объекта; $\psi\left(X(t)\right),\ t\in \mathrm{N}$ - аналитически описанная макропеременная целевого состояния; ограниченность всех решений исходной системы (нелинейного разностного уравнения); принципиальная стабилизируемость траекторий исходной модели состояния объекта в окрестности среднего значения $\mathbf{E}\psi\left(X(t)\right)=0,\ t\in \mathrm{N}$ при всех допустимых случайных составляющих ξ и управлений $U\in\mathbf{U}$;
C. конструирование системы управления осуществляется в пространстве состояний; фазовая переменная измеряется без помех.
D. функциональные пространства **X**, **U** - лебеговы пространства с измеримой нормой.

1 Постановка задачи

Рассматривается задача стабилизации стохастического дискретного объекта в окрестности аналитически описанного множества целевых состояний**.**

Пусть на дискретном вероятностном пространстве задан стохастический дискретный объект с описанием [11]:

(2) $X(t+1) = F\left(X(t)\right) + U\left(X(t)\right) + \xi(t+1) + c\xi(t),$

где $0 < c < 1,\ t \geq 1,\ t \in \mathrm{N}$; $F\left(X(t)\right),\ U\left(X(t)\right)$ – нелинейная функция и управление, соответственно; $\left\{\xi(t)\right\}_{t\geq 0}$ – последовательность независимых одинаково распределенных случайных величин со средним 0 и дисперсией σ^2.

Поставим новую задачу стабилизации объекта (2) в окрестности аналитически заданного множества состояний

(3) $\mathbf{E}\psi\left(X(t)\right) = 0,\ t \in \mathrm{N}$

где ψ – некоторая борелевская функция, называемая целевой макропеременной; равенство $\psi\left(X(t)\right) = 0$ задает целевое множество значений переменной $X(t),\ t \in \mathrm{N}$ (целевое многообразие). Требуется построить управление $U\left(X(t)\right),\ t \in \mathrm{N}$, переводящее значения $X(t),\ t \in \mathrm{N}$ в окрестность $\psi\left(X(t)\right) = 0,\ t \to \infty$ и обеспечивающее, во-первых, дальнейшую стабилизацию объекта управления в его окрестности с минимальной дисперсией величин $X(t),\ \psi\left(X(t)\right),\ \psi\left(X(t+1)\right) + \lambda\psi\left(X(t)\right),\ t \geq 1$ (λ - параметр синтезируемой системы управления объектом (2); во-вторых, одновременно минимум среднему значению $\mathbf{E}(\Phi)$ функционала Φ:

(4) $\Phi = \sum_{t=1}^{\infty}\left(\omega^2\psi^2(t) + \left(\Delta\psi(t)\right)^2\right) \to \min_{u}.$

Далее будем полагать: $F(t) := F\left(X(t)\right),\ U(t) := U\left(X(t)\right),\ \psi(t) := \psi\left(X(t)\right),\ t \geq 0$ если это не искажает смысл.

2 Основные положения детерминированного АКАР

Для читабельности основных результатов перечислим несколько положений детерминированного АКАР [3, 4] относительно конструирования управления объектом $X(t+1) = F\left(X(t)\right) + U\left(X(t)\right),\ t \geq 0$ с целью управления (3); здесь $X \in \mathrm{X}$, $U \in \mathrm{U}$, $m<n$ - вектор состояний и управления, соответственно.

Утверждение 1. Решения уравнения

(5) $\psi(t+1) + \lambda\psi(t) = 0,\ |\lambda| < 1,\ t \in \mathrm{N}$

удовлетворяют уравнению Эйлера-Лагранжа для функционала (4).

Утверждение 2. Управление, удовлетворяющее уравнению (5), обеспечивает в условиях (1), асимптотическую устойчивость системе уравнений $X(t+1) = F\left(X(t)\right) + U\left(X(t)\right),\ t \geq 0$ в окрестности $\psi(t) = 0,\ t \in \mathrm{N}$ (в условиях A-D).

Утверждение 3. Параметры λ, ω в функционале (4) и уравнении (5), соответственно, связаны соотношением: $\lambda = 0.5\left(2+\omega^2 - \left(\left(2+\omega^2\right)^2 - 4\right)^{1/2}\right)$.

Доказательная база ниже излагаемых утверждений восходит к классическим результатам теоретической механики (например, [12]).

Далее для определенности рассматривается задача стабилизации, и будем полагать $\psi(t) = X(t) - X^*(t) = 0$, $t \in \mathrm{N}$, где $X^*(t)$ - заданная функция (в частности, $X^*(t) = X^* = const$).

Заметим, что непосредственное применение классического метода АКАР (утверждения 1-3) к объекту управления (2) не представляется возможным.

3 Решение задачи

Проведем сначала предварительные рассуждения, приводящие к формуле управления с требуемыми в постановке задачи качествами и докажем затем свойства сконструированного управления.

Утверждение 4. Для дисперсий выходной переменной $X(t)$, случайных величин $\psi(t)$, $\psi(t+1)+\lambda\psi(t)$ справедливы соотношения [13]:

$$
\begin{aligned}
&\mathbf{D}\left(X(t)\right) \ge \sigma^2,\\
&\mathbf{D}\left(\psi(t)\right) = \mathbf{D}\left(X(t) - X^*(t)\right) = \mathbf{D}\left(X(t)\right) \ge \sigma^2,\\
&\mathbf{D}\left(\psi(t+1) + \lambda\psi(t)\right) = \mathbf{D}\left(X(t+1) - X^*(t+1) + \lambda\psi(t)\right) \ge \sigma^2,\ \forall t \ge 0.
\end{aligned} \tag{6}
$$

Из соотношений (6) следует, что при любом (наилучшем, в том числе) законе управления дисперсии выходной переменной и величин $\psi(t)$, $\psi(t+1)+\lambda\psi(t)$ не могут быть меньше величины σ^2.

Утверждение 5. Если шумы известны, то согласно АКАР управление, доставляющее глобальный экстремум функционалу (4) находится из частного решения уравнения Эйлера-Лагранжа (5) и определяется формулой:

$$
u(t) = -F\left(X(t)\right) - \xi(t+1) - c\xi(t) + X^*(t+1) - \lambda\psi(t). \tag{7}
$$

В условиях независимых шумов $\left\{\xi(t)\right\}_{t\ge 0}$ величина текущего управления $u(t)$ будет определяться совокупностью величин $\left\{X(t),\, u(t)\right\}_{t=\overline{0,t-1}}$, то есть управление естественно искать как функцию от предыстории $u(t) = u\left(X(t), X(t-1), ..., X_0, ..; u(t-1), u(t-2), ..., u_0\right)$, $t \in \mathrm{N}$, где $X(0) = X_0, u(0) = u_0 = 0$.

Утверждение 6. Управление $U(t) = \mathbf{E}\left(u(t) \middle| \xi(t-1), \xi(t-2), ..., \xi_0\right)$, $t \ge 1$ в пространстве состояний для объекта (2) с условием на цель управления $\mathbf{E}\left(\psi\left(X(t)\right)\right) = 0$, $t \to \infty$ и $\mathbf{E}(\Phi) \to \min$ имеет вид (**P**-п.н.):

$$
\begin{aligned}
U(t) &= \mathbf{E}\left(u(t) \middle| \xi(t-1), \xi(t-2), ..., \xi_0\right) =\\
&= -F(t) - c\lambda\psi(t-1) - (c+\lambda)\psi(t) + X^*(t+1),\ t \ge 1.
\end{aligned} \tag{8}
$$

Свойства управления (8) сформулируем в виде следующих положений.

Утверждение 7. Для объекта (2) с управлением (8) дисперсия случайной величины равна наименьшей из возможных значений согласно неравенствам (6):

$$(9)\quad \mathbf{D}\left(\psi\left(t+1\right)+\lambda\psi\left(t\right)\right)=\sigma^2,\ \forall t\geq 1,$$

при этом $\mathbf{D}\left(X\left(t\right)\right)=\mathbf{D}\left(\psi\left(t\right)\right),\ \forall t\geq 1$.

Утверждение 8. Итоговая система управления в пространстве состояний, обеспечивающая асимптотически устойчивый вывод объекта (2) в целевое множество $\psi(t)=X(t)-X^*(t)=0,\ t\in \mathrm{N}$ и доставляющее глобальный минимум функционалу $\mathbf{E}\left(\Phi\right)$ имеет вид:

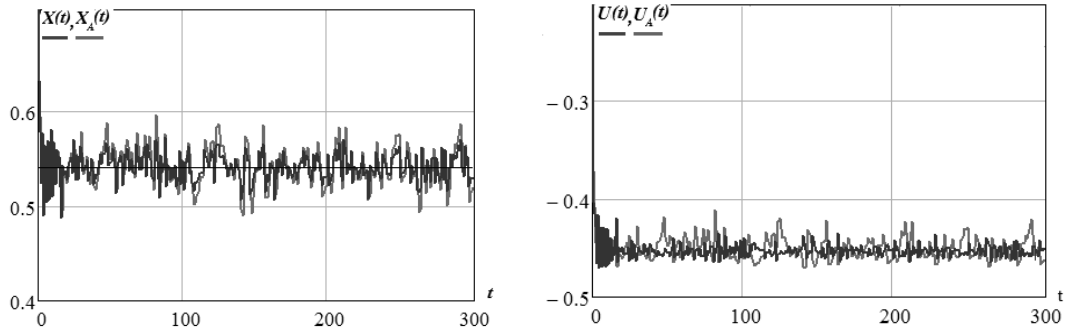
$$\begin{aligned} &X\left(t+1\right)=F\left(X\left(t\right)\right)+U\left(X\left(t\right)\right)+\xi\left(t+1\right)+c\xi\left(t\right),\\ (10)\quad &U\left(t\right)=-F\left(t\right)-c\lambda\psi\left(t-1\right)-\left(c+\lambda\right)\psi\left(t\right)+X^*\left(t+1\right),\\ &\psi\left(t\right)=X\left(t\right)-X^*\left(t\right)=0,\ \forall t\geq 1, \end{aligned}$$

где c – параметр объекта управления, λ - параметр системы управления.

Утверждение 9. Управление (8) обеспечивает предельное значение дисперсии выходной переменной управления в процессе достижения окрестности многообразия $\psi(t)=X(t)-X^*(t)=0,\ t\in \mathrm{N}$, равное $\lim\limits_{t\to\infty}\mathbf{D}\left(X(t)\right)=\sigma^2\Big/\left(1-\lambda^2\right)$.

4 Иллюстрации и таблицы

На рисунках 1 *a*), 1 *b*) иллюстрированы результаты численного сравнительного моделирования 2-х систем управления, сконструированных согласно методам – классическому АКАР (обозначения $X_A\left(t\right),U_A\left(t\right)$) и модифицированному (п. 3) (обозначения $X\left(t\right),U\left(t\right)$) в условиях одного типа и уровня шумов. Причем классический АКАР «испытывается» здесь в нерасчетных условиях, поскольку исходный объект для конструирования управления является детерминированным.



a) *b*)

$F\left(X\left(t\right)\right):=rX\left(t\right)\left(1-X\left(t\right)\right)$, r – параметр модели Фейгенбаума;

$T=300, x_0=0.8, c=0.93, \sigma^2=0.013, \xi_t\sim N\left(0,\sigma^2\right)$, шум;

$\lambda=-0.21$, $r=4$ - параметры: регулятора, хаотического объекта, соответственно;
a) – фазовые траектории; *b*) - управления.

Рисунок 1 – Результаты численного моделирования двух систем управления

В качестве объекта исследования выбрана модель Фейгенбаума $F\left(X\left(t\right)\right) := rX\left(t\right)\left(1-X\left(t\right)\right)$, которая, как известно, при определенных значениях параметра r является неустойчивой. Нетрудно убедиться, что в таких условиях, во-первых, качество системы управления (10) существенно зависит от параметров системы управления и объекта; во-вторых, построенные управления могут показывать в разных областях фазового пространства результаты как «лучше», так и «хуже», в зависимости от параметров, в том числе.

Указанные особенности являются мотивацией для конструирования множественного управления [13], суть которого заключается в использовании разных моделей управления в разных областях фазового пространства.

Из вышеприведенного примера следует (рисунок 1), что средний уровень отклонения целевой траектории от заданного значения при стохастическом управлении АКАР меньше, чем у классического метода: $\sigma^2_{X_A} = 5.341\times10^{-4}, \sigma^2_X = 3.543\times10^{-4}$, $\sigma^2_{U_A} = 5.292\times10^{-4}, \sigma^2_U = 4.549\times10^{-4}$, но до момента t=50 использование классического метода АКАР является более предпочтительным.

5 Постановки прикладных задач

На основе представленного выше метода, названного для удобства ссылки как ADARs (Analytical Designing of Aggregated Regulators for Stochastic objects) в докладе формализуются две постановки следующих стохастических задач дискретного управления и предлагается алгоритм конструирования систем управления с учетом результатов п. 3.

5.1 Конструирование множественного управления

Рассмотрен пример решения задачи конструирования множественного управления [14], суть которого заключается в нахождении политики переключения на более предпочтительную модель управления в определенных областях фазового пространства.

Ранее полученные результаты в решении проблемы множественного управления связаны с линейной параметризацией исходного нелинейного объекта (например, [14]), порождающей базовые управления. Здесь будет построена система множественного управления без такой предварительной процедуры. Такое управление актуально для всех объектов, для которых операция линеаризации не является целесообразной (системы управления с техническим зрением).

5.2 Синтез регулятора для стохастической экономической модели

Рассмотрен пример ([3], стр. 447) балансовой модели рынка сбыта одноименной продукции двумя производителями, и поставлена задачи управления такой моделью для вывода объекта в требуемое состояние:

$$X\left(t+1\right) = F_X\left(X\left(t\right), Y\left(t\right), \beta_X\left(t\right), \theta\right),$$
$$Y\left(t+1\right) = F_Y\left(X\left(t\right), Y\left(t\right), \beta_X\left(t\right), \theta\right),$$
$$\beta_X\left(t+1\right) = f_X\left(t\right) + \xi\left(t+1\right) + c\xi\left(t\right) + u_{1i},$$
$$\beta_Y\left(t+1\right) = f_Y\left(t\right) + u_{2i}, i \geq 1.$$

Здесь правые части описания представляют собой нелинейные известные функции F_X, F_Y, $f_X\left(t\right), f_Y\left(t\right)$ с неустойчивыми режимами в определенной области изменения параметров β_X, β_Y, θ, где $\beta_X, \beta_Y, X\left(t\right), Y\left(t\right)$ - цены и объемы продукции, устанавливаемые производителями X, Y, соответственно.

Заключение

В докладе рассмотрена новая задача распространения аналитического конструирования агрегированных регуляторов для нелинейных систем (неустойчивых в разомкнутом состоянии, в том числе) для нелинейных дискретных объектов, заданных разностными уравнениями, правые части описания которых содержат шум авторегрессионного типа глубины 1. Построен робастный регулятор для одномерного объекта и осуществлено его численное исследование на примере хаотического объекта.

Дальнейшее естественное развитие следует ожидать, во-первых, в обобщении метода аналитического конструирования агрегированных регуляторов для стохастических непрерывных объектов; во-вторых, в построении адаптивного регулятора на базе АКАР, способного парировать не только детерминированные помехи [15], но и случайные.

Результаты работы могут быть актуальны в системах управления плохо формализуемыми динамическими объектами, а также при построении систем поддержки принятия решений при управлении сложными объектами.

Благодарности

Авторы выражают признательность профессору, заслуженному деятелю науки и техники РФ А.А Колесникову за полезные обсуждения; С.А. Егорову, магистранту ТГУ, за проведение численного моделирования.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ № 17-08-00920.

Список литературы

[1] H.K. Khalil. Nonlinear systems. - Prentice Hall, 2002.
[2] Andrievskii B.R., Fradkov A.L. Control of Chaos: Methods and Applications. II. Applications // Automation and Remote Control. - 2004. - Vol. 65. - №. 4. - P. 505-533.
[3] Колесников А.А. Синергетика и проблемы теории управления: сборник научных трудов. - М.: Физматлит, 2004.
[4] Колесников А.А. Теория синтеза нелинейных систем управления: сравнение методов: монография. – Таганрог: Изд-во ЮФУ, 2014.
[5] V.I. Utkin. Sliding modes in control and optimization. – Springer, 2012.
[6] M. Arcak, A. Teel, P. Kokotovic. Robust nested saturation redesign for systems with input unmodeled dynamics // Proceedings of the 2000 American Control Conference. - 2000. - Vol. 1. - № 6. - P. 150-154.
[7] Astolfi, D. Karagiannis, R. Ortega. Nonlinear and Adaptive Control with Applications. – Springer, 2008.
[8] Тюкин И.Ю., Терехов В.А. Адаптация в нелинейных динамических системах. - СПб.: ЛКИ, 2008.
[9] Саридис Дж. Самоорганизующиеся стохастические системы управления. - М.: Наука, 1980.
[10] Афанасьев В.Н. Управление неопределенными динамическими объектами. - Москва: Физматлит, 2008.
[11] К.Ю. Острем. Введение в стохастическую теорию управления. - М.: Мир, 1973.
[12] Галиуллин А.С. Обратные задачи динамики и задачи управления движениями материальных систем // Дифференц. уравнения. - 1972. - Т. 8. - С. 1535–1541.
[13] Kolesnikova S.I. Multiple-control system for nonlinear stochastic discrete object // Optimization Methods and Software. - 2018. (URL: https://doi.org/10.1080/10556788.2018.1472258).
[14] Narendra K. S., Balakrishnan J. Adaptive control using multiple models // IEEE Trans. on Automatic Control. - 1997. - Vol. 42. - №. 2. - P. 171-187.
[15] Колесников А.А. Новые нелинейные методы управления полетом - М.: Физматлит. 2013.

Biography

Kolesnikova Svetlana — Dr. Sci., associate professor of the Department of Higher Mathematics and Mathematical Modeling of the Faculty of Applied Mathematics and Cybernetics, NI TSU. Research interests: intellectual data analysis, intelligent control systems, control of nonlinear objects with uncertainty in the description and their application in technical and economic studies. e-mail: skolesnikova@yandex.ru

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ГАЗОТУРБОГЕНЕРАТОРНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК НА ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЯХ

Е.А. Ларин[1], М.Ю. Лившиц[2], Л.П. Шелудько[2]

[1]Саратовский государственный технический университет им. Ю.А. Гагарина
410054, Саратов, ул. Политехническая 77, Россия
larin@sstu.ru
тел: +7 (845) 299-87-48

[2]Самарский государственный технический университет
443100, Самара, ул. Молодогвардейская, 244, Россия
chel_lp@mail.ru
тел: +7 (846) 332-42-34

Ключевые слова: *турбодетандер, тепловая электрическая станция, регенеративная газотурбодетандерная энергетическая установка, автоматизированная система управления технологическим процессами*

Abstract

The report examines the efficiency of thermal power plants (TPP) gas turbine-expander power units utilizing the potential energy of the compressed gas supplied to the TPP at a pressure of 1.2 - 0.8 MPa. Instead of throttling the gas at the gas control points with its supply to the boiler units of TPPs, it is proposed to use a new type of powerful high-efficiency gas turbine-expander units at TPPs.

Введение

Одним из наиболее эффективным путей энергосбережения является использование потенциальной энергии сжатого природного газа для выработки электроэнергии. Природный газ, транспортируемый по магистральным газопроводам при давлении 5,5 – 7,5 МПа, дросселируется на газораспределительных станциях (ГРС) и с давлением 1,2 – 0,8 МПа подается на газораспределительный пункты (ГРП), обеспечивающие газоснабжение предприятий. Процессы дросселирования сжатого газа приводят к большим потерям его потенциальной энергии. Целесообразно вместо редуцирования газа высокого давления использовать его потенциальную энергию в детандер-генераторных агрегатах (ДГА) для выработки электроэнергии. В большинстве стран Западной Европы, США, Японии на ГРС и на ГРП применяют ДГА мощностью от 100 до 5000 кВт [1]. Наиболее перспективно использование ДГА на тепловых электрических станциях (ТЭС), так как расход потребляемого ими газа может составлять от 30 до 250 кг/с. При этом, давление газа перед его подачей в горелки котельных агрегатов снижается на ГРП до 0,15 – 0,17 МПа. В России выпускаются турбодетандерные агрегаты (ТДА) мощностью от 2, 5 до 11 МВт. На ТЭЦ-21 и ТЭЦ-23 ОАО «Мосэнерго» установлено по два турбодетандерных агрегата мощностью по 5 МВт.

Известны различные способы подогрева природного газа перед ТДА с использованием теплоты сетевой воды, пара из отборов турбин, уходящих газов котельных агрегатов[2]. При применении ТДА на тепловых электрических станциях (ТЭС) для повышения их эффективности наиболее распространен вариант подогрева газа горячей водой, нагреваемой паром из отборов паровых турбин. Испытания турбодетандера ТДА-5000 на ТЭЦ-21 показали, что на 1 МВт его электрической мощности на подогрев газа перед ТДА до 100^0С затрачивается 1,2 МВт тепловой мощности отборного пара, что требует увеличения расхода топлива в котлоагрегатах ТЭЦ [3]. Уральским турбинным заводом в 1991 году введена в эксплуатацию на

Среднеуральской ГРЭС газовая утилизационная турбина ТГУ-11, производящая выработку электроэнергии за счет расширения в ее турбодетандере потенциальной энергии природного газа, подводимого на ГРП. Эта установка включена параллельно дроссельным устройствам ГРП. Номинальные параметры ТГУ-11 [4]: расход газа высокого давления G_{1t}=42,5 кг/с, давление и температура газа перед турбодетандером $P_{1н}$=1,1 МПа, $T_{1н}$=135^{0}С, давление газа за турбодетандером $P_{2н}$=0,17 МПа. Газ перед турбодетандером подогревают в теплообменнике горячей водой нагретой теплом отборного пара паровой турбины.

1 Энергетические характеристики газотурбодетандерных установок

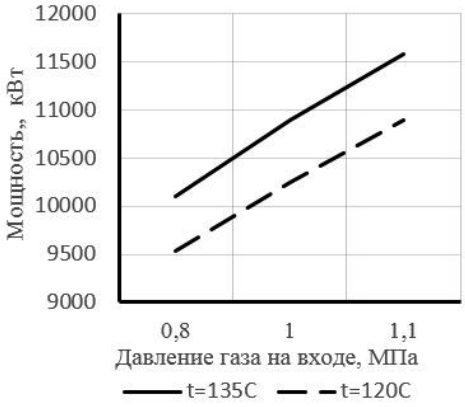


Рисунок 1 – Влияние начального давления и температуры газа на мощность турбодетандера

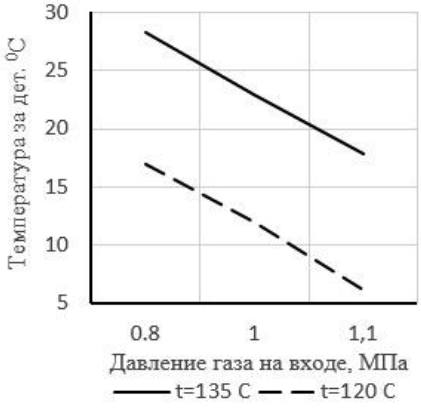


Рисунок 2 – Влияние давления $P_{1н}$ и температуры $T_{1н}$ на температуру за турбодетандером

Удельная полезная работа турбодетандера $L_{ТД} = \frac{k}{k-1} ZRT_{1н} \left\{ 1 - \frac{1}{\pi_{ТД}^{\frac{k-1}{k}}} \right\} \eta_{ТД}$ зависит от состава природного газа, степени понижения давления $\pi_{ТД} = \frac{P_{1h}}{P_{2h}}$ – где P_{1h} и P_{2h} давление газа перед и за турбодетандером, температуры газа $T_{1н}$, показателя адиабаты k, удельной газовой постоянной R, коэффициента сжимаемости Z, политропического КПД турбодетандера $\eta_{ТД}$. Влияние начального давления и температуры газа на мощность турбодетандера показаны на рисунке 1. На рисунке 2 приведена зависимость давления P_{1h} и температуры $T_{1н}$ на температуру за турбодетандером.

Расчеты ТГУ-11 показывают, что при давлении газа перед турбодетандером 1,1 МПа и температуре $T_{1г}$=120 ^{0}С температура расширенного в нем газа снижается до 6 ^{0}С. Следовательно, из-за возможности гидратообразования в газе, вышедшем из турбодетандера, дальнейшее снижение его температуры перед детандером недопустимо.

При уменьшении начального давления происходит повышение его температуры за турбодетандером. Электрическая мощность и количество электрической энергии, вырабатываемой газовой утилизационной турбиной, зависит от типа и режимов работы тепловых электростанций. При этом в неотопительные периоды из-за значительного снижения тепловой нагрузки ТЭЦ уменьшается расход газа и электрическая мощность детандер-генераторных агрегатов.

Снижение расхода газа приводит к уменьшению внутреннего теплоперепада в турбодетандере и электрической мощности (рисунок 3) газовой утилизационной турбины. Наиболее значительно снижение мощности и выработки электроэнергии турбодетандерной

энергетической установкой при одновременном снижении расхода газа, подаваемого на ТЭС, и уменьшении давления газа перед турбодетандером.

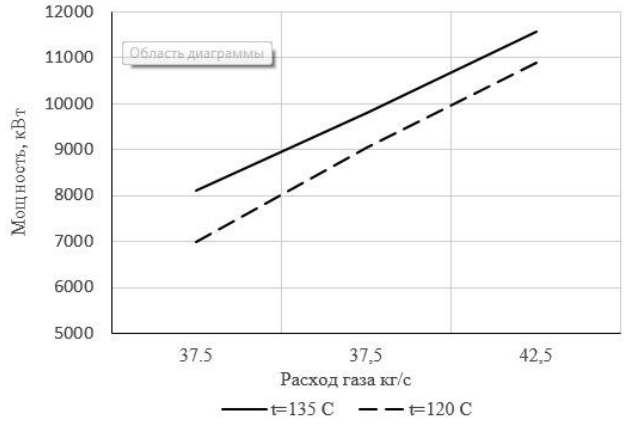
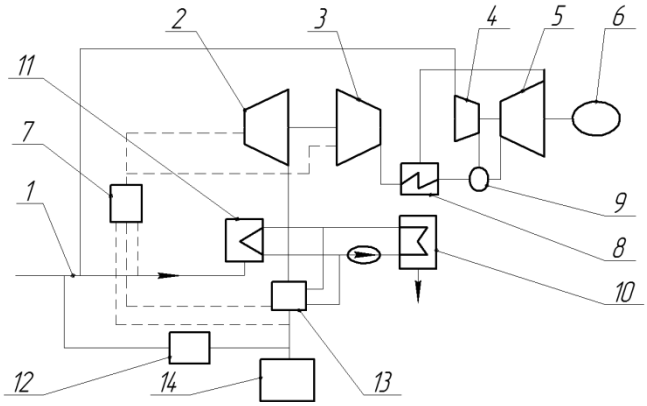


Рисунок 3 – Изменение электрической мощности ТГУ-11, установленной на ГРЭС, в зависимости от расхода газа

2 Перспективный тип энергетической газотурбодетандерной установки тепловой электрической станции

На рисунке 4 изображена принципиальная тепловая схема предлагаемой регенеративной энергетической газотурбодетандерной установки, которая может быть применена на мощных теплоэлектроцентралях с большим потреблением топливного природного газа.



1 – трубопровод газа высокого давления, 2 – турбодетандер, 3 - компрессор, 4 – дожимной газовый компрессор, 5 – газовая турбина, 6 – электрогенератор, 7 – автоматизированная система управления (АСУ ТП), 8 - регенеративный воздухоподогреватель, 9 - камера сгорания, 10 – утилизационный теплообменник, 11 – подогреватель газа, 12 – ГРП, 13 – подогреватель газа низкого давления, 14 - тепловая электрическая станция.

Рисунок 4 – Принципиальная схема регенеративной газотурбодетандерной энергетической установки

Одним из основных факторов, сдерживающих применение турбодетандерных энергоагрегатов на мощных тепловых электростанциях, является их небольшая электрическая мощность, как правило, меньшая 1% мощности, генерируемой турбоагрегатами ТЭС. На наш взгляд, для повышения электрической мощности турбодетандерных энергоагрегатов целесо-

образно применение на ТЭС комбинированных газотурбодетандерных установок. При этом природный газ с давлением 1,1 – 0,8 МПа подается на ГРП 12 тепловой электрической станции и в подключенную параллельно ГРП регенеративную газотурбодетандерную энергетическую установку, связанную с газопроводом низкого давления, подающим газ в горелки котельных агрегатов ТЭС. Эта установка включает турбодетандер 2, соединенный валом с компрессором 3, который соединен по сжатому воздуху через регенеративный воздухоподогреватель 8 и камеру сгорания 9 с газовой турбиной, приводящей электрогенератор 6 и дожимной газовый компрессор 4. Теплота выхлопных газов газовой турбины используется в регенеративном воздухоподогревателе для подогрева сжатого перед камерой сгорания и для подогрева теплоносителя (воды) в утилизационном теплообменнике 10. Нагретая в нем вода подается в подогреватель газа 11 и используется для подогрева газа высокого и низкого давления перед турбодетандером. Дожимной газовый компрессор 4 подает сжатый топливный газ в камеру сгорания 8.

Рассматривается возможность использования предложенной регенеративной газотурбодетандерной энергетической установки на одной из мощных ГРЭС с применением турбодетандерной установки ТГУ-11. При расчетном анализе характеристик установки этого типа использованы следующие формулы (1) – (3): удельная полезная работа компрессора, газовой турбины регенеративной газотурбинной установки и дожимного газового компрессора рассчитывается по известным выражениям [5].

(1) $$L_к = \frac{k_в - 1}{k_в} R_в T_{1в} \left\{ \pi^{\frac{к_в - 1}{к_в}} - 1 \right\} \eta_к ,$$

(2) $$L_{гт} = \frac{k}{k - 1} R\, T_3 \left\{ 1 - \frac{1}{\pi_{гт}^{\frac{k_в - 1}{k}}} \right\} \eta_{гт} ,$$

(3) $$L_{дгк} = \frac{k_г - 1}{k_г} Z R_г T_{1г} \left\{ \pi_{дгк}^{\frac{к_г - 1}{к_г}} - 1 \right\} \eta_{дгк} .$$

Индексы «в» и «г» в формулах соответствуют воздуху и природному газу, индексы «гт» и «дгк» показателям газовой турбины и дожимного газового компрессора. На рисунках 5, 6 и 7 приведены данные, характеризующие основные показатели рабочих процессов в регенеративной газотурбодетандерной энергетической установке (ГТДУ). Расчеты проведены при температуре перед газовой турбиной T_3=1200^{0}С и степенях сжатия воздуха в компрессоре - 6, 8, 10.

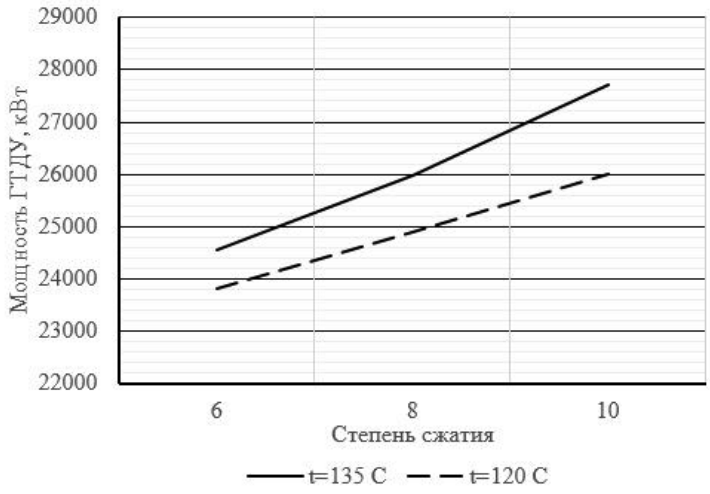


Рисунок 5 – Влияние степени сжатия в компрессоре π_k на электрическую мощность регенеративной газотурбодетандерной энергетической установки ($P_г$ =1,1 МПа)

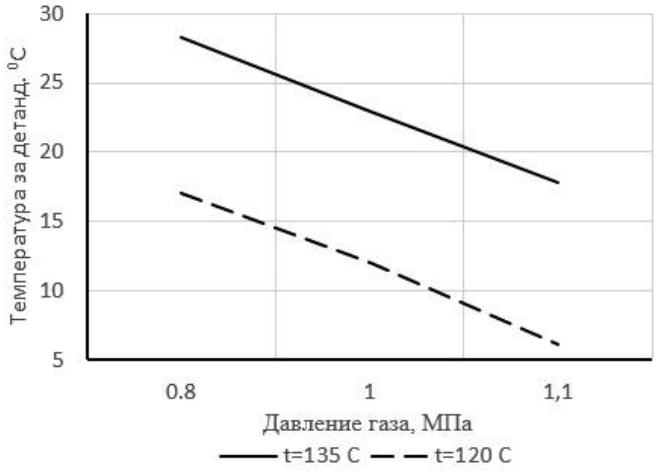


Рисунок 6 – Характер изменения температуры газа за турбодетандером $T_{2г}$ в зависимости от начальных давления $P_{1г}$ и температуры $T_{1г}$

Относительный расход газа через турбодетандер определяется по выражению $\bar{G} = \sqrt{\frac{T_{1н}}{T_1}} \sqrt{\frac{p_1^2 - p_2^2}{p_{1н}^2 - p_{2н}^2}}$, где $P_{1н}$, $P_{2н}$, $T_{1н}$ - соответственно номинальные начальное и конечное давления и начальная температура газа; P_1, P_2, T_1 – параметры газа на переменных режимах работы турбодетандера.

Электрическая мощность турбодетандерной энергетической установки на переменных режимах ее работы $N_{ТД} = G_{1t} \cdot \bar{G} \cdot L_{ТД} \cdot \eta_{0i} \cdot \eta_{ЭМ}$, где G_{1t} - номинальный расход газа, кг/с, $L_{ТД}$, η_{0i}, $\eta_{ЭМ}$ - соответственно, изоэнтропийный теплоперепад, относительный внутренний КПД, электромеханический КПД турбодетандерной энергетической установки.

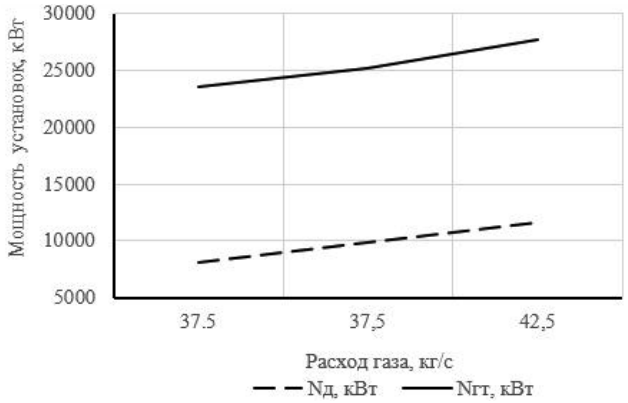


Рисунок 7 – Влияние расхода газа в турбодетандере на электрическую мощность газотурбодетандерной энергетической установки и газовой утилизационной турбины ТГУ-11 при давлении газа $P_г$ =1,1 МПа

Заключение

Приведенные результаты сравнительного расчета и анализа двух типов газотурбодетандерных установок показал, что регенеративная газотурбодетандерная энергетическая установка, использующая тот же турбодетандер, что и в ТГУ-11 при том же давлении газа и его температуре перед турбодетандером имеет в 2,5 раза большую электрическую мощность, чем газовая утилизационная турбина ТГУ-11. При работе этой установки с температурой газа перед турбодетандером в 135^0С и при степени повышения давления в компрессоре π_k = 10 электрический КПД регенеративной газотурбодетандерной энергетической установки достигает 67 %, что значительно выше чем КПД самых экономичных парогазовых установок. Также важно, что эта установка включается по газу высокого давления параллельно ГРП станции и не влияет на его работу.

Примененная в предлагаемой установке автоматизированная система управления технологическими процессами (АСУ ТП) обеспечивает кроме традиционных для ТЭС функциональных задач специфическую функцию управления сопловыми направляющими лопатками турбодетандера и воздушного компрессора, согласовывая углы их поворота в соответствии с расходами, температурой и давлением газа перед турбодетандером с обеспечением требуемых давления и температуры газа подаваемого в котлоагрегаты ТЭС. Этим обеспечивается гибкость установки при изменениях режимов работы и выработки электроэнергии. При этом, в случаях плановых отключений установки, а также в аварийных ситуациях, подача газа на ТЭС через турбодетандер прекращается, а подвод газа в котлоагрегаты станции производится по параллельной линии через ГРП с поддержанием требуемого давления обычным штатным регулятором давления ГРП.

Список литературы

[1] Соловьев Р.В. Определение эффективности детандер-генераторных агрегатов при использовании вторичных энергетических ресурсов промышленных предприятий (www.Dissercat.com)
[2] Архарова А.Ю. Разработка и анализ систем подогрева газа в детандер-генераторных установках (www.Dissercat.com)
[3] Современное состояние применения турбодетандеров на газопотребляющих промышленных объектах (www.rosteplo.ru)
[4] Газовая утилизационная турбина типа ТГУ-11 (www.utz.ru/cgi-bin/catalog/viewgroup)
[5] Методические указания по проведению теплотехнических и газодинамических расчетов при испытаниях газотурбинных газоперекачивающих агрегатов // ОАО «Газпром», 1999.

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ВЫЯВЛЕНИЯ ГРУПП ВОЗДУШНЫХ ОБЪЕКТОВ НА ОСНОВЕ НЕОПРЕДЕЛЁННЫХ КОЛИЧЕСТВЕННЫХ И КАЧЕСТВЕННЫХ ДАННЫХ

А.А. Липатов[1], В.А. Бугаков[2]

[1]АО «Концерн «Вега»
121170, Москва, Кутузовский проспект, 34, Россия
alexey.lipatov75@mail.ru
тел: +7 (499) 753-40-04, факс: +7 (495) 933-15-63

[2]«Московский физико-технический институт (государственный университет)»
141701, Московская обл., г. Долгопрудный, Институтский пер., 9, Россия

Ключевые слова: *группирование, качественные данные, неопределённые данные, недоопределённые вычисления, многозначная логика, теория графов*

Abstract

In this paper the methods of groups of areal objects detection are considered. These methods are based on uncertain estimates of objects quantitative and qualitative attributes. Showed that the joint using of quantitative and qualitative attributes allow preventing the mistaken grouping of objects with incompatible qualitative attributes values.

Введение

Задача выявления групп (группирования) взаимодействующих объектов встречается во многих предметных областях, в частности, в радиолокации, информационной безопасности и др. Так, например, всё более широкое применение летательных аппаратов (ЛА), в том числе беспилотных, создаёт предпосылки для превышения пропускной способности по сопровождению воздушных объектов (ВО) в системах управления воздушным движением. В настоящее время в таких системах важнейшие функции анализа воздушной обстановки и принятия решений в интересах обеспечения безопасности полётов, качественного и своевременного выполнения полётных заданий и др. возложены на людей-операторов. Возможности операторов по сопровождению ВО ограничены, и крайне нежелательно перегружать их информацией о ВО. Один из способов сокращения объёма информации о ВО, предъявляемой операторам, основан на том, что ряд задач решается ЛА в составе групп. При этом состав групп и взаимное расположения ЛА в них длительное время остаётся неизменным. Благодаря этому такие группы в процессе сопровождения можно рассматривать как единый объект. Таким образом, операторам систем сопровождения может предъявляться информация об одном групповом ВО вместо информации о нескольких одиночных объектах. Этим обусловлена актуальность разработки и исследования методов выявления групп (группирования) ВО.

В настоящее время в качестве основных признаков, по которым несколько ВО относят к одной группе используются их близость в пространстве, а также совпадение скоростей и курсов ВО [1-4]. Кроме того могут использоваться их качественные признаки, такие как государственная принадлежность, класс, тип и др. Применяются различные показатели близости ВО в пространстве их признаков и критерии группирования. Часть из них основана на допущении о том, что имеются точные (определённые) оценки признаков объектов [1-4]. Однако на практике оценки пространственных координат ВО, их курсов и скоростей являются неопределёнными вследствие ошибок измерения. Сведения о качественных признаках ВО также могут быть неопределёнными.

Широкое применение для группирования объектов в условиях неопределенности нашли подходы нечеткой логики, нечеткой кластеризации, гранулярных вычислений [5-8]. Используются также генетические алгоритмы [9], нейронные сети [10], недоопределённые вычисления [11-13] и другие подходы из области искусственного интеллекта. Некоторые из них могут применяться и для группирования ВО. В частности, в [12, 13] были предложены методы группирования ВО на основе интервальных оценок их количественных признаков с использованием априорно заданных пороговых значений близости. Особенностью этих методов является явный учёт неопределённости признаков объектов в процессе группирования и формирование результата в виде групп двух видов: достоверных и возможных.

Исследование этих методов показало, что при использовании различных критериев принадлежности пары объектов к одной группе по расстоянию между ними при заданном пороге расстояния существует значение дальности до объектов, превышение которого приводит к неразличимости градаций достоверной и возможной принадлежности пары ВО к одной группе [14]. Это объясняется тем, для оценки пространственного положения ВО используются их угловые координаты. Ошибка измерения угловых координат не зависит от дальности до объекта. Следовательно, с увеличением дальности она приводит к увеличению ошибок оценивания линейного расстояния между объектами. Когда ошибка оценивания линейного расстояния между объектами превышает порог достоверного группирования, такие объекты, как бы близко друг к другу они не находились, могут быть сгруппированы только по критерию возможной принадлежности к одной группе.

Таким образом, рассматриваемые методы группирования на больших дальностях целесообразно применять с достаточно большими порогами расстояния между парой объектов. Это позволяет выявлять группы с менее плотным расположением объектов. В то же время для предотвращения ложного группирования особое значение приобретает использование качественных признаков ВО. В связи с этим актуальной является задача исследования возможности применения для группирования ВО методов, основанных на использовании неопределённых качественных признаков [15].

Целью данной работы является исследование применения разработанных ранее методов выявления групп взаимодействующих объектов на основе неопределённых количественных и качественных данных к задаче группирования ВО.

В работе проводится анализ таких методов, рассматривается программный комплекс моделирования процессов группирования ВО, приводятся результаты моделирования, показывающие, что совместный учёт количественных и качественных признаков ВО позволяет исключить ошибочное объединение сблизившихся групп ВО с несовпадающими качественными признаками.

1 Методы группирования воздушных объектов на основе неопределённых данных

Рассмотрим некоторые методы группирования объектов на основе их неопределённых количественных и качественных признаков. В процессе группирования каждый объект представляется набором своих признаков $\left\langle {}^*x_1, {}^*x_2, ..., {}^*x_k, {}^*x_{k+1}, ..., {}^*x_n \right\rangle$, где ${}^*x_i$, $i = \overline{1,k}$ – его количественные признаки, а ${}^*x_i$, $i = \overline{k+1,n}$ – качественные признаки.

Для каждого признака ${}^*x_i$, $i = \overline{1,n}$ может быть задано условие ${}^*Cr_i({}^*x_{pi}, {}^*x_{qi})$, необходимое, но не достаточное для отнесения пары объектов p и q к одной группе. При этом с учётом неопределённости оценок признаков ${}^*x_i$ можно сказать, что ${}^*Cr_i({}^*x_{pi}, {}^*x_{qi})$ либо выполняется, либо не выполняется, либо возможно выполняется [12, 15].

Тогда критерий принадлежности пары объектов p и q к одной группе ${}^*Cg(p,q)$ можно сформулировать следующим образом.

Если существует $i \in \{1,2,...,n\}$, для которого ${}^*Cr_i({}^*x_{pi}, {}^*x_{qi})$ не выполняется, то объекты p и q не принадлежат к одной группе.

Если не существует $i \in \{1,2,...,n\}$, для которого ${}^*Cr_i({}^*x_{pi}, {}^*x_{qi})$ не выполняется, но существует $i \in \{1,2,...,n\}$, для которого ${}^*Cr_i({}^*x_{pi}, {}^*x_{qi})$ возможно выполняется, то объекты p и q возможно принадлежат к одной группе.

Если для любого $i \in \{1,2,...,n\}$ условие ${}^*Cr_i({}^*x_{pi}, {}^*x_{qi})$ выполняется, то p и q достоверно принадлежат к одной группе.

Способ представления неопределённых количественных признаков и варианты условий ${}^*Cr_i({}^*x_{pi}, {}^*x_{qi})$ для них рассмотрены в [12-14]. Каждый количественный признак ${}^*x_{pi}$, $i = \overline{1,n}$ может быть представлен интервалом с нижней границей $x_{pi\text{н}} = \hat{x}_{pi} - \Delta x_{pi}$ и верхней границей $x_{pi\text{в}} = \hat{x}_{pi} + \Delta x_{pi}$, где $\hat{x}_{pi} = x_{pi} + \xi_{pi}$ – текущая оценка данного признака ВО p (число), ξ_{pi} – ошибка его измерения, $\Delta x_{pi} = 3\sigma_{pi}$, σ_{pi} – среднеквадратичное отклонение величины ξ_{pi}. Предполагается, что модули разностей значений одноимённых признаков пары непосредственно взаимодействующих в составе группы ВО p и q не превышают некоторых априорно заданных порогов ε_i, $i = \overline{1,n}$ [2].

Для качественных признаков ${}^*x_i$, $i = \overline{k+1,n}$ определены конечные множества их возможных значений A_i, а их текущими значениями являются множества $B_i \subseteq A_i$. При $|B_i| = 1$ значение ${}^*x_i$ известно точно, а случай, когда $|B_i| = |A_i|$ соответствует полной неопределённости [15].

На основе качественных признаков могут выявляться однородные группы, в которых значения всех одноимённых качественных признаков всех объектов совпадают, и неоднородные группы, в которых значения одноимённых качественных признаков могут не совпадать, однако должны удовлетворять априорно заданным допустимым сочетаниям значений данных признаков.

Условие принадлежности пары объектов p и q к однородной группе по качественному признаку ${}^*x_i$, $i = \overline{k+1,n}$ формулируется следующим образом.

Если $B_{pi} \cap B_{qi} = \varnothing$, то ${}^*Cr_i({}^*x_{pi}, {}^*x_{qi})$ не выполняется.

Если $|B_{pi}| > 1$ и (или) $|B_{qi}| > 1$ и $B_{pi} \cap B_{qi} \neq \varnothing$, то ${}^*Cr_i({}^*x_{pi}, {}^*x_{qi})$ возможно выполняется.

Если $|B_{pi}| = |B_{qi}| = 1$ и $B_{pi} = B_{qi}$, то ${}^*Cr_i({}^*x_{pi}, {}^*x_{qi})$ достоверно выполняется.

Условие принадлежности пары объектов p и q к неоднородной группе по качественному признаку ${}^*x_i$, $i = \overline{k+1,n}$ формулируется следующим образом.

Для i-го признака объектов задаются допустимые сочетания значений D_{ij}, $j \in \{1,2,...,m_i\}$ в группе.

Если $B_{pi} \cap D_{ij} = \varnothing$ и (или) $B_{qi} \cap D_{ij} = \varnothing$, $j = \overline{1,m_i}$, то ${}^*Cr_i({}^*x_{pi}, {}^*x_{qi})$ не выполняется.

Если существует $j \in \{1,2,...,m_i\}$ такой, что $B_{pi} \cap D_{ij} \neq \varnothing$ и $B_{qi} \cap D_{ij} \neq \varnothing$ и $B_{pi} \not\subset D_{ij}$ и (или) $B_{qi} \not\subset D_{ij}$, то ${}^*Cr_i({}^*x_{pi}, {}^*x_{qi})$ возможно выполняется.

Если существует $j \in \{1,2,...,m_i\}$ такой, что $B_{pi} \subseteq D_{ij}$ и $B_{qi} \subseteq D_{ij}$, то ${}^*Cr_i({}^*x_{pi}, {}^*x_{qi})$ достоверно выполняется.

С использованием критерия ${}^{*}Cg(p,q)$ выявление групп объектов осуществляется на основе их представления в виде двух графов G_r и G_p, вершины которых соответствуют объектам. Рёбра графа G_r обозначают достоверную принадлежность пар объектов к одной группе, а рёбра графа G_p – достоверную или возможную [12]. Достоверным группам объектов соответствуют связные компоненты графа G_r, а возможным – связные компоненты графа G_p, которые выделяются с помощью алгоритма поиска в глубину [16].

2 Компьютерное моделирование процесса группирования воздушных объектов

Для обеспечения разработки, исследования и совершенствования методов и алгоритмов группирования ВО был создан программный комплекс (ПК), схема которого представлена на рисунке 1. ПК реализует моделирование воздушной обстановки, наблюдение за ВО и их сопровождение, группирование ВО и отображение результатов группирования.

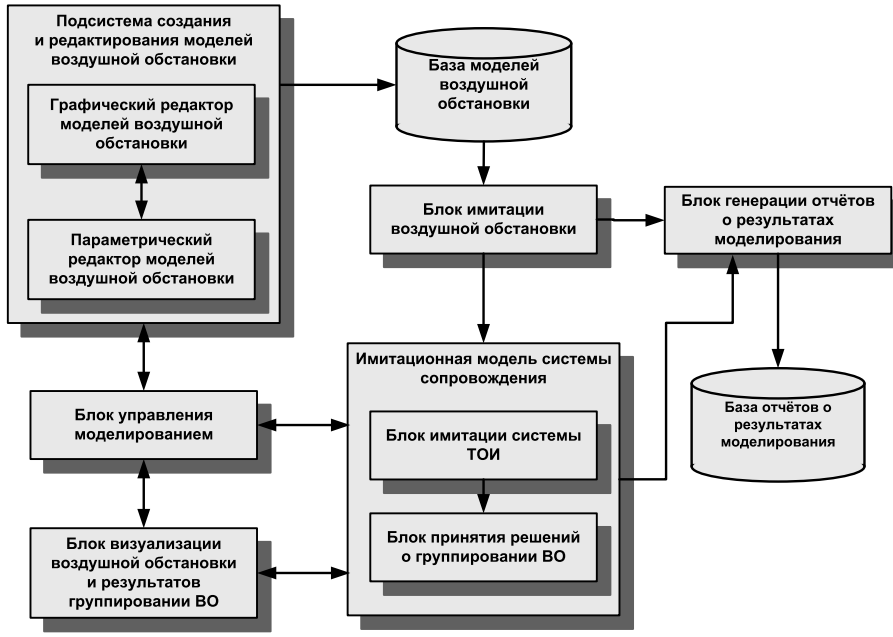


Рисунок 1 – Структура программного комплекса моделирования процесса группирования ВО

В состав ПК входят следующие основные компоненты:

- подсистема создания и редактирования моделей воздушной обстановки в составе параметрического и графического редакторов;
- база моделей воздушной обстановки;
- блок управления моделированием;
- блок имитации воздушной обстановки;
- имитационная модель системы сопровождения в составе блока имитации системы третичной обработки информации (ТОИ), блока принятия решений о группировании ВО;
- блок визуализации воздушной обстановки и результатов группирования;
- блок генерации отчетов о результатах моделирования;
- база отчетов о результатах моделирования.

С помощью данного ПК проводилось компьютерное моделирование процесса группирования ВО. При этом использовались следующие признаки ВО:

- полярные координаты в горизонтальной плоскости;
- прямоугольные координаты в горизонтальной плоскости;
- государственная принадлежность;
- класс.

На рисунке 2 представлен один из примеров проведённого моделирования. Пара объектов ВО1 и ВО2 совершает полёт в составе группы, объект ВО3 выполняет полёт самостоятельно. На рисунке 2 слева показан результат группирования ВО только по количественным признакам (координатам в пространстве). При временном сближении всех трёх объектов они ошибочно определяются как одна группа. На рисунке 2 справа показан результат группирования ВО координатам в пространстве и классу. Класс объекта ВО3 несовместим с классами объектов ВО1 и ВО2, и объединения всех трёх объектов в группу не происходит.

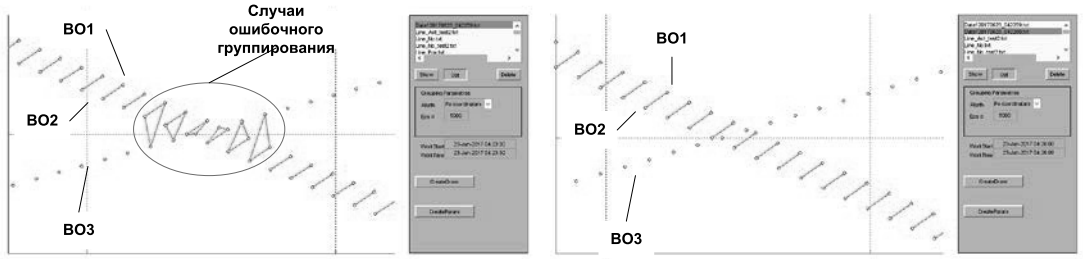


Рисунок 2 – Примеры группирования трёх ВО.

Заключение

В работе рассматривались методы выявления групп взаимодействующих ВО на основе их неопределённых количественных и качественных признаков. Ранее было показано, что при использовании пороговых критериев принадлежности пары объектов к одной группе по расстоянию между ними существует значение дальности до объектов, при превышении которого ошибка оценивания расстояния становится больше порога группирования. Это приводит к невозможности принятия достоверного решения о принадлежности данных объектов к одной группе. Увеличение порога группирования, в свою очередь, повышает вероятность принятия ошибочного решения.

В данной работе был создан программный комплекс для моделирования процессов группирования ВО, реализующий метод группирования ВО на основе неопределённых количественных и качественных признаков. Проведённое с его помощью исследование показало, что совместное использование количественных и качественных признаков ВО позволяет в ряде случаев исключить ошибочное объединение сблизившихся групп ВО с несовпадающими качественными признаками.

Рассмотренные методы группирования ВО могут применяться в системах сопровождения при наличии информации пространственных координатах, курсе и скорости объектов, а также их классе, типе и других качественных признаках. Алгоритм выявления групп имеет временную сложность порядка $O(n^2)$, где n – число объектов.

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект №16-29-04260-«офи_м»).

Список литературы

[1] Фарина А., Студер Ф. Цифровая обработка радиолокационной информации. – М.: Радио и связь. 1993.

[2] Кирсанов А.П., Сорвенков О.С., Сузанский Д.Н. Методы обработки радиолокационной информации при сопровождении компактных групп воздушных объектов // Радиотехника. – 1996, №10. С. 102-108.

[3] Горощенко Л.Б. Методы координированного наведения и атаки несколькими истребителями группы самолётов противника. // Полёт. – 2000, №6. С. 32-36.

[4] Вахненко, В.А., Матвеев, П.А., Цишук, А.А. Группирование воздушных целей. / В.А. Вахненко, П.А. Матвеев, А.А. Цишук // Успехи современной радиоэлектроники. – 2014, №3. С. 11 – 13.

[5] Witold Pedrycz, Andrzej Bargiela. An Optimization of Allocation of Information Granularity in the Interpretation of Data Structures: Toward Granular Fuzzy Clustering// IEEE Trans. Syst., Man. And Cybern. B. 2012. vol. 42. no. 3. pp. 582–590.

[6] Jian-Ping Mei, Lihui Chen. A Fuzzy Approach for Multitype Relational Data Clustering// IEEE Trans. Fuzzy Syst. 2012. vol. 20, no. 2. pp. 358–371.

[7] Degang Chen, Lei Zhang, Suyun Zhao, Qinghua Hu, Pengfei Zhu. A Novel Algorithm for Finding Reducts With Fuzzy Rough Sets// IEEE Trans. Fuzzy Syst. 2012. vol. 20. no. 2. pp. 385–389.

[8] Ahmed Chamseddine Ben Abdallah, Hichem Frigui, Paul Gader. Adaptive Local Fusion With Fuzzy Integrals // IEEE Trans. Fuzzy Syst. 2012. vol. 20. no. 5. pp. 849–864.

[9] R. Lewis, E. Pullin. Revisiting the Restricted Growth Function Genetic Algorithm for Grouping Problems // Evol. Comput.2011. vol. 19. no. 4. pp. 693–704.

[10] Bahadir Karasulu, Serkan Balli. Image Segmentation Using Fuzzy Logic, Neural Networks and Genetic Algorithms: Survey and Trends // Mach. Graph. and Vision. 2010.vol. 19. no. 4. pp. 367–409.

[11] Нариньяни А.С. Недоопределенность в системе представления и обработки знаний // Изв. АН СССР. Техн. кибернетика, 1986. № 5. С. 3–28.

[12] Липатов А.А. Метод и алгоритм формирования групп наблюдаемых воздушных объектов с неточными координатами состояния. // Радиотехника. 2011. №8. С. 80–83.

[13] Верба В.С., Липатов А.А., Федисов А.Н. Выявление групп воздушных объектов с учетом неопределенности их координат состояния. // Успехи современной радиоэлектроники. 2014. №1. С. 24–29.

[14] Никитина М.В., Липатов А.А. Исследование алгоритмов выявления групп воздушных объектов на основе неопределённых данных / «Перспективные системы и задачи управления»: материалы Одиннадцатой Всероссийской научно-практической конференции и Седьмой молодёжной школы-семинара «Управление и обработка информации в технических системах»; Южный федеральный университет. – Ростов-на-Дону: Издательство Южного федерального университета, 2016. Т. 1. – 2016. – С. 7-14.

[15] Липатов А.А., Ушаков В.Н., Никитина М.В. Методы выявления однородных и неоднородных групп объектов на основе неопределённых качественных данных. // Труды СПИИ РАН. 2016. Вып. 4(47). С. 130-143.

[16] Ахо А., Хопкрофт Дж., Ульман Дж. Построение и анализ вычислительных алгоритмов: Пер. с англ. М.: Мир, 1979. 536 с.

ВЕКТОРНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ В СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ: УСЛОВИЯ ОПРЕДЕЛЕННОСТИ И НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

Ю.К. Машунин

Дальневосточный федеральный университет
690091, Владивосток, Океанский проспект, 19, Россия
machunin@mail.ru тел: +7 (423)231-63-30

Ключевые слова: *Векторная оптимизация, Моделирование технических систем, Оптимальное принятие решения при заданном приоритете критерия.*

Abstract

In work the composite technical system (TS) is presented as a vector problem of mathematical programming. Criteria (characteristics) of the TS are formed in the conditions of a certainty (the functional dependence of each characteristic and restrictions from parameters is known) and in the conditions of uncertainty (there is no sufficient information on the functional dependence of each characteristic from parameters). In the constructed mathematical model of technical system, using methods of the regression analysis, criteria in the conditions of uncertainty will be transformed to certainty conditions. The vector problem – model of the composite of the TS - is solved on the basis of a normalization of criteria and the principle of the guaranteed result at equivalent criteria and the given priority of criterion. At the solution of a vector problem with a criterion priority the Designer enters the size of criterion which characterizes the TS. The methodology of a research, model operation and the systemic choice of optimum parameters at projection of technical systems is illustrated on a numerical example of model of technical system, in the form of a vector problem of non-linear programming with four criteria and the given priority of one of them. Geometrical interpretation of the received optimal solution in physical and relative units is presented.

Введение

Под сложной технической системой понимается система, функционирование которой зависит от конструктивных параметров, с одной стороны, а с другой, выходными характеристиками, определяющими ее деятельность. Выбор оптимальных параметров технической системы в зависимости от ее функциональных характеристик является основной задачей системы автоматизированного проектирования (САПР), [1]. Одно из направлений проектирования связано с созданием математических моделей сложных технических систем. На основе таких моделей проводится исследование, моделирование и выбор оптимальных параметров технических систем. Такое направление исследований значительно сокращает сроки проектирования и повышает качество создаваемых сложных систем. Проблеме математического моделирования сложных технических систем, как составной части системы автоматизированного проектирования уделяется большое внимание, как в России [2-12], так и за рубежом в теоретических и прикладных аспектах [14 - 20].

Функционирование технической системы определяется характеристиками, которые функционально зависят от параметров системы. Как правило улучшение по одной из этих характеристик приводит к ухудшению другой. Встает проблема определения таких параметров, которые бы улучшали все функциональные характеристики сложной технической системы в совокупности. Эти задачи решаются в настоящее время, как на экспериментальном, так и на математическом (модельном) уровне. Математическая модель в этом случае формируется в виде векторной (многокритериальной) задачи математического программирования. Векторный

критерий такой задачи определяет характеристики технической системы [5 - 12]. В работах [9, 10] представлена организация работ в САПР как концепция, которая представляет систему взглядов на проблему автоматизации проектирования. Организация работ по оптимальному проектированию технической системы. На развитие этой концепции направлена работа.

Цель данной работы состоит в создании методологии построения математической модели сложной технической системы в виде векторной задачи математического программирования. Решения векторной задачи в условиях определенности и неопределенности в совокупности. Исследования, моделирования и системного выбора оптимальных параметров при проектировании сложных технических систем из всего допустимого множества параметров. При моделировании мы используем методы решения при равнозначных критериях и с заданным приоритетом критерия.

Для реализации поставленной цели, в работе представлено построение модели сложной технической системы в виде векторной задачи математического программирования с условиями определенности и неопределенности. Показана методология преобразования математической модели технической системы с условиями неопределенности, используя методы регрессионного анализа, в условия определенности. Реализация принятия решений (т.е. выбор оптимальных параметров технической системы) при равнозначных критериях. Реализация принятия решений при заданном приоритете критерия, *т. е. выбор любой оптимальной точки из множества Парето.* Мы разработали программное обеспечение для решения векторных задач с равнозначными критериями и с заданным приоритетом критерия. Методология моделирования проиллюстрирована на численном примере модели технической системы, в виде векторной задачи нелинейного программирования реализованной в системе *Matlab* [13]. Методология имеет системный характер и может быть использована как для сложных технических, так и экономических задач [2, 8].

1 Математическая модель сложной системы в условиях определенности и неопределенности

При построении математической модели технической системы (3)-(6) возможны условия: определенности и неопределенности [3, 7, 9, 10, 13].

Условия определенности характеризуются тем, что известна функциональная зависимость каждой характеристики и ограничений от параметров технической системы [7, 9, 13].

Условия неопределенности характеризуются тем, что отсутствует достаточная информация о функциональной зависимости каждой характеристики и ограничений от параметров [3, 7, 10].

В реальной жизни условия определенности и неопределенности совмещаются. Модель технической системы так же должна отражать эти условия. Мы представим модель технической системы в условиях определенности и неопределенности в совокупности [3]:

(1) $Opt\, F(X) = \{\mathbf{max}\, F_1(X) = \{\mathbf{max}\, f_k(X), k = \overline{1, K_1^{def}}\}$,

(2) $\mathbf{max}\, I_1(X) \equiv \{\mathbf{max}\{f_k(X_i, i=\overline{1, M})\}^{\mathrm{T}}, k=\overline{1, K_1^{unc}}\}$,

(3) $\mathbf{min}\, F_2(X) = \{\mathbf{min}\, f_k(X), k = \overline{1, K_2^{def}}\}$,

(4) $\mathbf{min}\, I_2(X) \equiv \{\mathbf{min}\{f_k(X_i, i=\overline{1, M})\}^{\mathrm{T}}, k=\overline{1, K_2^{unc}}\}\}$,

(5) при ограничениях $G(X) \le B$,

(6) $x_j^{\min} \le x_j \le x_j^{\max}, j = \overline{1, N}$,

где $X = \{x_j, j=\overline{1, N}\}$- вектор управляемых переменных (конструктивных параметров);

$F(X)=\{F_1(X)\ F_2(X)\ I_1(X),\ I_2(X)\}$ - векторный критерий, каждая компонента которого представляет вектор критериев (характеристик) технической системы (2), которые функционально зависят от дискретных значений вектора переменных X; $F_1(X)$, $F_2(X)$ - множество функций **max** и **min** соответственно; $I_1(X)$ и $I_2(X)$ множество матриц **max** и **min** соответственно; K_1^{def}, K_2^{def} (*definiteness*), K_1^{unc}, K_2^{unc} (*uncertainty*) множество критериев max и min сформированные в условиях определенности и неопределенности;

$F_1(X)$, $F_2(X)$ - a set of the max and min functions respectively; $I_1(X)$ и $I_2(X)$ set of matrixes of max and min respectively; K, K (definiteness), K, K (uncertainty) the set of criteria of max and min created in the conditions of definiteness and uncertainty;

в (5) $G(X) \le B$ – вектор-функция ограничений, накладываемых на функционирование системы), они могут быть представлены функциональными ограничениями: $f_k^{\min} \le f_k(X) \le f_k^{\max}$, $k=\overline{1,K}$, $x_j^{\min} \le x_j \le x_j^{\max}$, $j=\overline{1,N}$ или $X^{min} \le X \le X^{max}$ – параметрические ограничения, где $x_j^{\min}$, $x_j^{\max}$, $\forall j \in \boldsymbol{N}$ - нижний и верхний пределы изменения вектора параметров технической системы.

2 Результат. Численное решение задачи моделирования и выбора оптимальных параметров сложной системы

Рассматривается задача «Численное моделирование сложной системы», в которой известны: во-первых, данные о некотором наборе функциональных характеристик (условия определенности); во-вторых, данные о некотором наборе дискретных значений нескольких характеристик (экспериментальные результаты) во взаимосвязи с дискретными значениями характеристик системы (*условия неопределенности*). Численная задача моделирования сложной системы рассматривается с равнозначными критериями и приоритетом критерия.

2.1 Техническое задание: «Выбор оптимальных параметров сложной технической системы»

(Выполняется конструктором сложной системы)

Дано. Сложная система, функционирование которой определяется четырьмя параметрами: $X=\{x_1, x_2, x_3, x_4\}$ – вектор (управляемых) переменных. Исходными данными для принятия решений являются четыре характеристики: $Y(X)=\{f_1(X), f_2(X), f_3(X), f_4(X)\}$, в которых величина оценки зависит от вектора параметров X. Для характеристики $f_2(X)$ известна функциональная зависимость от параметров X (*условия определенности*):

(7) $$f_2(X)=994.65+23.895*x_1+30.86*x_2-45.85*x_3-45.0*x_4-0.6146*x_1*x_2-0.376*x_1*x_3+0.5978*x_1*x_4-0.1027*x_2*x_3-0.2613*x_2*x_4-0.0072*x_3*x_4+0.0318*x_1^2+0.0292*x_2^2+2.5659*x_3^2+2.1166*x_4^2$$

Условия неопределенности. Для трех характеристик известны дискретные значения компонент (экспериментальные данные) $X=\{x_1, x_2, x_3, x_4\}$ с соответствующими дискретными значениями характеристик $F(X)=\{y_1(X), y_3(X), y_4(X)\}$. Числовые значения параметров X и характеристик $I(X)$ представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Числовые значения компонент и характеристик системы

x_1	x_2	x_3	x_4	$y_1(X)$	$y_3(X)$	$y_4(X)$
25	0	2.5	2.5	412.5	104.25	25.25
25	0	2.5	6.25	425.0	103.75	28.75
25	0	2.5	10	435.0	103.62	30.00
25	0	6.25	2.5	441.25	107.62	31.25
25	0	6.25	6.25	450.0	103.125	32.50
25	0	6.25	10	456.25	102.625	33.75
25	0	10	2.5	470.0	100.25	35.00
25	0	10	6.25	476.25	98.875	36.25
25	0	10	10	487.5	98.250	36.25
25	37.5	2.5	2.5	312.5	116.25	20.75

25	37.5	2.5	6.25	322.5	115.375	22.50
25	37.5	2.5	10	328.75	114.875	26.25
25	37.5	6.25	2.5	337.5	114.25	31.00
25	37.5	6.25	6.25	348.75	112.625	34.87
25	37.5	6.25	10	353.75	112.375	38.75
25	37.5	10	2.5	362.5	112.25	41.12
25	37.5	10	6.25	376.25	110.0	43.75
25	37.5	10	10	387.5	110.25	51.25
25	75	2.5	2.5	212.5	136.25	16.25
25	75	2.5	6.25	218.75	131.25	18.75
25	75	2.5	10	231.25	127.50	22.50
25	75	6.25	2.5	237.5	125.50	25.25
25	75	6.25	6.25	247.5	127.50	30.00
25	75	6.25	10	255.0	130.00	33.75
25	75	10	2.5	262.5	132.25	36.62
25	75	10	6.25	276.25	131.25	41.25
25	75	10	10	287.5	130.25	46.75
62.5	0	2.5	2.5	12.50	164.25	11.75
62.5	0	2.5	6.25	20.00	163.75	15.00
62.5	0	2.5	10	30.00	162.50	17.50
62.5	0	6.25	2.5	37.50	162.25	22.00
62.5	0	6.25	6.25	47.50	161.25	23.75
62.5	0	6.25	10	55.00	160.875	28.75
62.5	0	10	2.5	62.50	160.25	32.13
62.5	0	10	6.25	75.00	158.75	37.50
62.5	0	10	10	87.50	158.25	42.25
62.5	37.5	2.5	2.5	512.5	112.00	55.00
62.5	37.5	2.5	6.25	521.25	107.50	62.50
62.5	37.5	2.5	10	528.75	105.00	67.50
62.5	37.5	6.25	2.5	537.5	104.25	71.50
62.5	37.5	6.25	6.25	548.75	102.5	78.75
62.5	37.5	6.25	10	555.0	101.25	86.25
62.5	37.5	10	2.5	562.5	100.25	91.75
62.5	37.5	10	6.25	575.0	98.000	101.25
62.5	37.5	10	10	587.5	96.250	112.13
62.5	75	2.5	2.5	512.5	120.25	42.250
62.5	75	2.5	6.25	522.5	118.75	47.50
62.5	75	2.5	10	528.75	117.50	55.00
62.5	75	6.25	2.5	537.5	116.25	62.50
62.5	75	6.25	6.25	546.25	115.00	70.00
62.5	75	6.25	10	555.0	113.75	76.25
62.5	75	10	2.5	562.5	112.25	82.75
62.5	75	10	6.25	575.0	103.75	88.7
62.5	75	10	10	587.5	108.25	103.16
100	0	2.5	2.5	412.5	140.25	33.25
100	0	2.5	6.25	422.5	138.75	37.50
100	0	2.5	10	428.75	137.50	45.00
100	0	6.25	2.5	437.5	136.25	53.50
100	0	6.25	6.25	447.5	136.50	63.75
100	0	6.25	10	453.75	137.00	75.00
100	0	10	2.5	462.5	137.25	86.25
100	0	10	6.25	475.0	131.25	90.00
100	0	10	10	487.5	127.50	94.12
100	37.5	2.5	2.5	212.5	168.25	24.25
100	37.5	2.5	6.25	222.5	166.25	31.25
100	37.5	2.5	10	227.5	165.00	37.50
100	37.5	6.25	2.5	237.5	164.25	44.50
100	37.5	6.25	6.25	247.5	162.50	50.00
100	37.5	6.25	10	255.0	161.25	56.25
100	37.5	10	2.5	262.5	160.25	64.75
100	37.5	10	6.25	275.0	158.75	76.25
100	37.5	10	10	287.5	156.25	85.12
100	75	2.5	2.5	612.5	116.25	90.62

100	75	2.5	6.25	622.5	113.75	98.75
100	75	2.5	10	628.75	112.50	107.50
100	75	6.25	2.5	637.5	110.25	121.00
100	75	6.25	6.25	647.5	107.50	131.25
100	75	6.25	10	653.75	105.00	142.50
100	75	10	2.5	662.5	104.25	151.50
100	75	10	6.25	676.25	100.00	162.50
100	75	10	10	687.5	98.250	182.00
min *yi(X),* i=1,…, 81				12.5	96.3	11.8
max *yi(X),* i=1,…, 81				687.5	168.3	182
Index correlation				0.6115	0.6551	0.9017
Coefficient determination				0.3740	0.4292	0.8130

Параметрические ограничения изменяются в следующих пределах:

(8) $21 \le x_1 \le 86$, $9.5 \le x_2 \le 64.9$, $2.1 \le x_3 \le 9$, $2.2 \le x_4 \le 7.7$.

На параметры $X=\{x_1, x_2, x_3, x_4\}$ в совокупности накладываются линейное ограничение:

(9) $x_1 + x_2 + x_3 + x_4 = 110$.

В принимаемом решении, величину оценки по первой и третьей характеристики (критерию) желательно, получить как можно выше (max), по второй и четвертой как можно ниже (*min*). В экспериментальных исследованиях темп прироста параметров X определятся в следующими пределами: $x_1 \in [25.\ 62.5\ 100.]$; $x_2 \in [0.\ 37.5\ 75.]$; $x_3, x_4 \in [2.5\ 6.25\ 10.]$.

***Требуется*:**

1) Построить математическую модель структуры исследуемой сложной системы в виде векторной задачи математического программирования.
2) Провести моделирование: во-первых, на базе построенной математической модели, во-вторых, на базе методов решения векторной задачи нелинейного программирования при равнозначных критериях, и, в-третьих, разработанного для этих целей программного обеспечения в системе *Matlab*.
3) Принять оптимальное решение: Выбор оптимального решения системы по его функциональным характеристикам с учетом их равнозначности.
4) Выбрать оптимальное решение системы по его функциональным характеристикам с учетом приоритета третьего критерия. Величина ретьего критерия получена при моделировании технической системы [2].

2.2 Решение задачи: «Выбор оптимальных параметров сложной системы» (Методология моделирования выбора оптимальных параметров системы в условиях определенности и неопределенности)

Раздел 3.2 выполняется математиком - программистом. На стадии выбора приоритетного критерия (раздел 3.4) и его величины выполняется конструктором проектируемой системы.

Построение численной математической модели системы

Шаг 1. Построение в условиях определенности. Для построения математической модели системы в условиях определенности используем функцию $f_2(X)$, параметрические (8) и линейные ограничения (9). В итоге получили задачу оптимизации следующего вида:

(10) $max\, f_1(X)$, при ограничениях: $x_1 + x_2 + x_3 + x_4 = 100$, $21 \le x_1 \le 79$, $5 \le x_2 \le 59$, $2.1 \le x_3 \le 9$, $2.2 \le x_4 \le 7$.

Шаг 2. Построение в условиях неопределенности состоит в использовании качественных, количественных описаний материала по принципу “вход-выход” в таблице 1. Преобразование информации (исходные данные: $y_1(X)$, $y_3(X)$, $y_4(X)$) в функциональный вид $f_1(X)$, $f_3(X)$, $f_4(X)$ осуществляется путем использования математических методов (регрессионного анализа) аналогично построению технической системе [5, 11]. Числовые значения результатов регрессионного анализа представлены ниже в модели (11)-(16).

Шаг 3. Построение математической модели материала
(Общая часть для условий определенности и неопределенности)

Для построения математической модели сложной системы используем результаты: а) полученные из условий определенности – задача (1), и б) регрессионного анализа, полученные из условий неопределенности на шаге 2. Получившиеся функции $f_1(X)$, $f_2(X)$, $f_3(X)$, $f_4(X)$ рассматриваем как критерии векторной задачи. Они определяют целенаправленность функционирования системы. Множество критериев $K=4$ включают два критерия $f_1(X)$, $f_3(X)$ →max и два $f_2(X)$, $f_4(X)$ →min. В итоге модель функционирования технической системы представим векторной задачей математического программирования:

$$opt \quad F(X)=\{max \quad F_1(X)=\{max \quad f_1(X)\equiv 337.3-1.875x_1-2.911x_2+8.939x_3+10.94x_4+0.0646x_1x_2- \\ 0.0414x_1x_3-0.1130x_1x_4+0.04956x_2x_3-0.0694x_2x_4+0.0019x_3x_4+0.0095x_1^2+0.0078x_2^2-0.1622x_3^2 \\ -0.3351x_4^2\}, \tag{11}$$

$$max\, f_3(X)\equiv 99.70+0.6598x_1+0.4493x_2-0.3094x_3-1.833x_4-0.088x_1x_2-0.0055x_1x_3+0.0129x_1x_4- \\ 0.0114x_2x_3+0.107x_2x_4-0.0003x_3x_4-0.0002x_1^2-0.0002x_2^2+0.0224x_3^2+0.0826x_4^2\}, \tag{12}$$

$$min\, F_2(X)=\{min\, f_2(X)\equiv 994.65+23.895*x_1+30.86*x_2-45.85*x_3-45.0*x_4-0.6146*x_1*x_2- \\ 0.376*x_1*x_3+0.5978*x_1*x_4-0.1027*x_2*x_3-0.2613*x_2*x_4-0.0072*x_3*x_4+0.0318*x_1^2 \\ +0.0292*x_2^2+2.5659*x_3^2+2.1166*x_4^2, \tag{13}$$

$$f_4(X)\equiv 21.87-0.0081x_1-0.7x_2-0.3605x_3+0.9769x_4+0.0111x_1x_2+0.0567x_1x_3-0.0x_1x_4+0.0348x_2x_3 \\ +0.0002x_2x_4+0.0003x_3x_4-0.014x_1^2+0.0024x_2^2-0.040x_3^2-0.0207x_4^2\}\}. \tag{14}$$

(15) Параметрические ограничения: $x_1+x_2+x_3+x_4=100$.

(16) $21\le x_1\le 79$, $5\le x_2\le 59$, $2.1\le x_3\le 9$, $2.2\le x_4\le 7$.

Векторная задача математического программирования (11)-(16) представляет модель принятия оптимального решения сложной системы, т.е. выбора оптимальных параметров системы в условиях определенности и неопределенности в совокупности.

2.3 Решение векторной задачи математического программирования – модели сложной системы.
(Алгоритм 1. Решение векторной задачи с равнозначными критериями)

Решение векторной задачи (11)-(16) с равнозначными критериями представим как ряд шагов.

Шаг 1. Решается задача (11)-(16) по каждому критерию отдельно, при этом используется функция *fmincon*(…) системы *Matlab* [13], обращение к функции *fmincon*(…) рассмотрено в [6, 10, 11]. В результате расчета по каждому критерию получаем точки оптимума: X_k^* и $f_k^*=f_k(X_k^*)$, $k=\overline{1,K}$ $K=4$– величины критериев в этой точке, т. е. наилучшее решение по каждому критерию. Результат решения задачи нелинейного программирования по первому критерию (11), (15)-(16):

(17) $X_1^*=\{x_1=52.77, x_2=46.23, x_3=8.8, x_4=2.2\}, f_1^*=f_1(X_1^*)=373.84$.

Этот результат в трехмерной системе координат x_1, x_3 и $f_1(X)$ представлен на рис 1. Результат решения задачи нелинейного программирования по второму критерию (12), (15)-(16):

$X_2^*=\{x_1=43.35, x_2=55,51, x_3=8.3, x_4=2.83\}, f_2^*=f_2(X_2^*)=2736.14$

в трехмерной системе координат x_1, x_3 и $f_2(X)$ представлен на рис 2.

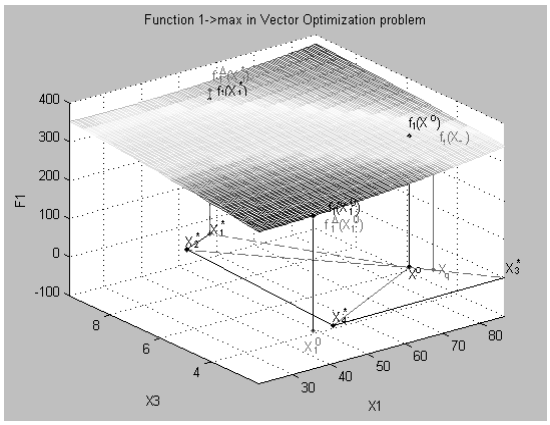


Рис. 1. Результат решения задачи (11), (15)-(16) в координатах $\{x_1, x_3$ и $f_1(X)\}$

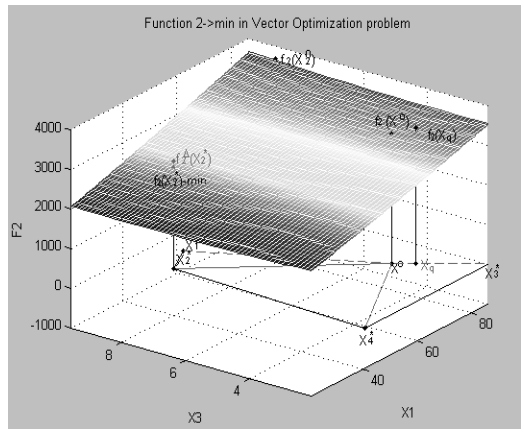


Рис. 2. Результат решения задачи (12), (15)-(16) в координатах $\{x_1, x_3$ и $f_2(X)\}$

Результат решения задачи нелинейного программирования по третьему критерию (13), (15)-(16):

$X^*_3 = \{x_1=86.9,\ x_2=13.3, x_3=2.1, x_4=7.7\}, f^*_3 = f_3(X^*_3) = 149.92$

в трехмерной системе координат x_1, x_3 и $f_3(X)$ представлен на рис 3.

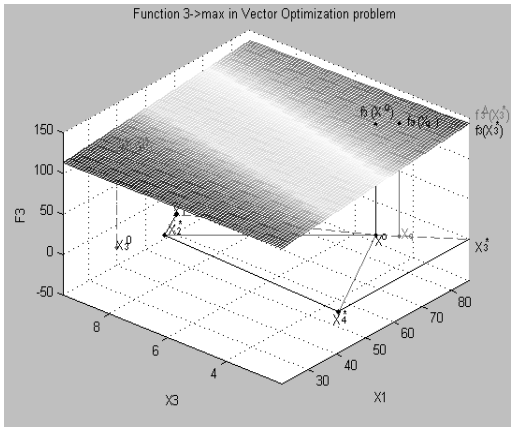


Рис. 3. Результат решения задачи (13), (15)-(16) в системе координат $\{x_1, x_3$ и $f_3(X)\}$

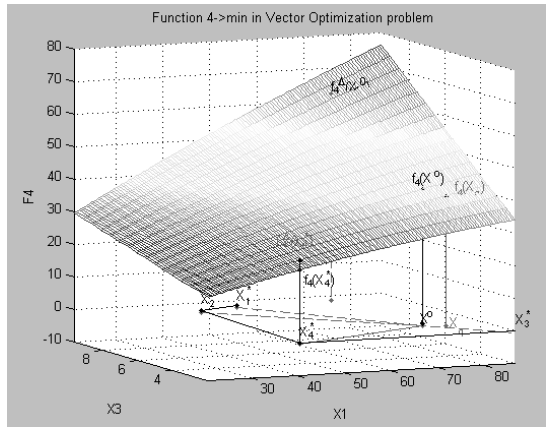


Рис. 4. Результат решения задачи (14), (15)-(16) в системе координат $\{x_1, x_3$ и $f_4(X)\}$

Результат решения задачи нелинейного программирования по 4-му критерию (14), (15)-(16):

$X^*_4 = \{x_1=40.8, x_2=64.9, x_3=2.1, x_4=2.2\}, f^*_4 = f_4(X^*_4) = 24.19$, представлен на рис 4.

Место точек оптимума $X^*_1, X^*_2, X^*_3, X^*_4$ на области ограничений (16)-(17) в координатах $\{x_1, x_3\}$ представлены на рис 5. Множество точек S^o, лежащих в области ограничений между точками $X^*_1, X^*_2, X^*_3, X^*_4$ представляют множество точек, оптимальных по Парето.

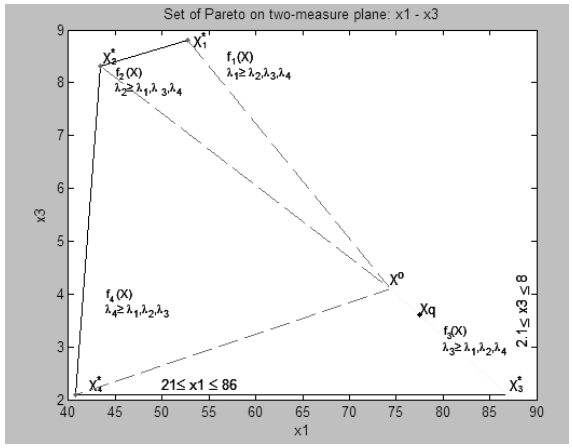


Рис. 5. Множество допустимых точек и оптимальных по Парето $S^o \subset S$ в координатах $\{x_1, x_3\}$

Шаг 2. Определяется наихудшая часть каждого критерия (антиоптимум):

$$
\begin{aligned}
&X_1^0 = \{x_1=35.3,\ \ x_2=64.9,\ x_3=2.1,\ x_4=7.7\},\ f_1^0 = f_1(X_1^0) = 295.6;\\
&X_2^0 = \{x_1=86.9,\ \ x_2=6.6,\ x_3=8.8,\ x_4=7.7\},\ f_2^0 = f_2(X_2^0) = 4301.2;\\
&X_3^0 = \{x_1=31.79,\ x_2=64.35,\ x_3=8.8,\ x_4=5.05\},\ f_3^0 = f_3(X_3^0) = 119.95;\\
&X_4^0 = \{x_1=72.9,\ \ x_2=20.6,\ x_3=8.8,\ x_4=7.7\},\ f_4^0 = f_2(X_4^0) = 63.27.
\end{aligned}
\tag{18}
$$

Полученные точки антиоптимума $X_1^0, X_2^0, X_3^0, X_4^0$ представлены на рис. 1, …, рис. 4.

Шаг 3. Выполняется системный анализ множества точек, оптимальных по Парето, (т.е. анализ по каждому критерию). В точках оптимума $X^*=\{X_1^*, X_2^*, X_3^*, X_4^*\}$ определяются величины целевых функций $F(X^*)=\left\| f_q(X_k^*) \right\|_{q=\overline{1,K}}^{k=\overline{1,K}}$, вектор отклонений $D=(d_1\ d_2\ d_3\ d_4)^{\mathrm{T}}$: $d_k=f_k^*-f_k^0$, $k=\overline{1,4}$, и матрица относительных оценок $\lambda(X^*)=\left\| \lambda_q(X_k^*) \right\|_{q=\overline{1,K}}^{k=\overline{1,K}}$, где $\lambda_k(X)=(f_k^*-f_k^0)/d_k$.

$$
F(X^*)=\begin{Vmatrix} 373.8 & 2796.9 & 123.6 & 57.1 \\ 366.3 & 2736.1 & 121.5 & 50.5 \\ 277.0 & 4071.9 & 149.9 & 31.4 \\ 315.3 & 2864.6 & 127.8 & 24.2 \end{Vmatrix},\ \mathrm{D}=\begin{vmatrix} 78.24 \\ -1565 \\ 29.96 \\ -39.1 \end{vmatrix},\ \lambda(X^*)=\begin{Vmatrix} 1.0000 & 0.9612 & 0.1217 & 0.1585 \\ 0.9037 & 1.0000 & 0.0529 & 0.3269 \\ -0.2374 & 0.1465 & 1.0000 & 0.8146 \\ 0.2513 & 0.9179 & 0.2610 & 1.0000 \end{Vmatrix}
\tag{19}
$$

Анализ величин критериев в относительных оценках показывает, что в точках оптимума $X^*=\{X_1^*, X_2^*, X_3^*, X_4^*\}$ (по диагонали) относительная оценка равна единице. Остальные критерии значительно меньше единицы. Требуется найти такую точку (параметры), при которых относительные оценки наиболее близки к единице. На решение этой проблемы направлено решение λ-задачи - шаг 4.

Шаг 4. Построение λ-задачи осуществляется в два этапа: первоначально строится максиминная задача оптимизации с нормализованными критериями:

$$
\lambda^o = \max_x \min_k \lambda_k(X),\ G(X)\le 0,\ X \ge 0,
\tag{20}
$$

которая на втором этапе преобразуется в стандартную задачу:

$$
\lambda^o = max\ \lambda,
\tag{21}
$$

$$
\lambda - \frac{f_1(X) - f_1^o}{f_1^* - f_1^o} \le 0,\ \lambda - \frac{f_3(X) - f_3^o}{f_3^* - f_3^o} \le 0,\ \lambda - \frac{f_2(X) - f_2^o}{f_2^* - f_2^o} \le 0,\ \lambda - \frac{f_4(X) - f_4^o}{f_4^* - f_4^o} \le 0,
\tag{22}
$$

(23) $x_1+x_2+x_3+x_4=100$, $0\le\lambda\le1$, $21\le x_1\le79$, $5\le x_2\le59$, $2.1\le x_3\le9$, $2.2\le x_4\le7$;

где вектор неизвестных имеет размерность $N+1$: $\boldsymbol{X}=\{x_1, \dots, x_N, \lambda\}$, значения функций $f_1(X)$, $f_3(X)$, $f_2(X)$, $f_4(X)$ соответствуют (11)-(14).

Шаг 5. Решение λ-задачи. Для этого используем функцию fmincon(…), [7]: [Xo,Lo]=fmincon('Z_Mater_4Krit_L',X0,Ao,bo,Aeq,beq,lbo,ubo,'Z_Mater_LConst').

В результате решения ВЗМП (11)-(16) при равнозначных критериях и соответствующей ей λ-задачи (21)-(23) получили:

$\boldsymbol{X^o}=\{X^o, \lambda^o\}=\{X^o=\{x_1=74.42, x_2=29.28, x_3=4.1, x_2=2.2, \lambda^o=0.5595\}$ - точку оптимума – конструктивные параметры материала, $\boldsymbol{X^o}$, представим на рис. 1 - 5;

$f_k(X^o)$, $k=\overline{1,K}$ - величины критериев (характеристик материала):

(24) $\{f_1(X^o)=332.5, f_2(X^o)=3174.2, f_3(X^o)=134.1, f_4(X^o)=44.9\}$;

$\lambda_k(X^o)$, $k=\overline{1,K}$ - величины относительных оценок

(25) $\{\lambda_1(X^o)=0.5595, \lambda_2(X^o)=0.6614, \lambda_3(X^o)=0.5595, \lambda_4(X^o)=0.5595\}$;

$\lambda^o=0.5595$– это максимальный нижний уровень среди всех относительных оценок, измеренный в относительных единицах: $\lambda^o=min(\lambda_1(X^o), \lambda_2(X^o), \lambda_3(X^o), \lambda_4(X^o), \lambda^o$ – также называют гарантированным результатом в относительных единицах, т. е. $\lambda_k(X^o)$ и соответственно характеристики материала $f_k(X^o)$ нельзя улучшить, не ухудшая при этом другие характеристики.

Заметим, что в соответствии с теоремой 2 [5], в точке $\boldsymbol{X^o}$ критерии 1, 3, 4 противоречивы. Это противоречие определяется равенством $\lambda_1(X^o)=\lambda_3(X^o)=\lambda_4(X^o)=\lambda^o=0.5595$, а остальные критерии неравенством $\{\lambda_2(X^o)\}>\lambda^o$.

2.4 Построение геометрической интерпретации результатов решения в трехмерной системе координат

В допустимом множестве точек S, образованных ограничениями (23), точки оптимума $X_1^*, X_2^*, X_3^*, X_4^*$, объединенных в контур, представляют множество точек, оптимальных по Парето, $S^o \subset S$. Координаты этих точек, а также характеристики материала в относительных единицах: $\lambda_1(X)$, $\lambda_2(X)$, $\lambda_3(X)$, $\lambda_4(X)$ показаны на рис. 6 в трех мерном пространстве: x_1, x_3 и λ, где третья ось λ - относительная оценка.

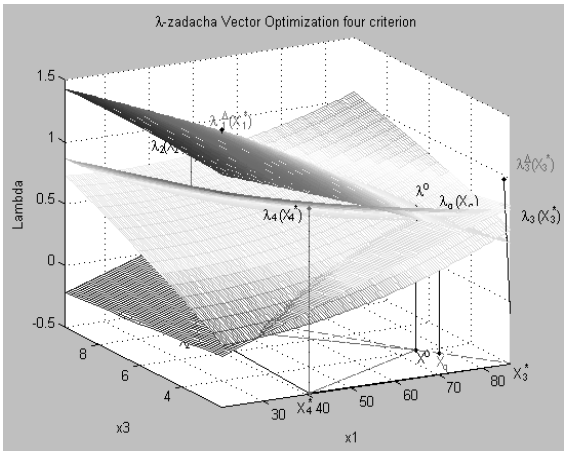


Рис. 6. Геометрическая интерпретация решения λ-задачи в системе координат x_1, x_3 и λ.

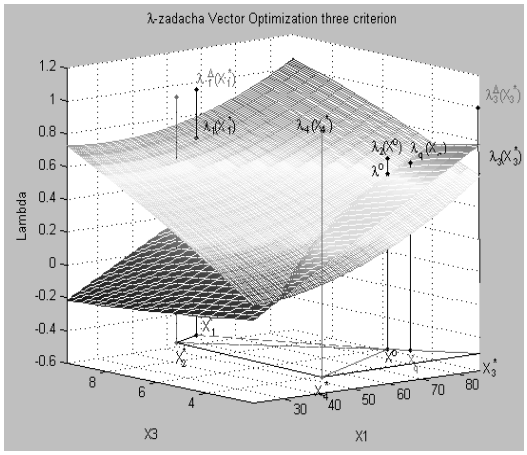


Рис. 7. Решение λ-задачи: 1, 3 критерий в координатах x_1, x_3 и λ.

Проведем анализ результатов решения векторной задачи (анализ выбора оптимального решения при равнозначных критериях – характеристиках), используя геометрическую интерпретацию. Для этого на рис. 1, 2 соединим точки: $X_1^*, X_2^*, X_3^*, X_4^*$ с точкой $\boldsymbol{X^o}$, которая условно представляет центр множества Парето. В итоге условно получили четыре подмножеств точек $X \in \boldsymbol{S}_q^o \subset \boldsymbol{S}^o \subset \boldsymbol{S}$, $q = \overline{1,4}$. Подмножество $\boldsymbol{S}_1^o \subset \boldsymbol{S}^o \subset \boldsymbol{S}$ характеризуется тем, что относительная оценка $\lambda_1 \geq \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4$, т. е. в области $\boldsymbol{S}_1^o$ первый критерий имеет приоритет над остальными (определение приоритета см. [2, 11]). Аналогично $\boldsymbol{S}_2^o$, $\boldsymbol{S}_3^o$, $\boldsymbol{S}_4^o$ - подмножества точек, где второй - четвертый критерий имеет приоритет над остальными соответственно, $\boldsymbol{S^o} = \boldsymbol{S}_1^o \cup \boldsymbol{S}_2^o \cup \boldsymbol{S}_3^o \cup \boldsymbol{S}_4^o$. Координаты всех полученных точек и относительных оценок представлены в двухмерном пространстве на рис. 5. Эти координаты показаны в трех мерном пространстве $\{x_1, x_3, \lambda\}$ *со стороны* λ^o. Ограничения множества точек, оптимальных по Парето, на рисунках опущено до -0.5 (чтобы видны ограничения). Эта информация и является основой для дальнейшего исследования структуры множества Парето.

2.5 Алгоритм 2. Решение векторной задачи с приоритетом критерия

*Лицом, принимающим решения, как правило, является конструктор материала***.**

Шаг 1. Решение векторной задачи с равнозначными критериями. Результаты решения представлены в разделе 3.1. Если результаты решения векторной задачи с равнозначными критериями не удовлетворяют лицо, принимающее решение, то выбор оптимального решения осуществляется из какого-либо подмножества точек $\boldsymbol{S}_1^o$, $\boldsymbol{S}_2^o$, $\boldsymbol{S}_3^o$, $\boldsymbol{S}_4^o$, где соответствующий критерий имеет приоритет над другими.

Шаг 2. Выбор приоритетного критерия $q \in \boldsymbol{K}$.

Из теории (Теорема 2 [5]) известно, что в оптимальной точке X^o всегда имеется два наиболее противоречивых критерия: $q \in \boldsymbol{K}$ и $v \in \boldsymbol{K}$, для которых в относительных единицах выполняется точное равенство:

$$\lambda^o = \lambda_q(X^o) = \lambda_p(X^o),\ q, v \in \boldsymbol{K}, X \in \boldsymbol{S},$$

а для остальных выполняется неравенства: $\lambda^o \leq \lambda_k(X^o)\ \ \forall k \in \boldsymbol{K}, q \neq v \neq k.$

Для выбора приоритетного критерия на дисплей выдается сообщение о результатах решения λ-задачи в натуральных и относительных единицах:

- Критерии (24) в точке оптимума X^o: $F(X^o)=\{f_1(X^o)=332.5, f_2(X^o)=3174.2, f_3(X^o)=134.1, f_4(X^o)=44.9\}$.
- Относительные оценки (25) в X^o: $\lambda(X^o)=\{\lambda_1(X^o)=0.56, \lambda_2(X^o)=0.6614, \lambda_3(X^o)=0.56, \lambda_4(X^o)=0.56\}$.

Отсюда видно (вывод), в модели сложной системы (11)-(16) и соответствующей λ-задачи (21)-(23) такими критериями являются первый, третий и четвертый:

(26) $\lambda^o=\lambda_1(X^o) = \lambda_3(X^o) = \lambda_4(X^o)=0.5595,$

Выделим из (26) и рис.6 два критерия: первый и третий и покажем на рис. 7, на их основе будем вести дальнейшее исследование.

Как правило, из пары противоречивых критериев выбирается критерий, который ЛПР хотел бы улучшить. Такой критерий называется «приоритетным критерием», обозначим его $q=3 \in \boldsymbol{K}$. Этот критерий исследуется во взаимодействии с первым критерием $k=1 \in \boldsymbol{K}$. На дисплей выдается сообщение:

q=input('Введите приоритетный критерий (номер) *q*= ') - Ввели: *q*=3.

Шаг 3. Определяются числовые пределы изменения величины приоритета критерия $q=3 \in \boldsymbol{K}$. Для приоритетного критерия $q=3 \in \boldsymbol{K}$ определяются изменения числовых пределов в

натуральных единицах при переходе из точки оптимума X^o в точку X^*_q, полученную на первом шаге при равнозначных критериях. Данные о критерии q=3 выдаются на экран:

(27) $f_q(X^o) = 136.72 \le f_q(X) \le 149.92 = f_q(X^*_q)$, $q=3 \in \boldsymbol{K}$.

В относительных единицах критерий $q=3$ изменяется в следующих пределах: $\lambda_q(X^o) = 0.5595 \le \lambda_q(X) \le 1 = \lambda_q(X^*_q)$, $q=3 \in \boldsymbol{K}$. Эти данные анализируются.

Шаг 4. Выбор величины приоритетного критерия $q \in \boldsymbol{K}$. (Decision-making).

На сообщение: «Введите величину приоритетного критерия *fq*=» - вводим, величину характеристики, определяющей функционирование системы: f_q=140.

$f_q(X^o) = 136.72 \le f_q$=140 $\le 149.92 = f_q(X^*_q)$, $q=3 \in \boldsymbol{K}$

Шаг 5. Вычисляется относительная оценка.

Для выбранной величины приоритетного критерия f_q=1500 вычисляется относительная оценка:

(28) $\lambda_q = \dfrac{f_q - f^o_q}{f^*_q - f^o_q} = \dfrac{140 - 136.72}{149.92 - 136.72} = 0.6689$,

при переходе от точки X^o к X^*_2 лежит в пределах: 0. 5595 $= \lambda_q(X^o) \le \lambda = 0.6689 \le \lambda_q(X^*_q) = 1$, $q \in \boldsymbol{K}$.

Шаг 6. Вычислим коэффициент линейной аппроксимации

Предполагая линейный характер изменения критерия $f_q(X)$ в (21) и соответственно относительной оценки (22) λ_q, используя стандартные приемы линейной аппроксимации, вычислим коэффициент пропорциональности между $\lambda_q(X^o)$, λ_q, который назовем ρ:

(29) $\rho = \dfrac{\lambda_q - \lambda_q(X^o)}{\lambda_q(X^*_q) - \lambda_q(X^o)} = \dfrac{0.6689 - 0.5595}{1 - 0.5595} = 0.2483$, $q=3 \in \boldsymbol{K}$.

Шаг 7. Вычислим координаты приоритета критериев с размерностью f_q.

Предполагая линейный характер изменения вектора $X^q=\{x_1 \; x_3\}$, q=3, определим координаты точки с размерностью *fq* =140, относительной оценкой (26):

(30) $x^{q=3}_{\lambda=0.6596} = \{x_1 = x^o(1) + \rho(x^*_q(1) - x^o(1)) \; x_2 = x^o(2) + \rho(x^*_q(2) - x^o(2))$
$x_3 = x^o(3) + \rho(x^*_q(3) - x^o(3)) \; x_4 = x^o(4) + \rho(x^*_q(4) - x^o(4))\}$,

где $X^o=\{x_1=74.42, x_2=29.28, x_3=4.1, x_4=2.2\}$, $X^*_3=\{x_1=86.9, x_2=13.3, x_3=2.1, x_4=7.7\}$.

Как результат решения (30) мы получим точку X^q с координатами:

$X^q=\{x_1=77.52, x_2=25.31, x_3=3.61, x_4=3.56\}$

Шаг 8. Вычисление главных показателей точки X_q.

Для полученной точки X^q, вычислим: критерии в натуральных единицах $f_k(x^q)=\{f_k(x^q), k=\overline{1, K}\}$,

(31) $F(X^q)=\{f_1(X^q)=327.5, f_2(X^q)=3426.0, f_3(X^q)=139.3, f_4(X^q)=39.4\}$;

все относительные оценки критериев $\lambda^q = \{\lambda^q_k, k=\overline{1, K}\}$, $\lambda_k(x^q) = \dfrac{f_k(x^q) - f^o_k}{f^*_k - f^o_k}$, $k=\overline{1, K}$,

(32) $\lambda(X^q)=\{\lambda_1(X^q)=0.4076, \lambda_2(X^q)=0.5592, \lambda_3(X^q)=0.6441, \lambda_4(X^q)=0.6097\}$.

Анализ результатов. В общем случае, вычисленная оценка $f_q(X_t^o)$, $q \in \boldsymbol{K}$ (в нашем примере (31) - $f_3(X^q)$=139.3) не равна заданной f_q (f_3=140). Ошибка выбора $\Delta f_q = |f_q(X_t^o) - f_q| = |139.3-140| = 0.7$ определяется ошибкой линейной аппроксимации, $\Delta f_{q\%} = 0.04\%$. В процессе моделирования могут изменяться первоначальные условия (параметрические ограничения (16)-(17)), т.е. получено множество решений и из них выбирается оптимальное. В нашем примере это:

- параметры системы при равнозначных характеристиках (критериях):
  $X^o = \{ x_1=74.42, x_2=29.28, x_3=4.1, x_4=2.2\}$, $X^{сум} = x_1 + x_2 + x_3 + x_4 = 110$;
- параметры системы с приоритетом третьего критерия q=3, который определяется из моделирования системы: $X^q = \{ x_1=77.52, x_2=25.31, x_3=3.61, x_4=3.56\}$, $X^{сум} = x_1 + x_2 + x_3 + x_4 = 110$.

2.6 Геометрическая интерпретация результатов решения в трех мерной системе координат в физических единицах

Мы представили результаты решения X^o и X^q в трех мерной системе координат $\{x_1, x_3\, \lambda\}$: в реальных единицах измерения характеристики системы на рис.1 – рис.4

$F(X^o) = \{f_1(X^o)=332.5, f_2(X^o)=3174.2, f_3(X^o)= 134.1, f_4(X^o)= 44.9\}$,

$F(X^q) = \{f_1(X^q)=327.5, f_2(X^q)=3426.0, f_3(X^q)=139.3, f_4(X^q)=39.4\}$;

И в относительных единицах на рис. 6 и рис. 7:

$\lambda(X^o) = \{\lambda_1(X^o)= 0.5595, \lambda_2(X^o)=0.6614, \lambda_3(X^o)= 0.5595, \lambda_4(X^o)= 0.5595\}$.

$\lambda(X^q) = \{ \lambda_1(X^q)=0.4076, \lambda_2(X^q)=0.5592, \lambda_3(X^q)= 0.6441, \lambda_4(X^q)=0.6097\}$

и трехмерной системе координат $\{x_1, x_3, \lambda\}$ в относительных единицах на рис.5 - 7.

Заключение

Проблема принятия оптимального решения для выбора оптимальных параметров сложной системы по некоторому набору функциональных характеристик является одной из важнейших задач системного анализа и проектирования. В работе представлена новая технология (методология) построения математической модели сложной системы в условиях определенности и неопределенности в виде векторной задачи математического программирования. Впервые в отечественной и зарубежной литературе мы представили методологию построения модели сложной системы на базе векторной оптимизации и методы для выбора любой точки, из множества Парето. В методологии показаны принципы оптимальности точки, во-первых, при равнозначных критериях, во-вторых, при заданном приоритете критерия. Данные методы могут использоваться при проектировании сложных систем как технических, так и экономических из различных отраслей. При построении характеристик в условиях неопределенности использованы регрессионные методы преобразования информации. Данная методология имеет системный характер и может использоваться при моделировании как технических, так и экономических систем. Авторы готовы участвовать в решении векторных задач линейного и нелинейного программирования.

Список литературы

[1] Верма Г., Вебер М. AutoCAD Electrical 2016 Подключаем 3D. — СПб.: ДМК-Пресс, 2016. — 384 с. — ISBN 978-5-97060-340-6.

[2] Машунин Ю.К. Методы и модели векторной оптимизации. М.: Наука, 1986. - 141 с.

[3] Машунин Ю.К., Левицкий В. Л. Методы векторной оптимизации в анализе и синтезе технических систем. Владивосток: ДВГАЭУ. 1996. 131 с.

[4] Машунин Ю.К. Решение композиционных и декомпозиционных задач синтеза сложных технических систем методами векторной оптимизации//Изв. РАН. Теория и системы управления. 1999. N3. С. 88-93.

[5] Машунин Ю.К., Машунин К.Ю. Моделирование технических систем в условиях неопределенности и принятие оптимального решения //Изв. РАН. ТиСУ. 2013. №4. С. 19-35.
[6] Yu. K. Mashunin, K. Yu. Mashunin. Simulation and Optimal Decision Making the Design of Technical Systems // American Journal of Modeling and Optimization. 2015. Vol. 3. No 3, 56-67.
[7] Yu. K. Mashunin, K. Yu. Mashunin. Simulation and Optimal Decision Making the Design of Technical Systems (2. The Decision with a Criterion Priority) // American Journal of Modeling and Optimization. 2016. Vol. 4. No 2, 51-66.
[8] Yu. K. Mashunin. Vector optimization in the system optimal Decision Making the Design in economic and technical systems // International Journal of Emerging Trends & Technology in Computer Science. 2017. Vol. 7. No 1, 42-57
[9] Yu. K. Mashunin. Concept of Technical Systems Optimum Designing (Mathematical and Organizational Statement)// International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing, ICIEAM 2017 Proceedings 8076394. Saint Petersburg. Russia/ WOS: 000414282400287 ISBN:978-1-5090-5648-4
[10] Yu. K. Mashunin. Optimum Designing of the Technical Systems Concept (Numerical Realization) // International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing, ICIEAM 2017 Proceedings 8076395. Saint Petersburg. Russia/ WOS: 000414282400288 ISBN:978-1-5090-5648-4
[11] Машунин Ю.К., Машунин К.Ю. Векторная оптимизация с равнозначными и приоритетными критериями //Изв. РАН. ТиСУ. 2017. №6. С. 80-99.
[12] Торгашов А.Ю., Кривошеев В.П., Машунин Ю.К. и др. Расчет и многокритериальная оптимизация статических режимов массообменных процессов на примере абсорбции в производстве газоразделения //Изв. вузов. Нефть и газ. 2001. № 3. С. 82–86.
[13] Кетков Ю. Л., Кетков А.Ю., Шульц М. М.. МАТЛАБ 6.х.: программирование численных методов. – СПб.: БХВ-Петербург, 2004. 672 с.
[14] Keeney, R. L. and Raiffa, H. Decisions with Multiple Objectives–Preferences and Value Tradeoffs (Wiley, New York, 1976; Radio i svyaz', Moscow, 1981).
[15] Johannes J. Vector Optimization: Theory, Applications, and Extensions. Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag, 2010. 460 p.
[16] Ansari Q., and Jen-Chih Y. Recent Developments in Vector Optimization. Heidelberg, Dordrecht, London, New York: Springer 2010. 550 p.
[17] Hirotaka N., Yeboon Y., and Min Y. Sequential Approximate Multiobjective Optimization Using Computational Intelligence. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2009. 197 p.
[18] Shankar R. Decision Making in the Manufacturing Environment: Using Graft Theory and fuzzy Multiple Attribute Decision Making Methods. Springer-Verlag, 2007. 373 p.
[19] Cooke T., Lingard H., and Blismas N. The development end evaluation of a Decision Support Tool for Pealth and safety in Construction Design // Engineering, Construction and Architectural Management. V. 15. № 4. 2008. P. 336–351.
[20] Chahid Kamel Ghaddar, "Modeling and Optimization of Dynamical Systems by Unconventional Spreadsheet Functions." American Journal of Modeling and Optimization, vol.4, no. 1 (2016): 1-12.doi:10.12691/ajmo-4-1-1

ОБ УПРАВЛЕНИИ БОЛЬШОЙ ГРУППОЙ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ КАК СИСТЕМОЙ С РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ

Д.А. Миляков

АО «Концерн «Вега»
121170, Москва, Кутузовский проспект, 34, Россия
from_fn@mail.ru
тел: +7 (915) 486-28-92

Ключевые слова: *беспилотный летательный аппарат, группа БЛА, система с распределенными параметрами, сложная система, траекторное управление, групповое управление, групповая робототехника, система группового управления, топология системы, имитационное моделирование*

Abstract

A nonclassical approach is proposed to the group control of drones that function jointly within the framework of large dense groups in solving specific problems. The scientific novelty of the approach is to consider the drones group as a system with distributed parameters that are functions of both time and spatial coordinates. The state of such a system is described by partial differential equations.

The relevance of the proposed study is due to the need to solve complex tasks of trajectory control, taking into account the provision of controllability and prevention of collisions in groups. In this case, the drones group control system must function in real time with acceptable accuracy.

Some results of preliminary studies are presented. Conclusions are made about the operability and applicability of the solution obtained.

Введение

Развивающаяся групповая робототехника позволяет ставить и успешно решать задачи, с которыми одиночные объекты не справляются или справляются недостаточно хорошо. При этом разные подходы к управлению группами роботов обладают своими достоинствами и недостатками. Наиболее ярко эти особенности проявляются при групповом управлении беспилотными летательными аппаратами (БЛА).

В части управления группой БЛА возможно выделить два подхода.

Первый подход является классическим и заключается в рассмотрении группы как совокупности отдельных БЛА с сосредоточенными параметрами, в общем случае являющимися функциями времени. При этом для каждого БЛА как объекта управления формируются свои модель состояния и сигналы управления. Такой подход наиболее очевиден и достаточно хорошо проработан. Среди многочисленных трудов можно выделить, например, [1, 2]. 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 [1] проблема управляемости в больших группах роботов решается различными вариантами кластеризации.

Второй подход к управлению группой БЛА предполагает ее рассмотрение как системы с распределенными во времени и пространстве параметрами.

Актуальность предлагаемого исследования обусловлена необходимостью решать сложные задачи траекторного управления с учетом обеспечения управляемости и предотвращения столкновений в группе многочисленных плотно расположенных БЛА. При этом система группового управления БЛА должна функционировать в реальном масштабе времени с приемлемой точностью.

Далее будет рассмотрен второй подход к управлению большой группой БЛА.

1 Группа БЛА как система с распределенными параметрами

Следует отметить отсутствие известных авторам трудов, посвященных рассмотрению задач управления большими плотными группами физически невзаимодействующих объектов как системами с распределенными во времени и пространстве параметрами, являющимися функциями времени и пространственных координат. Здесь следует упомянуть монографиию [3], содержащую рассмотрение различных физических задач кинематики и динамики для системы из невзаимодействующих частиц, а также серию монографий [4-8], посвященных рассмотрению управление только такими сплошными средами, которые заполняют пространство непрерывно, сплошным образом.

В связи с этим предлагается рассмотреть многочисленную группу плотно расположенных БЛА как сложную систему, состоящую из совокупности физически невзаимодействующих элементов среды, 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 уравнений в частных производных.

Такая 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 введем следующие функции координат и времени: внутренний потенциал, плотность среды, а также давление в среде как функцию ее плотности. Уравнение состояния получается 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 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.

Целью доклада является постановка и решение задачи разработки способа управления такой сложной системой при решении группой БЛА различных задач на примере решения задачи вывода БЛА на требуемую топологию, заданную известным законом отрезком или сферой.

При постановке задачи используются положения статистической физики и механики сплошной среды и реализуется следующий алгоритм:

1) сформировать закон описания требуемой топологии для среды БЛА;
2) сформировать внутренний потенциал среды как функцию координат, определяющий взаимодействие БЛА между собой;
3) сформировать плотность среды как функцию времени и координат;
4) сформировать давление среды как функцию плотности, определяющее связность элементов среды и их взаимодействие в отсутствие внешнего воздействия;
5) определить силы, действующие на элемент среды;
6) сформировать уравнение состояния элемента среды;
7) сформировать закон управления средой при решении заданной задачи.

2 Постановка и решение задачи

В общем случае для среды БЛА в каждый момент времени t в каждой точке с координатами (x, y, z), состояние которой характеризуется функциями плотности $\rho(t, x, y, z)$, внутрен-

него потенциала $U(x,y,z)$, а также давления $P(\rho)$, уравнение состояния для малого элемента среды можно представить в следующем виде:

$$(1)\quad \mathbf{a} = \frac{\nabla U}{\Delta m} + \frac{\nabla P}{\rho} + \mathbf{u},$$

где $\mathbf{a}$ – вектор полного ускорения элемента среды БЛА, а Δm – его масса, определяемая соотношением

$$(2)\quad \Delta m = m_{\text{БЛА}} \cdot \Delta N;$$

где $m_{\text{БЛА}}$ – условная масса единичного БЛА, а ΔN – их количество в элементе среды; ∇U – градиент внутреннего потенциала; ∇P – градиент давления в среде; ρ – плотность среды, определяемая соотношением

$$(3)\quad \rho = \frac{\Delta m}{\Delta V} = \frac{m_{\text{БЛА}} \cdot \Delta N}{\Delta x \cdot \Delta y \cdot \Delta z},$$

где Δx, Δy, Δz – приращения по соответствующим координатам, определяющие размеры элемента среды БЛА; $\mathbf{u}$ – вектор управления элементом среды БЛА, обеспечивающее его выведение, на требуемую топологию.

Уравнение (1) может быть представлено системой дифференциальных уравнений следующим образом:

$$(4)\quad \begin{cases} \dot{\mathbf{p}} = \mathbf{v}; \\ \dot{\mathbf{v}} = \dfrac{\nabla U}{\Delta m} + \dfrac{\nabla P}{\rho} + \mathbf{u}, \end{cases}$$

где $\mathbf{p}$ - вектор координат, $\mathbf{v}$ - вектор скорости и введены следующие обозначения векторов:

$$(5)\quad \begin{gathered} \mathbf{p} = \begin{bmatrix} x & y & z \end{bmatrix}^T, \mathbf{v} = \begin{bmatrix} v_x & v_y & v_z \end{bmatrix}^T, \\ \nabla U = \begin{bmatrix} \dfrac{\partial U}{\partial x} & \dfrac{\partial U}{\partial y} & \dfrac{\partial U}{\partial z} \end{bmatrix}^T, \nabla P = \begin{bmatrix} \dfrac{\partial P}{\partial x} & \dfrac{\partial P}{\partial y} & \dfrac{\partial P}{\partial z} \end{bmatrix}^T, \mathbf{u} = \begin{bmatrix} u_1 & u_2 & u_3 \end{bmatrix}^T. \end{gathered}$$

Для декартовой неподвижной системы координат с ортами $(\mathbf{i},\mathbf{j},\mathbf{k})$ с учетом (5) система (4) может быть представлена в виде:

$$(6)\quad \begin{cases} \dfrac{d\mathbf{p}}{dt} = \mathbf{v}, \\ \dfrac{d\mathbf{v}}{dt} = \left(\dfrac{1}{\Delta m}\dfrac{\partial U}{\partial x} + \dfrac{1}{\rho}\dfrac{\partial P}{\partial x} + u_x \right)\mathbf{i} + \left(\dfrac{1}{\Delta m}\dfrac{\partial U}{\partial y} + \dfrac{1}{\rho}\dfrac{\partial P}{\partial y} + u_y \right)\mathbf{j} + \left(\dfrac{1}{\Delta m}\dfrac{\partial U}{\partial x} + \dfrac{1}{\rho}\dfrac{\partial P}{\partial x} + u_z \right)\mathbf{k}. \end{cases}$$

Закон описания требуемой топологии задается аналитически уравнением (системой уравнений), позволяющим разрешить его относительно координат.

Таким образом, задача управления группой БЛА может быть сформулирована в следующем виде: для группы БЛА, состояние которой задается системой (6), необходимо найти закон управления, обеспечивающий построение требуемой топологии и ее целенаправленное перемещение в пространстве без столкновений при условии, что выполняются заданные ограничения.

Следует отметить, что внутренний потенциал U в (6) может быть выбран эмпирически, исходя из желаемого типа внутреннего взаимодействия в среде. В качестве таких потенциалов

могут выступать как одночастничные, так и многочастничные потенциалы [9], применяемые для адекватного представления взаимодействия частниц в различных средах. В статье таким потенциалом является парный (двухчастничный) потенциал Леннард-Джонса (потенциал 6-12) [10, 11], в простейшем виде имеющей вид

$$(7) \quad U(r) = \frac{A}{r^{12}} - \frac{B}{r^{6}},$$

где r – расстояние между центрами частиц, имитирующий парное взаимодействие в режиме «притяжение-отталкивание» несталкивающихся неполярных 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 (7) широко используется в расчетах и компьютерном моделировании различных многосоставных систем и является адекватным при решении рассматриваемой задачи.

3 Результаты моделирования

При моделировании в дискретном времени систем и процессов с характерным временем порядка 2 пикосекунды (10^{-12} с) и более находит широкое применение молекулярная динамика [12], позволяющая проследить эволюцию системы взаимосвязанных частиц и заключающаяся (в классическом представлении) в численной реализации решения уравнения движения Ньютона (1) 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 (7). Такой подход позволяет при программной реализации алгоритма управления средой БЛА перейти к реализации для каждого отдельного БЛА его сигнала управления.

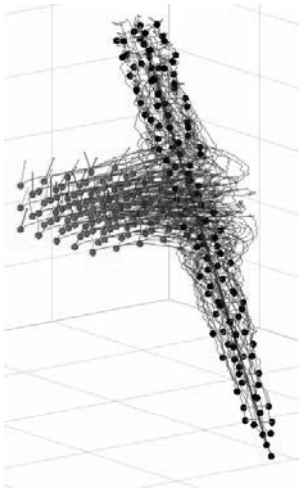


Рисунок 1 – Вывод группы БЛА на статический отрезок

В процессе исследования процесса управления средой БЛА в рамках решения задачи вывода исходной конфигурации группы БЛА в топологию типа «отрезок» и «сфера» было проведено моделирование соотношений (2), (3), (5)-(7). 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.

Предварительные результаты исследований представлены на рис. 1-3.

Рисунок 1 иллюстрирует решение задачи вывода группы БЛА на фиксированный отрезок группы из 125 БЛА при начальном разбросе по скоростям и направлениям полета внутри группы относительно «генерального» направления полета группы. Результаты моделирования свидетельствуют об успешном решении задачи. В процессе полета БЛА внутри группы не сталкиваются между собой и не выталкивают друг друга, что обеспечивается слагаемым в (7), обусловленным взаимодействием каждого БЛА со своими «соседями».

Рисунок 2 иллюстрирует результаты исследования влияния переходных процессов внутри группы БЛА на качество решения задачи, в рамках которого требуемая топология подвергалась вращению и перемещению по некоторому заданному закону. На рисунке отрезками обозначены текущие расстояния от каждого БЛА группы до требуемой топологии.

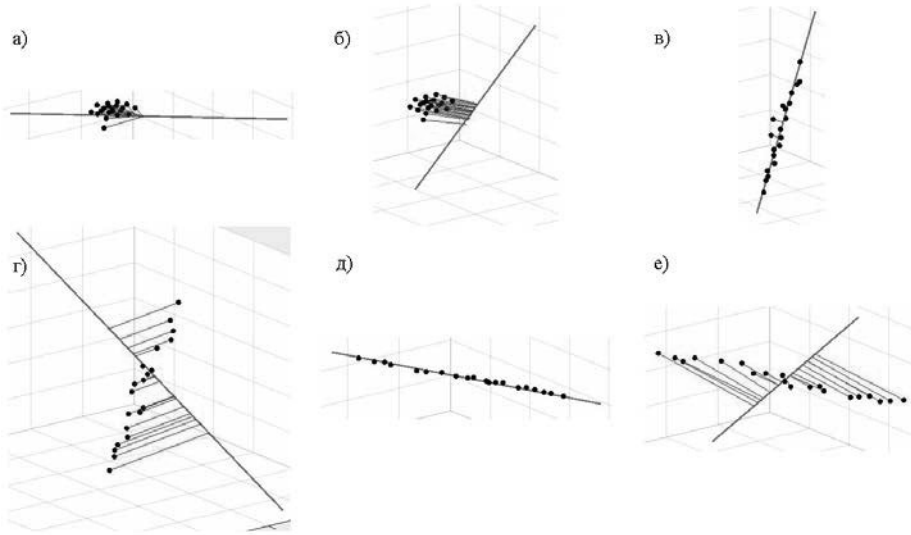


Рисунок 2 – Вывод группы БЛА на вращающийся отрезок

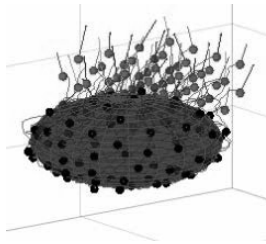


Рисунок 3 – Вывод группы БЛА на сферу

Рисунок 3 иллюстрирует результаты решения задачи вывода группы БЛА на топологию, заданную сферой, при тех же начальных условиях, что и в предыдущих случаях.

В целом результаты проведенных исследований подтвердили работоспособность и применимость предлагаемого подхода. При этом следует отметить, что дополнительные качественные и количественные требования к итоговой топологии группы БЛА могут быть обеспечены модификацией постановки задачи, например, как было замечено ранее, выбором ε-окрестности отрезка, для потенциала (7) – выбором коэффициентов A и B и т.д.

Заключение

В работе осуществлена постановка задачи управления большой группой БЛА как системой с распределенными во времени и пространстве параметрами при решении строевой задачи. Оригинальность такого подхода заключается в возможности применения аппарата математической физики, теории оптимального управления и теории систем с распределенными параметрами для управления такой системой при решении различных задач, например, строевых. При этом параметры конкретного БЛА определяются с помощью функции состояния в зависимости от его координат и времени.

Разработана модель состояния среды БЛА и алгоритм управления при ее выведении на заданную топологию. Представлены некоторые результаты проведенного имитационного мо-

делирования. Они позволяют сделать вывод о реализуемости и применимости предлагаемого подхода к управлению группой БЛА.

Дальнейшие исследования такой нестандартной постановки известной задачи будут направлены на получение нового качества решения проблемы обеспечения управляемости и высокой точности решения различных задач большими плотными группы БЛА.

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект №18-38-00967-мол_а

Список литературы

[1] Каляев И.А., Гайдук А.Р., Капустян С.Г. Модели и алгоритмы коллективного управления в группах роботов. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009. – 280 с.
[2] Моисеев В.С. Групповое применение беспилотных летательных аппаратов: монография. – Казань: Редакционно-издательский центр «Школа», 2017. 572 с.
[3] Зельдович Я.Б., Мышкис А.Д. Элементы математической физики среды из невзаимодействующих частиц. – М.: Изд-во «Наука», 1973. – 351 с.
[4] Бутковский А.Г. Теория оптимального управления системами с распределенными параметрами. – М.: Изд-во «Наука», 1965. – 476 с.
[5] Сиразетдинов Т.К. Оптимизация систем с распределенными параметрами. – М.: Изд-во «Наука», 1977. – 480 с.
[6] Рапопорт Э.Я. Структурное моделирование объектов и систем управления с распределенными параметрами: Учеб. пособие / Э.Я. Рапопорт. – М.: Высш. Шк., 2003. – 299 с.
[7] Рапопорт Э.Я. Анализ и синтез систем автоматического управления с распределенными параметрами: Учеб. пособие / Э.Я. Рапопорт. – М.: Высш. Шк., 2005. – 292 с.
[8] Рапопорт Э.Я. Оптимальное управление системами с распределенными параметрами: Учеб. пособие / Э.Я. Рапопорт. – М.: Высш. Шк., 2009. – 677 с.
[9] А.М. Сарры, М.Ф. Сарры. О многочастичном взаимодействии. Журнал технической физики. 2014. Том 84. Вып. 4. С. 8-14.
[10] 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.
[11] 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.
[12] 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.

СТЕРЕОТИПЫ ДВИЖЕНИЯ КАК ЭЛЕМЕНТЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ШАГАЮЩЕГО РОБОТА

В.В. Михайлов[1], М.Б.Игнатьев[2], Д.В.Кузьмин[1]

[1]Федеральное государственное учреждение науки Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации РАН (СПИИРАН)
Санкт-Петербург199178, 14-я линия ВО, д.39
mwwcari@gmail.com,, (812)328-01-03
[2]Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения
190000, Санкт-Петербург, Большая Морская ул., 67, Россия
al2tn@yandex.ru, (812 494-70-44

Ключевые слова: *шагающая машина, маршрут движения, препятствия, стереотпы движения, паттерны*

Abstract

The work is devoted to the construction of stereotypes (patterns), for controlling the movement of a walking machine in an anisotropic medium, while observing the stability conditions of the body and mobility of the limbs. The typification of the displacement surface is performed taking into account the design features of the machine. Sets of patterns for the organization of movement of a six-legged walking machine on relatively flat surfaces, along a rough surface, for overcoming certain types of obstacles are presented.

Введение

Перемещение робота в анизотропной среде с преодолением препятствий можно представить как последовательную смену некоторых стереотипов движения (паттернов), обеспечивающих, с одной стороны, решения глобальной задачи перемещения робота в заданном направлении или в заданную точку, с другой, решение задач анализа условий движения, распознавания препятствий и их преодоление. Понятия стереотипа и паттерна достаточно близки. Стереотип определяется как относительно устойчивый и упрощенный образ события или явления, как «твердый отпечаток» (клише в типографии), которые могут многократно повторяться. В психологии стереотип поведения – неизменный, общепринятый образец (трафарет, шаблон), которому следуют без размышления. По определению паттерн – повторяющийся шаблон, образец, модель действия или явления с упором на их преходящий, динамический характер. В работе мы будем использовать оба термина, используя «стереотип», когда требуется подчеркнуть постоянство действий и «паттерн» для подчеркивания их вариабельности и реализации как программного продукта. При этом любой паттерн описывает задачу, которая снова и снова возникает при функционировании шагающей машины, а также принцип ее решения, причем таким образом, чтобы это решение можно потом использовать многократно. Примеры выбора стереотипов движения, создания баз паттернов и языка графического представления программы с кинограммой исполнения танца коллективом роботов приведены в работах [1, 2]. Подобного рода работы ведутся в СПИИРАН.

В целом, задача передвижение транспортного средства (колесного, гусеничного, шагающего или других типов) по пересеченной местности складывается из двух подзадач. Первая состоит в прокладке маршрутов перемещения транспортных средств с учетом их проходимости, вторая – в управлении движением машины по маршруту и преодолении препятствий. Цель нашей работы состоит в составлении набора паттернов для решения второй задачи – движение по маршруту, включая управлением перемещением шагающей машины по ровной поверхности, по шероховатой поверхности и действий машины при преодолении некоторых типов препятствий. В качестве прототипа используется действующий макет шестиногой шагающей машины, описание которой приведено в [3].

1 Устойчивость машины и подвижность ее конечностей

При перемещении корпуса шагающей машины и ее конечностей должны соблюдаться два условия – машина должна сохранять устойчивость и стопы ног должны иметь возможность перемещаться в заданном направлении.

Статическая устойчивость машины достигается тогда, когда луч, проведенный из центра масс машины в направлении силы тяжести, проходит внутри многоугольника опор (рис. 1). Очевидной причиной потери статической устойчивости является некорректное положение центра тяжести платформы робота по отношению к опорным точкам.

Для случая, когда корпуса робота движется с ускорением, причиной потери устойчивости может стать возникающая сила инерции [4]. Шагающая машина является динамически устойчивой, если луч, проведенный из центра масс машины в направлении равнодействующей сил тяжести и инерции (рисунок 4), проходит внутри многоугольника опор. Машина будет находиться на границе устойчивости, если продолжение вектора суммы сил тяжести и инерции пересечет одну из граней многоугольника опор.

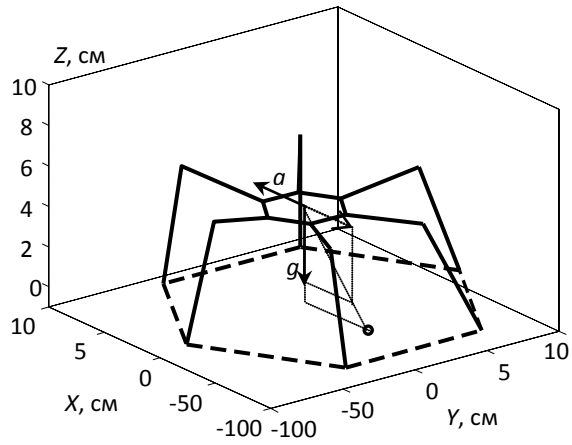


Рисунок 1 – Определение динамической устойчивости машины

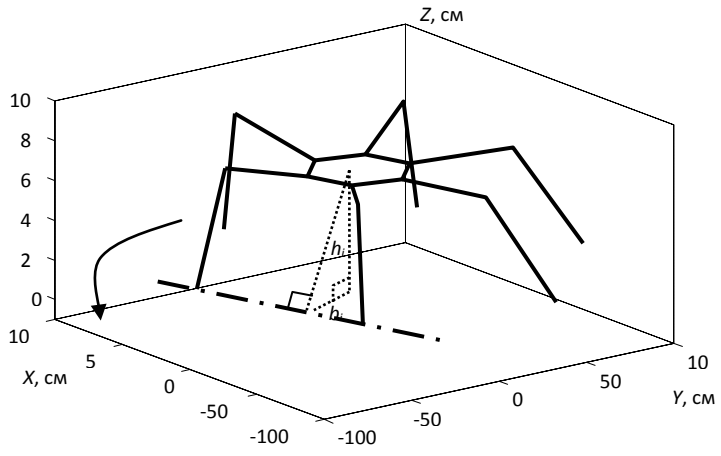


Рисунок 2 – Потеря устойчивости машины

В отличие от статической устойчивости, динамическая устойчивость зависит от высоты положения центра масс. В случае потери устойчивости шагающая машина опрокинется. При этом она будет совершать вращательное движение вокруг прямой, соединяющей две соседние опорные точки. Согласно [4] будем оценивать запас устойчивости относительно *i*-ой пары соседних конечностей следующим образом:

$$\Delta_i = h_{2i} - h_{1i},$$

где h_{1i} и h_{2i} – высота центра масс над плоскостью *XY* в исходном и в критическом положении, при котором продолжение вектора суммы сил тяжести и инерции пересекает ось вращения.

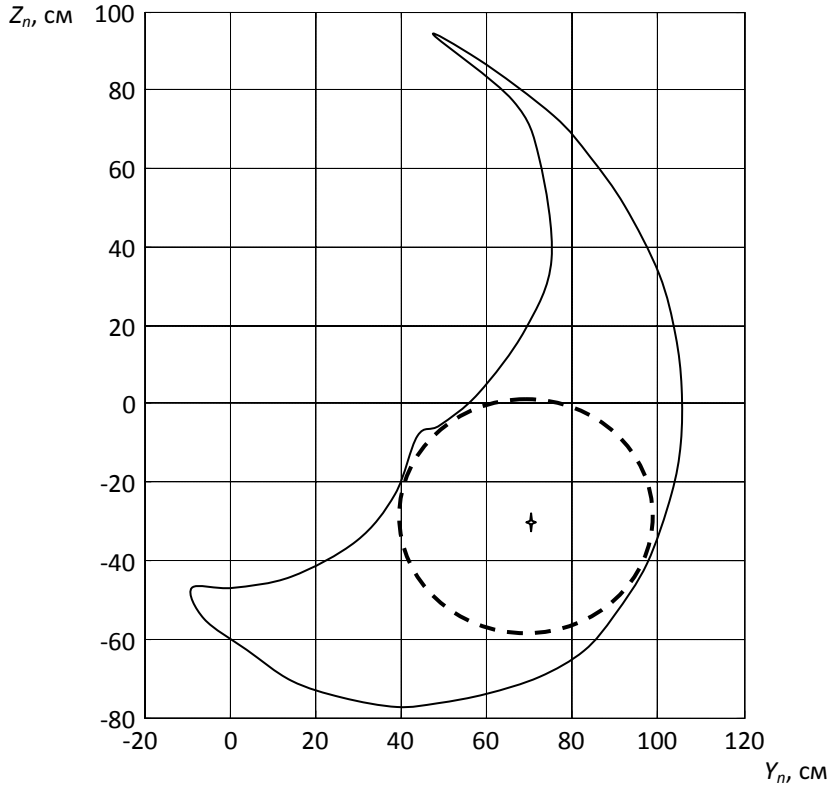


Рисунок 3 – Разрез области достижимости ступни

Минимальное из полученных значений будет характеризовать запас устойчивости машины:

$$\Delta = \min_i \Delta_i,$$

или в нормированном виде:

$$\Delta n = \min_i (\Delta_i / h_{1i}).$$

Такой способ вычисления запаса устойчивости позволяет оценить устойчивость текущего положения робота и выявить наиболее опасное направление движения платформы.

Положение стоп ног ограничивается размерами области достижимости, зависящей от конструкционных характеристик машины. Отметим, что живые организмы при перемещении почти никогда не используют всю область достижимости конечностей. Движение происходит в зоне, наиболее удобной для согласования рабочих и холостых перемещений конечностей и оптимальной с энергетических позиций. В качестве такой зоны в модели машины могут быть приняты сфера или эллипсоид максимального радиуса, вписанные в трехмерную область достижимости. Эту область назовем зоной подвижности конечности. Если траектория движения стопы проходит через центр сферы, то длина шага в любом направлении будет максимальной, равной диаметру сферы.

Относительную подвижность стопы i – конечности и машины в целом можно оценить выражениями:

$$\Omega_i = abs(L_i)/D,\ \Omega = \Omega_i$$

где L_i – расстояние между исходной точкой положения стопы и границей области подвижности в направлении вектора скорости движения стопы, D – диаметр сферы подвижности. В процессе перемещения машины условия устойчивости и подвижности должны контролироваться и корректироваться. Могут быть заданы дополнительные условия, например, горизонтальное положение платформы и т. п. Выполнение таких условий приводит к необходимости решения многокритериальной оптимизационной задачи и организации соответствующего паттерна. При дискретном движении задача может решаться после завершения очередного шага, в случае непрерывной походки – в процессе движения машины.

2 Типизация поверхности перемещения машины

В соответствии с конструкцией конечностей и адаптационными возможностями машины будем относить поверхность перемещения к одному из четырех типов:

- **Относительно ровная поверхность**. Это тип поверхности, при движении по которой корпус машины в неподвижной системе координат может перемещаться плоскопараллельно по вектору скорости без выполнения специальных движений для коррекции положения стоп ног в зоне подвижности или для повышения устойчивости машины. Допустимые пределы шероховатости поверхности ±R/2, где R – радиус сферы подвижности стопы ноги. При этом движение машины может происходить с использованием дискретных или непрерывных походок различного типа [4, 5, 6].
- **Шероховатая поверхность**. Это поверхность, при движении по которой необходимо корректировать угловое положение корпуса и клиренс для повышения подвижности стоп, а также положение проекции центра масс корпуса для повышения устойчивости машины. При этом корпус машины двигается в неподвижной системе координат с «покачиванием» [7]. Допустимые пределы шероховатости ±0.9R. При этом сохраняется достаточно высокая подвижность стоп.
- **Преодолимое препятствие**. Это препятствие, которое робот может преодолеть при любом расположении конечностей в зоне достижимости и при условии сохранения устойчивости машины. Препятствием может быть стенка заданной высоты и толщины, ров заданной ширины, крутой уклон или подъем, ступенька и другие преграды. Препятствием является неровная поверхность, шероховатость которой превосходит 0.9R. Процесс преодоления препятствия реализуется с использованием приемов и порядка перемещения ног и корпуса машины, специфичных для того или иного вида препятствий.
- **Непреодолимое препятствие**. Это препятствие, преодолеть которое невозможно ввиду конструктивных ограничений машины или потери ее устойчивости.

3 Перемещение машины по относительно ровной поверхности

Рассмотрим набор паттернов для организации движения корпуса и перемещения машины по относительно ровной поверхности.

3.1 «Выравнивание корпуса»

Паттерн служит для того, чтобы при фиксированном положении стоп ног на поверхности установить корпус в оптимальное положение с учетом требований устойчивости машины и подвижности ног. Выполняется разворот корпуса вокруг координатных осей таким образом, чтобы плоскость корпуса стала параллельной плоскости, плоскость опор машины (или аппроксимации этой плоскости при произвольном расположении стоп ног в пространстве), корпус перемещается по нормали к плоскости опор для восстановления «нормального» клиренса. Если возникает угроза потери устойчивости, то выполняется смещение центра масс корпуса в плоскости корпуса машины для ее устранения.

3.2 «Исходное положение»

Паттерн служит для постановки машины в положение, которое обеспечивает наибольшую подвижность корпуса при вращении вокруг координатных осей и движении в направлении любой оси. При этом выполняются следующие действия: постановка всех ног на опорную поверхность, включения паттерна «выравнивание корпуса», последовательный перенос ног в районы центров зон подвижности. По завершению включается паттерн «Стоп».

3.3 «Движение корпуса»

Паттерн служит для управления движением корпуса машины без изменения положения стоп опорных конечностей. Движение корпуса происходит из паттерна «Исходное положение». Задаются скорости движения корпуса по осям координат и скорости вращения вокруг осей. Возможно уменьшение количества опорных ног при сохранении устойчивости машины. По завершению включается паттерн «Стоп».

3.4 «Шаг»

Паттерн выполняет перемещение машины по вектору скорости на 1 шаг для выбранного типа походки (3-3, 4-2 или 5-1) и заканчивается сменой группы опорных конечностей и включением паттерна «стоп».

3.5 «Прямолинейное движение машины»

Паттерн служит для управления передвижением машины в соответствие с выбранным типом походки и заданным вектором скорости корпуса. Движение корпуса плоскопараллельное. Движение машины происходит из паттерна «Исходное положение» и завершается паттерном «Стоп».

3.6 «Поворот машины»

Паттерн выполняет разворот машины на заданный угол φ при движении по дуге окружности радиусом R со скоростью V. Паттерн составной и начинается из «исходного положения». Затем выполняется последовательность действий с использованием цепочки паттернов: «движение корпуса» для поворота корпуса вокруг вертикальной оси на шаговый угол α, «исходное положение», перемещение машины на один шаг с использованием паттерна «шаг», затем «исходное положение». Цепочка действий повторяется до завершения разворота машины на угол φ. После этого включаются паттерны «стоп» - «исходное положение». Шаговый угол $\alpha \approx \arcsin(L/(2R))$, где L – шаг машины, R – желаемый радиус разворота машины.

3.7 «Стоп»

Паттерн выполняет фиксацию положения всех конечностей машины в данный момент времени.

3.8 «Сброс»

Составной аварийный паттерн, выполняющий функции паттерна «стоп» с опускание стоп конечностей, выполняющих холостой перенос для повышения устойчивости машины.

4 Перемещение машины по шероховатой поверхности

При движении по шероховатой поверхности могут использоваться паттерны «выравнивание корпуса», «исходное положение», «движение корпуса», «стоп» и «сброс» без корректировки. В паттернах «шаг», «прямолинейное движение» и «разворот» после каждой смены группы опорных ног выполняются действия, предписанные паттерном «выравнивание корпуса».

5 Преодоление препятствий

5.1 «Перешагивания через порог»

Рассмотрим преодоление препятствия с использованием походки 3-3 с ориентацией движения машины в направление ведущей конечности первой тройки ног. Паттерн предполагает выполнение следующей последовательности действий: Машина устанавливается таким образом, чтобы передняя пара второй тройки ног после их холостого переноса расположилась максимально близко к порогу. Корпус машины поднимается на высоту, необходимую для его перемещения через препятствие. Первая тройка ног поднимается до уровня корпуса. Выполняется передвижение корпуса и опускание ног первой группы. Ведущая конечность первой тройки при этом будет находиться за препятствием. После этого выполняется подъем ног второй тройки и перемещение корпуса. Передняя пара второй группы ног оказывается за препятствием. Происходит смена опорных групп ног и т.д. (Рисунок 4).

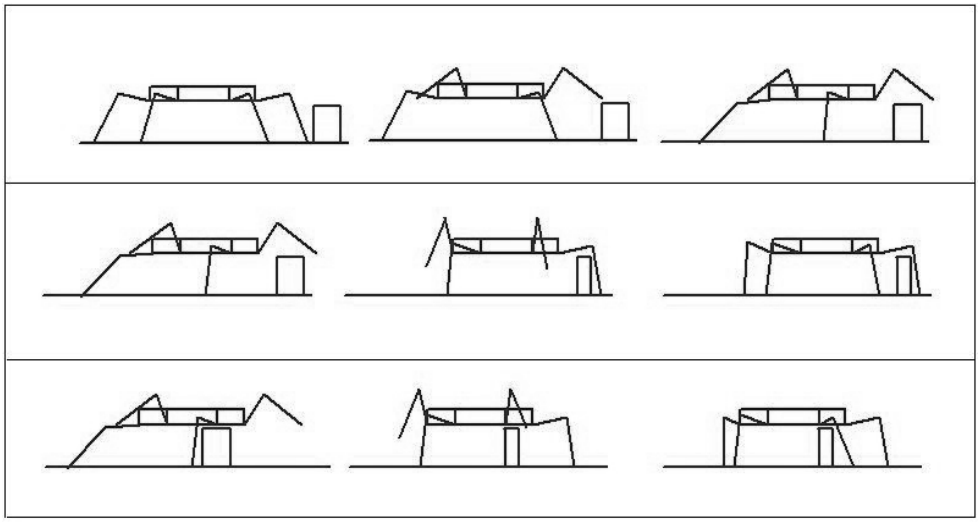


Рисунок 4 – Преодоление препятствия типа «порог»

Таким образом, движения машины при перешагивании через порог аналогичны движениям нормальной походки. Разница состоит в том, что перед каждым шагом опорная группа ног устанавливается максимально близко к препятствию, а корпус и холостая группа ног поднимаются до уровня, обеспечивающего их перенос через порог. Высота порога, через который машина может переступить ограничивается размером области достижимости стопы (от основания корпуса машины до нижней границе области), а ширина порога – величиной шага при данном расположении стопы в зоне достижимости. (Рисунок 3).

5.2 «Перешагивание через ров»

Действия, выполняемые при перешагивании через ров аналогичны тем, которые выполняются при перешагивании через порог. Высота расположения корпуса машины выбирается такой, чтобы величина шага на этом уровне давала возможность роботу через ров перешагнуть (Рисунок 3).

Заключение

Шагающая шестиногая машина может передвигаться с использованием различных типов походок (3-3, 4-2, 5-1), могут быть наложены дополнительные требования на положение корпуса и ног. Это приводит к неоднозначности в выборе паттернов – где граница паттерна, какие функции могут реализовываться в рамках данного паттерна с счетом адаптационных возможностей робота и в каких случаях для выполнения функций требуется организовать новый паттерн? В этом плане представленный в статье набор паттернов является лишь одним из возможных вариантов.

Благодарность

Исследование выполнено в рамках Госбюджетной темы 0073-2018-0003.

Литература

[1] Chen X,Xie J, Ji J, Sui Z. Toward Open Knowledge Enabling for Human-Robot Interaction. Journal of Human-Robot Interaction 2012, 1. P. 100-117.

[2] Kagami S., Kitagawa T., Nishiwaki K., Sugihara T., Inaba M., Inoue H.,A fast dynamically equilibrated walking trajectory generation method of humanoid robot, // Autonomous Robots. 2002. Vol. 12, No 1. P. 71–82.

[3] Михайлов В.В., Соловьева Т.Н., Попов В.П. Моделирование кинематики шагающего робота. //Информационно-управляющие системы, 6, 2015. - С. 34-40.

[4] Лапшин В. В. Механика и управление движением шагающих машин. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2012. – 199 с.

[5] Павловский В. Е. О разработках шагающих машин // Препринт ИПМ им. М. В. Келдыша. 2013. № 101. - 32 с.

[6] В.В.Михайлов, Н.В.Иванов Управление походкой шагающего робота на основе гибридного автомата. Труды XIX Международной конференции Проблемы управления и моделирования в сложных системах (ПУМСС-2017), Самара,12-15 сентября 2017 г. - С. 178-185

[7] Михайлов В.В., Соловьева Т.Н., Кузмин Д.В. Моделирование перемещения шагающего робота по неровной поверхности. //Проблемы моделирования в сложных системах. Труды XVIII Международной конференции 20-25 сентября 2016. Самара, Россия. – Самара: Изд. Офорт.- С. 421-429.

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ КОМПАНИИ ПО СОЗДАНИЮ САЙТОВ И ИНТЕРНЕТ МАРКЕТИНГУ

О. В. Моргунова

Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики
43010, г. Самара, ул, Л.Толстого, д. 23, Россия
olesyadro90@gmail.com
тел.: +79276073388

Ключевые слова: *имитационное моделирование, системная динамика, статистическое имитационное моделирование, дискретно-событийное моделирование, моделирования деятельности IT компании, рынок web-разработки, развитие Digital-агентства, применение научных методов в развитие компании, информационное общество, сложные социально экономические системы.*

Abstract

The article discusses the scientific approach to the development of the web development industry, based on the development of the information society of the country, studied aspects of the web development market. The description of the company, which is the object of research. The variants of modeling business processes of the company on the basis of statistical simulation model are revealed, the process of " project management on development and administration of a web resource is described and detailed.

Введение

Digital-агентство – это компания, занимающаяся созданием сайтов и интернет маркетингом. По мере развития компании, увеличивается количество проектов, сотрудников, спектр задач. Задача управляющего персонала, грамотно распределить задачи между специалистами. Для этого необходимо четко понимать, как работает каждый отдельный бизнес-процесс по созданию и поддержке сайта. Компания данной сферы является сложной социально-экономической системой, в связи с этим встает ряд проблем по организации рабочего процесса, как между сотрудниками, так с заказчиками, а именно: утечка важной информации; снижение скорости выполнения задачи; повышение стоимости оплаты работы; многочисленные доработки и коррективы в проекте; цель работы заключается в разработке имитационной модели производственной деятельности Digital-агентства, и построении на основе результатов моделирования комплексных методик позволяющих повысить эффективность распределения трудовых ресурсов проектов, тем самым сократить время на и увеличить качество выполняемых задач.

Данная отрасль, относительно новая и очень востребована, поэтому научная работа является актуальной и полезной для молодых развивающихся компаний. Практическое применение модели позволит максимизировать прибыль и минимизировать производственные издержки.

1 Актуальность сферы исследования отрасли веб-разработки

В настоящие время Россия переходит от индустриальной к информационной стадии развития. В свою очередь данный аспект активно поддерживается государственной программой «Электронное общество 2011-2020», стратегическая цель которой – это получение гражданами и организациями преимуществ от применения информационных и телекоммуникационных

технологий. В целом развитие информационного общества определено в государственной программе как создание новых возможностей для граждан, бизнеса и государства через развитие ИКТ, а задача госпрограммы состоит в обеспечении технологического прорыва страны в использовании информации [1].

В связи с тенденциями развития проекта электронное общество идеология ведения деятельности организации любого направления, как государственных учреждений, так и бизнес компаний меняется и требует наличие информационного ресурса.

В связи с этим, темпы появления новых сайтов с каждым годом стремительно увеличивается. Если 10 лет назад большинство компаний не особо интересовались своим присутствием в интернете, то сегодня это является одним из главных компонентов успеха. Многие организации уже открыли свои виртуальные представительства или интернет-магазины, но, тем не менее, в 2018-м количество информационных ресурсов будет продолжать расти [2].

Спрос рождает предложение, и пропорционально росту спроса на информационные ресурсы растет рынок услуг в данной сфере, а именно IT-компаний, специализирующихся на разработке и администрировании, а так же продвижении информационных ресурсов (далее сайтов). Компании данной отрасли позиционируют себя в качестве веб-студий или Digital-агентства, постоянно увеличивая спектр предлагаемых услуг от программирования до маркетинговых исследований рынка компании заказчика информационного ресурса. Все чаще компании стремятся охватить сразу два, три или даже четыре направления деятельности. Подобная диверсификация связана как с общеэкономической ситуацией, так и со сжатием рынка. Студии банально пытаются выжить и поэтому обзаводятся «подушками безопасности». Проблема конкуренции в данной отрасли актуально набирает обороты, всего в России официально зарегистрировано 5196 веб-студий, а в г. Самаре – 112 [3].

Научная работа рассматривается на примере молодой компании по веб-разработкам, созданной в 2017 году – Multikey.studio, в рамках интересов, ее развития и перспектив, направленных на многопрофильность, увеличение штата прямо пропорционально количеству обслуживаемых проектов.

В свою очередь, очень важно на этапе развития применять научные методы организации теории систем и системного анализа, а так же методы моделирования бизнес процессов деятельности компании, на этапе формирования ее структуры, для принятия эффективного управленческого решения, что подразумевает предотвращение, а не исправление ошибок формирования структуры компании и ее бизнес процессов.

В работе рассматривается постановка задачи имитационного моделирования ключевого бизнес-процесса компании по веб-разработкам в контуре управления ее развитием на основе результатов имитационного моделирования.

2 Информационное общество как парадигма развития сферы веб-разработки

Бурное развитие компьютерной техники и информационных технологий послужило толчком к развитию общества, построенного на использовании различной информации и получившего название информационного общества.

Парадигма развития информационного общества в стране диктует условия формирования рынка и экономики, а так же уклада образа жизни людей. Для полноценного понятия данного аспекта, обратимся к терминам и их сути.

Информационное общество – это ступень развития, в которой главными продуктами производства является информация и знания.

Одним из основных критериев перехода общества к постиндустриальной и далее к информационной стадии развития может служить процент населения, занятого в сфере услуг:

- если в обществе более 50% населения занято в сфере услуг, наступила *постиндустриальная* фаза его развития;

- если в обществе более 50% населения занято в сфере информационных услуг, общество стало *информационным.*

Развитие информационного общества базируется на развитие информационной технологии и информатизации во все сферы человеческой деятельности.

Информационная технология – это представленное в пригодном для практического использования виде концентрированное выражение научных знаний и практического опыта, позволяющее рациональным образом организовать тот или иной достаточно часто повторяющийся информационный процесс.

Информатизация – организационный социально-экономический и научно-технический процесс создания оптимальных условий для удовлетворения информационных потребностей и реализации прав граждан, органов государственной власти, органов местного самоуправления, организаций, общественных объединений на основе формирования и использования информационных ресурсов [4].

Отношение объема активных информационных ресурсов к общему объему национальных информационных ресурсов становится одним из существенных экономических показателей, характеризующих эффективность использования этих ресурсов.

Рассмотрим предмет исследования информационный сайт и его научную составляющую. Информационный сайт – интернет ресурс, содержащий информацию по одной и нескольким темам в виде одного документа (страницы) или массива данных (группы связанных единой навигацией страниц).

Информационные ресурсы – это непосредственный продукт интеллектуальной деятельности наиболее квалифицированной и творчески активной части трудоспособного населения страны.

Важной является проблема понимания сущности информационного ресурса, как формы представления данных и знаний, его роли в социальных процессах, а также закономерности формирования, преобразования и распространения различных видов информационных ресурсов общества.

Информационный потенциал становится таким же важным экономическим и социальным фактором развития, как энергетический, промышленный и оборонный потенциал, а также образовательный потенциал [5].

Создание качественных интернет ресурсов в виде информационных сайтов обеспечивает повышение уровня информатизации в стране и увеличения национальных мировых ресурсов. Для этого важно организовать эффективную работу компании по web-разработке, используя научные подходы и методы.

3 Рынок веб-разработки и анализ объекта исследования Multikey.studio

В начале 2017 года CMS Magazine, Workspace и Рейтинг Рунета провели совместное исследование источников доходов веб-студий и общих показателей рынка. В масштабном анкетировании приняли участие 402 компании, оказывающие услуги по разработке сайтов с нуля или их технической поддержке.

Среднестатистический оборот этих студий составил 19 млн. рублей за 2016 год. Общий объем рынка заказной разработки сайтов по оценке CMS Magazine в 2016 году – 16,4 млрд рублей. Средняя стоимость разработки промо-сайтов и посадочных страниц в 2017 году составила 76 051 рублей, корпоративных сайтов – 148 422 рубля, интернет-магазинов – 175 097 рублей, порталов и сервисов – 543 611 рублей [6].

Компания Multikey.studio соответствует выбору предоставляемых услуг и тарифов лидеров данной отрасли. Спектр услуг относительно доходности от них выделятся следующие: 1) Разработка новых сайтов; 2) Поддержка и развитие существующих сайтов; 3) SEO-оптимизация сайта; 4) Собственные интернет-проекты; 5) Продажи медийной и контекстной

рекламы; 6) Консалтинг; 7) Разработка мобильных приложений; 8) SMM – вирусный маркетинг, продвижение в социальных медиа. Услуги компании Multikey.studio соответствуют услугам лидеров рынка web-разработки.

Рассмотрим отрасли, которые прибегают к потребности в услугах Digital-агентства. Отрасли представлены в порядке потребностей в информационных ресурсах и по факту подтверждающих это обращение к данным видам услуг. 1 – BSB услуг; 2 – Потребительский сектор; 3 – B2C услуги; 4 – Медицинский сектор; 5 – Финансовый сектор; 6 – Образование и наука; 7 – СМИ – развлекательные порталы; 8 – Недвижимость; 9 – Строительство и стройматериалы; 10 – Телекоммуникации; 11 – Сельское хозяйство; 12 – Транспорт; 13 – Нефть, газ; 14 – Машиностроение; 15 – Энергетика; 16 – Металлургия.

Можно сказать, что за 1,5 годовое существование, компания получала проекты на разработку из большинства представленных отраслей.

Поднимая вопрос о кадрах, в компании трудятся ведущие специалисты следующих направлений: 1) Программисты; 2) Менеджер по продажам; 3) Менеджер проекта; 4) HTML-верстальщик; 5) Дизайнер; 6) SEO-оптимизатор;7) Контент-менеджер; 8) Маркетолог; 9) Технический специалист; 10) Директор по маркетингу и PR. Список представлен в соответствии приоритетности для компании соответствующей должности. Ожидаемый рост количества проектов влечет за собой кадровое расширение соответственно спросу на услугу.

Исследования по данному разделу приводят к заключению, что компания Multikey.studio несмотря на то, что на рынке с 2017-го года, обладает всеми качествами полноценно конкурирующей компании по web-разработке и имеет многообразие услуг, персонала, а так же сфер и отраслей взаимодействия с клиентами.

Многообразие и сложность процессов взаимодействия и коммуникаций, информационных продуктов, и технологий, а так же организационной структуры говорит о том, что деятельность компании по web-разработке можно отнести к сложной социально-экономической системе, для которой необходим анализ и проектирование при принятии управленческих решений.

4 Имитационное моделирование бизнес-процесса

Имитационные модели расчетов служат средством анализа поведения системы (оригинального объекта) в условиях, которые определяются экспериментатором. Другими словами, цель имитационного моделирования состоит в воспроизведении поведения исследуемой системы на основе результатов анализа наиболее существенных взаимосвязей между её элементами или другими словами – разработке симулятора исследуемой предметной области для проведения различных экспериментов. Цель моделирования бизнес-процесса – получение информации о бизнес-процессе в зависимости от набора влияющих факторов. К имитационному моделированию прибегают, когда дорого или невозможно экспериментировать на реальном объекте, невозможно построить аналитическую модель, необходимо проанализировать поведение системы во времени.

При разработке имитационных моделей сложных систем обычно выделяют следующие этапы: определение границ системы; разработка концептуальной схемы системы; подготовка исходных данных; разработка компьютерной программы; оценка адекватности; этап экспериментирования и оценка результата. Имитационная модель разрабатывается на основе статистической графической модели бизнес процесса (БП). Модель БП – это набор связанных между собой графических объектов определенной нотации, воспроизводящих действия и создающих представления о БП. Элемент объекта имеет набор свойств, позволяющих определить тип задачи, входную и выходную информацию, ресурсы, взаимосвязи, требования, IT – архитектуру [7]. Назначение статистической модели – регламентация и описания деятельности. Для симуляции процесса используется динамическая (имитационная) модель, в которую вводится

параметр времени. Таким образом, имитация БП означает его абстрактную автоматизацию, позволяет получать экземпляры процесса и собирать данные в форме статистических отчетов для последующего анализа. Имитация БП служит наглядным и интерактивным инструментом оценки эффекта внедрения тех или иных изменений и исключает риски, неизбежные при тестировании сценариев сразу на реальном процессе.

5 Вербальная модель и схема бизнес-процесса «Ведение проекта по разработке web-ресурса»

На рисунке 2 изображена статистическая модель бизнес процесса *«Ведение проекта по разработке и администрированию web-ресурса»*. Начало БП определяется поступлением заявки – заказа на разработку сайта. Клиент обращается к менеджеру по продажам и сообщает о намерении создания сайта. На встрече Менеджер по продажам, изучая потребности клиента, сферу его деятельности, финансовые возможности, а так же прайс и ресурсы собственной копании, предлагает те или иные варианты веб-ресурса, рассчитывает приблизительную стоимость и сроки работы, данные согласуются с клиентом и передаются менеджеру по проекту, он в свою очередь составляет бриф и на его основе составляет договор и организовывает его подписание, а так же оплату авансовой части по договору. После чего запускается работа с проектом. Подписанный договор необходим для составления подробного Технического задания (ТЗ), которое согласовывается со специалистами разработки и с клиентом, вносятся необходимые коррективы и утверждается ТЗ для последующей работы.

Далее работа переходит на внутренний уровень компании, составляется план выполнения работ и распределение задач между специалистами. Чаще всего выполнение заявки начинается с маркетингового исследования рынка отрасли клиента, подготавливается акт исследования, на основе которого строится вся последующая концепция сайта. Далее разрабатывается дизайн концепция, которая в свою очередь утверждается с заказчиком, после – разработка и описание структуры сайта и прототипирование макетов страниц. Итогом этапа дизайна являются отрисованные фотоэлементы, логотип в формате jpg. Данные фотоэлементов передаются в отдел программирования, где происходит верстка HTML. Затем прорабатывается верстка мобильной и планшетной версии.

Следующим важным этапом является выбор CMS системы и интеграция кода сайта с системой управления сайтом. После интеграции по заранее подготовленной информации о контенте сайта происходит наполнение текстами и изображениями соответствующих разделов сайта. Контент согласуется с заказчиком заранее. Регистрация и заливка на хостинг сайта являются предпоследним этапом, после чего происходит тестирование и демонстрирование разработанной версии сайта заказчику. При успешной сдаче проекта происходит выставление остаточной суммы за разработку и подписание договора на техническое обслуживание и продвижение. В противном случае выставляется список доработок, которые необходимо исправить в обговоренные сроки. Схема бизнес-процесса представлена на рис. 1.

6 Задача и метод имитационного моделирования

Итак, имитационная модель представляет собой логико-математическое описание объекта для проведения эксперимента на компьютере в целях проектирования, анализа и оценки функционирования объекта [8]. Цель моделирования БП состоит в отслеживании его реализации во времени и получении набора характеристик, позволяющих оценить его эффективность. Такими характеристиками обычно являются базовые критерии БП: время выполнения, стоимость, время ожидания подпроцессов. Главной задачей имитационного моделирования является выявление узких мест бизнес-процесса *«Ведение проекта по разработки и администрированию web-ресурса»* и определения случайных факторов в интересах управления сложным процессом и поиска возможностей его улучшения. Поскольку бизнес-процесс в общем виде

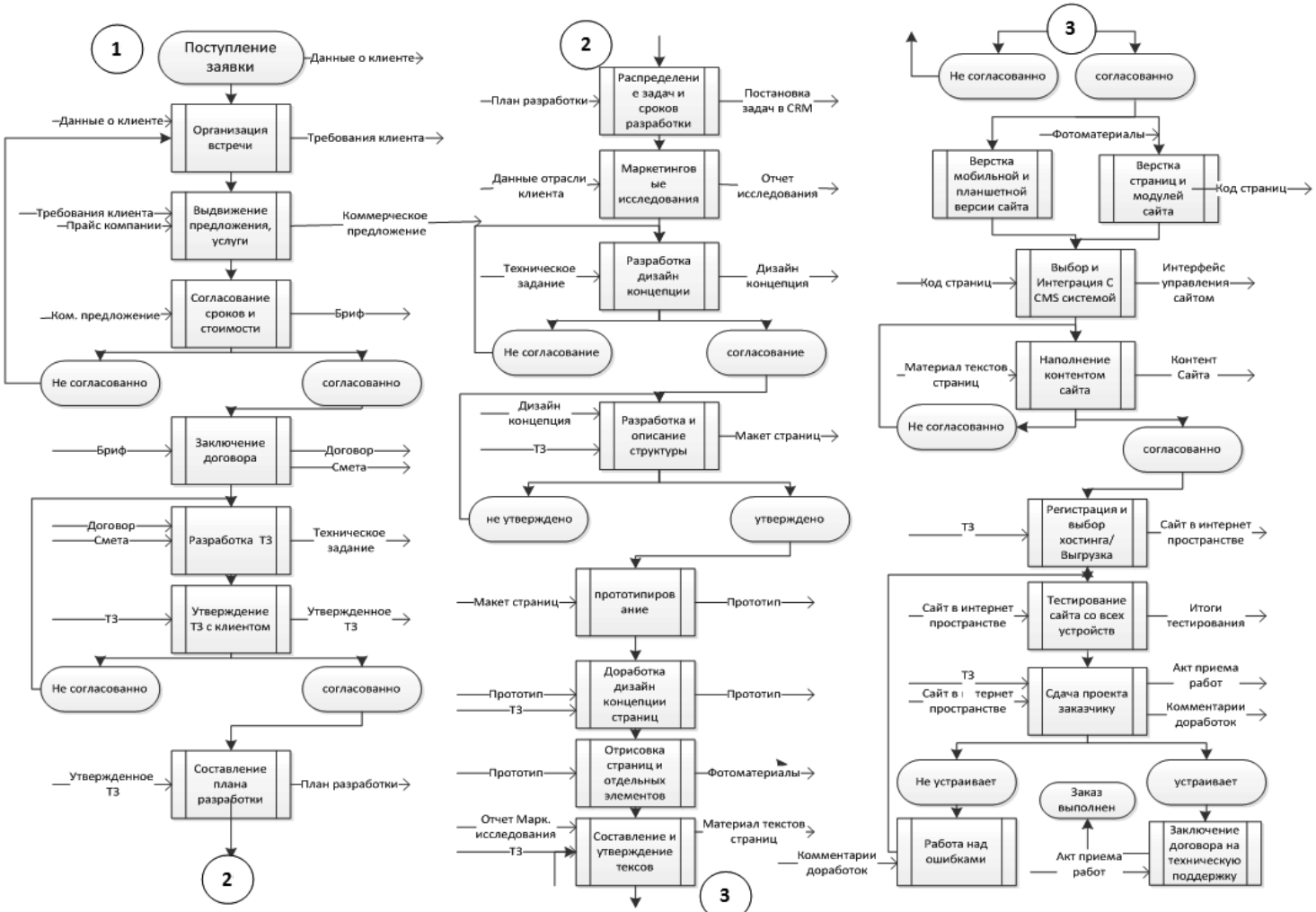


Рисунок 1 - Схема бизнес-процесса

можно представить как механизм обслуживания заявок, его модель представима в терминах дискретно-событийного подхода и частично агентного, если принять, что заявки на выполнение услуги изображаются агентами [9].

Однако, как уже было отмечено, исследуемая система является сложной стохастической, поэтому рационально применение компьютерного метода статистического имитационного моделирования (СИМ). В рамках СИМ существует несколько подходов и технологий, например, Монте-Карло. В работе предлагается использовать комплексный метод Димова-Маслова (МДМ), особенности которого заключаются в направленности на сложные слабо структурируемые системы, системный подход в основе и использовании разнородных знаний при формировании исходных данных для СИМ. В соответствии с МДМ необходимо выполнить ряд действий: 1) содержательное описание и всестороннее исследование процесса; 2) определение случайных величин и законов их распределения; 3) вывод математической модели; 4) разработка на ее основе имитационной модели; 5) планирование и проведение компьютерного эксперимента с последующей статистической обработкой и интерпретацией результатов [10].

Входными данными будут являться: количество выполненных за период моделирования заявок на разработку сайта, время их выполнения, себестоимость разработки, количество задействованных в проекте сотрудников, графики и диаграммы динамики реализации проектов и другие показатели.

Заключение

В статье рассмотрены аспекты отрасли web-разработки, обоснована актуальность выбранной тематики на основе развития информационного общества России. Описан БП *«Ведение проекта по разработке и администрированию web-ресурса»,* выявлены проблемы, связанные с ведением проекта разработки сайта, и обоснована целесообразность применения СИМ для анализа существующего БП и управления им в целях повышения эффективности работы компании.

Список литературы

[1] Министерство цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации: Государственная программа электронное общество 2011-2020 [Электронный ресурс] – Режим доступа http://minsvyaz.ru/ru/activity/programs/1// – Загл. с экрана.

[2] Создание сайтов в 2018 году: [Электронный ресурс] – Режим доступа https://www.plerdy.com/ru/blog/web-development-2018/– Загл. с экрана.

[3] CMS Magazin – аналитический портал рынка web – разработки/ каталог web - студий: [Электронный ресурс] – Режим доступа http://www.cmsmagazine.ru/creators/ – Загл. с экрана.

[4] Чугунов А. В. Социальная информатика: Учебное пособие. Москва – 2012, с 123.

[5] К.К. КОЛИН – СОЦИАЛЬНАЯ ИНФОРМАТИКА: 25 ЛЕТ РАЗВИТИЯ РОССИЙСКОЙ НАУЧНОЙ ШКОЛЫ, Москва 2012, с 45.

[6] CMS Magazin – аналитический портал рынка web – разработки/ исследование рынка заказной web – разработки: [Электронный ресурс] – Режим доступа http://research.cmsmagazine.ru/market-research-for-custom-web-development/ – Загл. с экрана.

[7] Духанов, А. В., Медведева О.Н. Имитационное моделирование сложных систем: курс лекций – Владимир: Изд-во Владим. гос. ун-та, 2010. – 115 с.

[8] Лычкина Н.Н. Имитационное моделирование экономических процессов: учебное пособие. М.: Академия АйТи, 2005. С 98.

[9] Девятков В.В. Методология и технология имитационных исследований сложных систем: современное состояние и перспективы развития: монография. М.: Вузовский учебник: ИНФРА-М, 2013. 448 с.

[10] Димов Э.М., Маслов О.Н., Трошин Ю.В., Халимов Р.Р. Динамика разработки имитационной модели бизнес-процесса Гмурман. / Инфокоммуникационные технологии. Т. 11, №1, 2013. – С.78.

ОПТИМИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ АКТИВНЫМИ РЕСУРСАМИ ГРУППИРОВКИ УПРАВЛЯЕМЫХ СРЕДСТВ ПОРАЖЕНИЯ В КОНФЛИКТНОЙ СИТУАЦИИ С ГРУППОЙ РАКЕТНЫХ КАТЕРОВ

А.И. Никитенко, Е.М. Воронов, А.Л. Репкин

Московский Государственный Технический Университет им. Н.Э. Баумана
105005, Москва, ул. 2-я Бауманская, 5, Россия
nikitenko.andrej@yandex.ru
тел: +7 (915) 437-06-30, 8 (499) 263-63-23

Ключевые слова: *управление ресурсами, целераспределение, конфликтно-оптимальный прогноз, многообъектные системы летательных аппаратов, стабильно-эффективный компромисс.*

Abstract

In this paper, the application of the theory of optimal control and decision-making in the problem of managing the resources of multi-objective marine groupings and air systems in a conflict situation was considered. The scheme and mathematical model of the conflict situation is formed. A complex conflict-optimal targeting algorithm is presented as a function of the configuration of systems, the forecast of the dynamics of the conflict, the ranking of targets, and electronic countermeasures.

Введение

Статья посвящена проблемам управления сложной многообъектной системой летательных аппаратов, возникающих в задаче повышения эффективности при групповом применении. Одной из основных задач в данном направлении является задача управления ресурсами в условиях активного конфликтного взаимодействия и неопределенности. Рассматривается оптимизация управления ресурсами группировки активных управляемых воздушных средств в конфликтной ситуации с группой надводных целей. Главной подзадачей системы управления ресурсами является целераспределение, которое с целью повышения эффективности комбинируется с другими алгоритмами: формализацией конфигурации систем (КС), ранжирования целей (РЦ), имитации такта конфликта (ИТК), прогноза динамики конфликта (ПДК) учета радиоэлектронного противодействия (РЭП) с обеих сторон [1].

1 Постановка задачи

В качестве прикладной задачи рассматривается взаимодействие группы ракетных катеров (ГРК) и группировки противокорабельных управляемых средств поражения (УСП). Активными средствами в конфликтной ситуации являются входящие в состав РК комплексы СПВО типов ЗРК МД «НАТО Си Спарроу» Mk.29, ЗРК МД RAM с ЗУР RIM-116B Mk.49, ЗАК Mk.75, 76 мм [3]. В состав воздушной группировки входят противорадиолокационные (ПРР) и противокорабельные УСП с активной ГСН (ПКР АГ). Дополнительно в состав систем включаются воздушные средства радиоэлектронной борьбы и противодействия (РЭП). Исходная конфигурация систем на начало взаимодействия схематично представлена на рисунке 1.

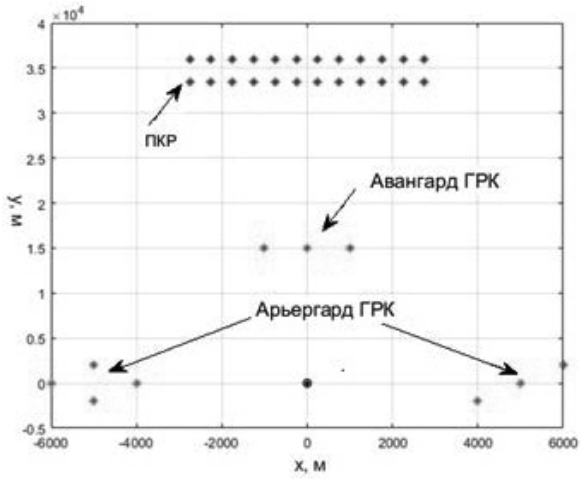


Рисунок 1 – Конфигурация систем на начало взаимодействия

ГРК представлен 2 группами: авангард, обеспечивающий разведку и более эффективную постановку помех воздушной группировке, и арьергард. Сценарий конфликта предполагает двухтактное взаимодействие группировки УСП (ГУСП) с подгруппами ГРК отдельно. Группировка УСП построена в линейную конфигурацию, запуск ПРР происходит перед запуском ПКР АГ.

1.1 Модель взаимодействия на первом такте

Схема взаимодействия группировки УСП с ГРК на первом такте приведена на рисунке 2.

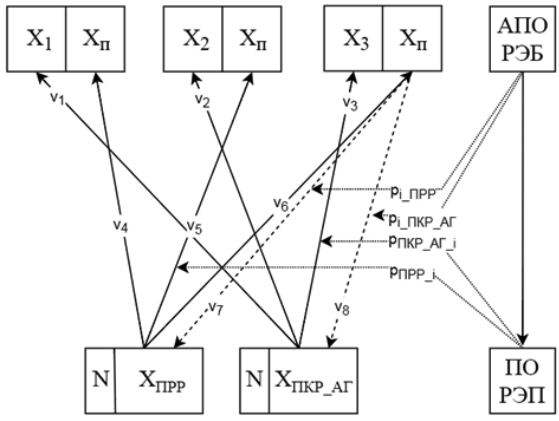


Рисунок 2 – Схема взаимодействия группировки УСП с ГРК на первом такте конфликта

Уравнения, описывающие воздействие активных средств – ПКР АГ по бортам РК (урон на потопление):

$$\begin{cases} \mathbf{X}_1(t_2) = \mathbf{X}_1(t_1) + \mathbf{P}_{ij}^{\theta\psi} \cdot \nu_1 \cdot \mathbf{X}_{П_АГ}(t_2) \\ \mathbf{X}_2(t_2) = \mathbf{X}_2(t_1) + \mathbf{P}_{ij}^{\theta\psi} \cdot \nu_2 \cdot \mathbf{X}_{П_АГ}(t_2), \\ \mathbf{X}_3(t_2) = \mathbf{X}_3(t_1) + \mathbf{P}_{ij}^{\theta\psi} \cdot \nu_3 \cdot \mathbf{X}_{П_АГ}(t_2) \end{cases}$$

где $\mathbf{X}_i(t_k)$ – количество успешных попаданий по борту *i*-го РК на момент времени t_k; $\mathbf{X}_{П_АГ}(t_k)$ – количество непораженных ПКР АГ, оставшихся к моменту t_k (момент подлета ПКР АГ первой группы к борам РК); ν_i – доля ПКР АГ, выделенных на поражение *i*-го РК; $\mathbf{P}_{ij}^{\theta\psi}$ – вероятность поражения (эффективность взаимодействия) объекта типа *j* в точке конфигурации θ объектом типа *i* в точке с меткой ψ. Для долей численностей ν_i верно следующее ограничение:

$$\nu_1 + \nu_2 + \nu_3 = 1$$

Уравнения, описывающие воздействие пассивных средств – ПРР по палубным средствам РК:

$$\begin{cases} \mathbf{X}_{П1}(t_2) = \mathbf{X}_{П1}(t_1) - \sum_{i=1}^{3}\sum_{j=1}^{3} \boldsymbol{\gamma}_{ij}^{\theta\psi}\ \mathbf{P}_{ij}^{\theta\psi} \\ \mathbf{X}_{П2}(t_2) = \mathbf{X}_{П2}(t_1) - \sum_{i=1}^{3}\sum_{j=1}^{3} \boldsymbol{\gamma}_{ij}^{\theta\psi}\ \mathbf{P}_{ij}^{\theta\psi}\ , \\ \mathbf{X}_{П3}(t_2) = \mathbf{X}_{П3}(t_1) - \sum_{i=1}^{3}\sum_{j=1}^{3} \boldsymbol{\gamma}_{ij}^{\theta\psi}\ \mathbf{P}_{ij}^{\theta\psi} \end{cases}$$

при условии:

$$\mathbf{X}_{Пi}(t_1) = \begin{cases} 0, & \mathbf{X}_i(t_2) \geq 3 \\ 3, & \mathbf{X}_i(t_2) < 3 \end{cases},$$

где: $\mathbf{X}_{Пi}(t_k)$ – количество непораженных средств корабельной СПВО *i*-го РК на момент времени t_k без учета канальности; $\boldsymbol{\gamma}_{ij}^{\theta\psi}$ – матрица целераспределения *i* –х средств (ПРР) по *j*–м объектам (ЗРК/ЗАК) элементы которой при фиксированных *i* и *j* имеют смысл:

$$\gamma_{ij}^{\theta\psi} = \begin{cases} 1, \text{ если объект типа } j, \text{ находящийся в точке } \psi, \\ \text{будет "обслужен" АО типа } i \text{ из точки } \theta; \\ 0, \text{ если этого не произойдёт.} \end{cases}$$

$\mathbf{P}_{ij}^{\theta\psi}$ – вероятность поражения (эффективность взаимодействия) объекта типа *j* в точке конфигурации θ объектом типа *i* в точке с меткой ψ. Доли численности средств выделенных для поражения объектов СПВО *i*-го РК вычисляются из следующих соотношений (пример для РК№1):

$$\sum_{i=1}^{3}\sum_{j=1}^{3} \boldsymbol{\gamma}_{ij}^{\theta\psi}\ \mathbf{P}_{ij}^{\theta\psi} = \nu_4 \mathbf{X}_{ПРР}(t_2).$$

Аналогично для долей ν_i вводится ограничение: $\nu_4 + \nu_5 + \nu_6 = 1$.

Матрица $\{\gamma_{ij}\}$ формируется итерационным решением задачи назначения, критерий которой имеет вид: $M(x_n)=\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n}P_{ij}\gamma_{ij}\to\max;\qquad \sum_{j=1}^{n}\gamma_{ij}=1,\ i=\overline{1,m};\ \sum_{i=1}^{m}\gamma_{ij}=1,\ j=\overline{1,n};$

$\gamma_{ij}=\{0;1\}$. Решение задачи осуществляется комбинацией методов минимального элемента и точного метода Мака, которая учитывает точность и быстродействие ЦР. С целью упрощения структуры алгоритма и увеличения быстродействия возможно получение и использование зависимостей $C(\nu)$ на итерационном шаге ЦР вместо решения задачи ЦР на каждой итерации). $C(\nu)$ – максимальное среднее число поражаемых активных средств противника при воздействии на них фиксированным количеством активных средств противоположной стороны [1].

Уравнения, описывающие воздействие корабельных средств СПВО – на ПКР АГ и ПРР:

$$\begin{cases}\mathbf{X}_{П_АГ}(t_2)=\mathbf{X}_{П_АГ}(t_1)-\nu_7\cdot\left(\mathbf{P}_1^{\theta\psi}\cdot\mathbf{X}_{П1}(t_1)+\mathbf{P}_2^{\theta\psi}\cdot\mathbf{X}_{П2}(t_1)+\mathbf{P}_3^{\theta\psi}\cdot\mathbf{X}_{П3}(t_1)\right)\\ \mathbf{X}_{ПРР}(t_2)=\mathbf{X}_{ПРР}(t_1)-\nu_8\cdot\left(\mathbf{P}_1^{\theta\psi}\cdot\mathbf{X}_{П1}(t_1)+\mathbf{P}_2^{\theta\psi}\cdot\mathbf{X}_{П2}(t_1)+\mathbf{P}_3^{\theta\psi}\cdot\mathbf{X}_{П3}(t_1)\right)\end{cases}$$

где $\mathbf{X}_{П_АГ}(t_k)$ $\left(\mathbf{X}_{ПРР}(t_k)\right)$ – количество непораженных ПКР АГ (ПРР) на момент времени t_k; $\mathbf{X}_{Пj}(t_k)$ – количество комплексов корабельной СПВО *i*-го типа на момент времени t_k; $\mathbf{P}_j^{\theta\psi}$ – вероятность поражения (эффективность взаимодействия) комплексом типа *j* в точке конфигурации θ ПКР АГ (ПРР) в точке с меткой ψ; ν_7 (ν_8) – доля общего числа средств корабельной СПВО, выделенных на поражение ПКР АГ (ПРР). Для долей ν_i вводится ограничение: $\nu_7+\nu_8=1$.

Учет РЭП производится путем уменьшения вероятности поражения $\mathbf{P}_{ij}^{\theta\psi}$ в соответствии с формулой:

$$\mathrm{P}_{ij}^{\theta\psi}=\mathrm{P}_{ij}^{\theta\psi}{}_{3i_0}-\Delta\left(1-e^{-\lambda}\right),$$

где λ - коэффициент мощности воздействия комплексов РЭП, Δ-константа.

Скаляризованный критерий в терминальной форме имеет смысл максимизации потерь противоположной стороны к концу такта:

$$J_{ПКР}=\alpha_1\left(-\mathbf{X}_{П_АГ}(t_2)^2-\mathbf{X}_{ПРР}(t_2)^2\right)+\alpha_2\left(\left(3-\mathbf{X}_1(t_2)\right)^2-\left(3-\mathbf{X}_2(t_2)\right)^2-\left(3-\mathbf{X}_3(t_2)\right)^2\right)$$
$$+\alpha_3\left(\mathbf{X}_{П1}(t_2)^2+\mathbf{X}_{П2}(t_2)^2+\mathbf{X}_{П3}(t_2)^2\right)$$
$$J_{КУГ}=\beta_1\left(\mathbf{X}_{П_АГ}(t_2)^2+\mathbf{X}_{ПРР}(t_2)^2\right)+\beta_2\left(\mathbf{X}_1(t_2)^2-\mathbf{X}_2(t_2)^2-\mathbf{X}_3(t_2)^2\right)+\beta_3\left(\left(\mathbf{X}_{П1}(t_2)-3\right)^2+\right.$$
$$\left.+\left(\mathbf{X}_{П2}(t_2)-3\right)^2+\left(\mathbf{X}_{П3}(t_2)-3\right)^2\right)$$

Составляющие критерия с коэффициентом α_1 (β_1) имеют смысл количества сохраненных после воздействия СПВО ГРК средств ГУСП; α_2 (β_2) – количество попаданий по борту

i-го РК; α_3 (β_3) – количество сохраненных палубных средств СПВО *i-го* РК. Комплексный алгоритм конфликтно-оптимального представлен на рисунке 3.

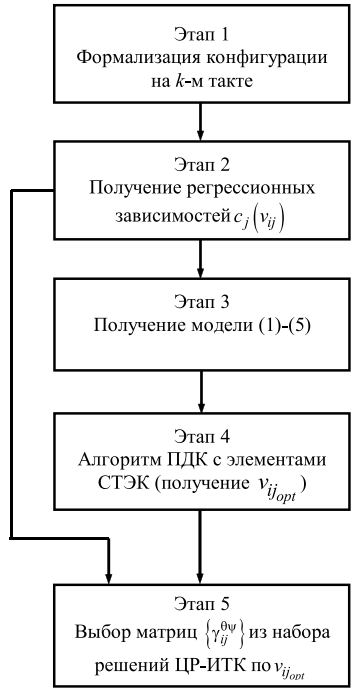


Рисунок 3 – Комплексный алгоритм конфликтно-оптимального управления ресурсами

1.2 Модель взаимодействия на втором такте

На втором такте конфликта вторая группа ПКР взаимодействует с двумя подгруппами арьергарда ГРК. При полном поражении авангарда ГРК эффективность помех наведению ПКР уменьшается.

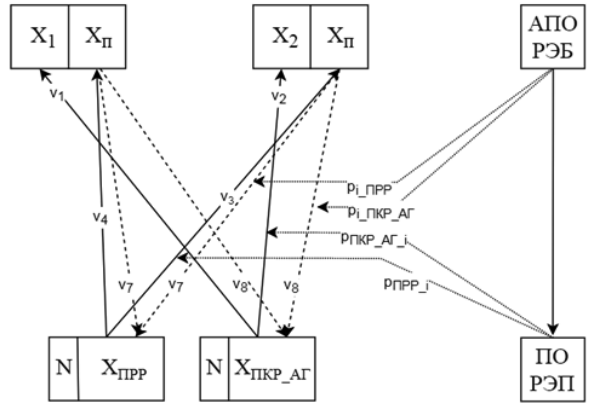


Рисунок 4 – Схема взаимодействия группировки УСП с ГРК на втором такте конфликта

Уравнения, описывающие воздействие активных средств – ПКР АГ по бортам РК (урон на потопление):

$$\begin{cases} \mathbf{X}_1(t_3) = \mathbf{X}_1(t_2) + \sum_i \sum_j \boldsymbol{\gamma}_{ij_1}^{\theta\psi} \mathbf{P}_{ij}^{\theta\psi} \\ \mathbf{X}_2(t_3) = \mathbf{X}_2(t_2) + \sum_i \sum_j \boldsymbol{\gamma}_{ij_2}^{\theta\psi} \mathbf{P}_{ij}^{\theta\psi} \cdot \\ \sum_i \sum_j \boldsymbol{\gamma}_{ij_1}^{\theta\psi} \mathbf{P}_{ij}^{\theta\psi} = \nu_1 \cdot \mathbf{X}_{П_АГ}(t_3) \\ \sum_i \sum_j \boldsymbol{\gamma}_{ij_2}^{\theta\psi} \mathbf{P}_{ij}^{\theta\psi} = \nu_2 \cdot \mathbf{X}_{П_АГ}(t_3) \end{cases}$$

где: $\mathbf{X}_i(t_k)$ – количество успешных попаданий по борту РК подгруппы №1 на момент времени t_k; ν_i – доля ПКР АГ, выделенных на поражение i-й подгруппы РК; $\mathbf{X}_{П_АГ}(t_k)$ – количество непораженных ПКР АГ, оставшихся к моменту t_k (момент подлета ПКР АГ второй группы к борам РК); $\mathbf{P}_{ij}^{\theta\psi}$ – вероятность поражения (эффективность взаимодействия) объекта типа j в точке конфигурации θ объектом типа i в точке с меткой ψ. Для долей численностей ν_i выполняется следующее ограничение: $\nu_1 + \nu_2 = 1$; $\boldsymbol{\gamma}_{ij_k}^{\theta\psi}$ – матрица целераспределения i –х средств (ПКР АГ) по j–м объектам (РК) k-й подгруппы.

Уравнения, описывающие воздействие пассивных средств – ПРР по палубным средствам РК:

$$\begin{cases} \mathbf{X}_{П1}(t_3) = \mathbf{X}_{П1}(t_2) - \sum_{i=1}^{9} \sum_{j=1}^{9} \boldsymbol{\gamma}_{ij_1}^{\theta\psi} \mathbf{P}_{ij}^{\theta\psi} \\ \mathbf{X}_{П2}(t_3) = \mathbf{X}_{П2}(t_2) - \sum_{i=1}^{12} \sum_{j=1}^{12} \boldsymbol{\gamma}_{ij_2}^{\theta\psi} \mathbf{P}_{ij}^{\theta\psi} \\ \sum_i \sum_j \boldsymbol{\gamma}_{ij_1}^{\theta\psi} \mathbf{P}_{ij}^{\theta\psi} = \nu_3 \mathbf{X}_{ПРР}(t_2) \\ \sum_i \sum_j \boldsymbol{\gamma}_{ij_2}^{\theta\psi} \mathbf{P}_{ij}^{\theta\psi} = \nu_4 \mathbf{X}_{ПРР}(t_2) \\ \mathbf{X}_{П1}(t_3) = \mathbf{X}_{П1}(t_3) - \left[\sum_i \frac{X_1(t_3)}{3} \right] \\ \mathbf{X}_{П2}(t_3) = \mathbf{X}_{П2}(t_3) - \left[\sum_i \frac{X_2(t_3)}{3} \right] \end{cases}$$

где: $\mathbf{X}_{Пi}(t_k)$ – количество непораженных средств корабельной СПВО i-й группы РК на момент времени t_k без учета канальности; $\boldsymbol{\gamma}_{ij}^{\theta\psi}$ – матрица целераспределения i –х средств (ПРР) по j–м объектам (ЗРК/ЗАК) подгруппы. $\mathbf{P}_{ij}^{\theta\psi}$ – вероятность поражения (эффективность взаимодействия) объекта типа j в точке конфигурации θ объектом типа i в точке с меткой ψ. $\boldsymbol{\gamma}_{ij_k}^{\theta\psi}$ – матрица целераспределения i –х средств (ПРР) по j–м объектам (СПВО РК) k-й подгруппы.

Член $\left[\sum_i \frac{X_1(t_3)}{3}\right]$ - обозначает количество комплексов СПВО, не пораженных ПРР но находившихся на потопленных в результате трех попаданий РК.

Аналогично (2) для долей ν_i вводится ограничение:

$\nu_3 + \nu_4 = 1.$

Уравнения, описывающие воздействие корабельных средств СПВО – на ПКР АГ и ПРР:

$$\begin{cases} \mathbf{X}_{П_АГ}(t_3) = \mathbf{X}_{П_АГ}(t_2) - \nu_7 \cdot \left(\mathbf{P}_1^{\theta\psi} \cdot \mathbf{X}_{П1}(t_2) + \mathbf{P}_2^{\theta\psi} \cdot \mathbf{X}_{П2}(t_2) + \mathbf{P}_3^{\theta\psi} \cdot \mathbf{X}_{П3}(t_2)\right) \\ \mathbf{X}_{ПРР}(t_3) = \mathbf{X}_{ПРР}(t_2) - \nu_8 \cdot \left(\mathbf{P}_1^{\theta\psi} \cdot \mathbf{X}_{П1}(t_2) + \mathbf{P}_2^{\theta\psi} \cdot \mathbf{X}_{П2}(t_2) + \mathbf{P}_3^{\theta\psi} \cdot \mathbf{X}_{П3}(t_2)\right) \end{cases}$$

где $\mathbf{X}_{П_АГ}(t_k)$ $\left(\mathbf{X}_{ПРР}(t_k)\right)$ – количество непораженных ПКР АГ(ПРР) на момент времени t_k; $\mathbf{X}_{Пj}(t_k)$ – количество комплексов корабельной СПВО i-го типа на момент времени t_k; $\mathbf{P}_j^{\theta\psi}$ – вероятность поражения (эффективность взаимодействия) комплексом типа j в точке конфигурации θ ПКР АГ (ПРР) в точке с меткой ψ; $\nu_5\ (\nu_6)$ – доля общего числа средств корабельной СПВО, выделенных на поражение ПКР АГ (ПРР). Для долей ν_i вводится ограничение: $\nu_5 + \nu_6 = 1.$

1.3 Моделирование взаимодействия на первом такте

Моделирование производится для описанной выше базовой конфигурации при начальной численности залпа 24 ПКР. Базовые вероятности воздействия средств СПВО ГРК на ПКР АГ: $P_1 = 0{,}7\ \ P_2 = 0{,}4\ \ P_3 = 0{,}3$, на ПРР: $P_1 = 0{,}55\ \ P_2 = 0{,}3\ \ P_3 = 0{,}3$. Базовые вероятности воздействия средств ГУСП на борта РК $P = 0{,}83$, на палубные средства $P = 0{,}90$. Мощности воздействия $\lambda_{РЭП\,ГУСП} = 0.9$, $\lambda_{РЭБ} = 0.7$.

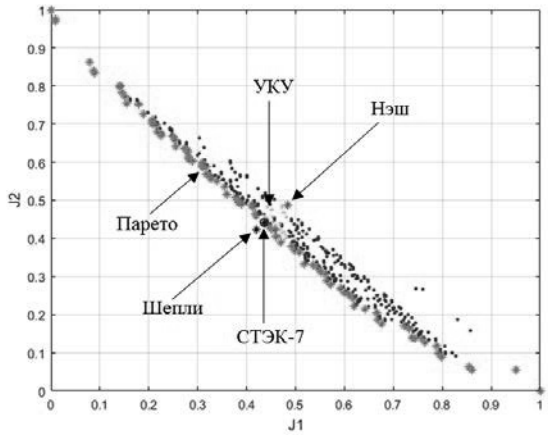


Рисунок 5 – Область значений нормированных показателей

Коэффициенты критерия, имеющие характеризующие такту системы в конфликтном взаимодействии:

$\alpha_1 = 0,3 \;\; \alpha_2 = 0,5 \;\; \alpha_3 = 0,2$

$\beta_1 = 0,2 \;\; \beta_2 = 0,7 \;\; \beta_3 = 0,1$

Таблица 1 – Результат моделирования взаимодействия на первом такте

	$\mathbf{X}_{П_АГ}$	$\mathbf{X}_{ПРР}$	$\mathbf{X}_1$	$\mathbf{X}_2$	$\mathbf{X}_3$	$\mathbf{X}_{П1}$	$\mathbf{X}_{П2}$	$\mathbf{X}_{П3}$
t_1	12	12	0	0	0	3	3	3
t_2	7	8	1	0	3	1	0	0

Оптимальные доли численностей:

$\nu_1 = 0,25; \;\; \nu_2 = 0,09; \;\; \nu_3 = 0,66; \; \nu_4 = 0,42; \;\; \nu_5 = 0,58; \;\; \nu_6 = 0,00; \;\;\; \nu_7 = 0,73; \;\;\; \nu_8 = 0,27;$

Оптимальные значения критериев:

$J_1 = -19,97 \;\; J_2 = 33.08$

В результате решения задачи ЦР-ПДК получены оптимальные по заданному критерию доли численности, которые соответствуют следующему ЦР: РК№1 – 3 ПКР АГ, 5 ПРР; РК№2 – 1 ПКР АГ, 7 ПРР; РК№3 – 8 ПКР АГ, 0 ПРР. Оптимальный прогноз предполагает 33% потопленных РК и 90% уничтоженных СПВО.

1.4 Моделирование взаимодействия на втором такте

Моделирование производится для описанной выше базовой конфигурации при начальной численности залпа 24 ПКР. Базовые вероятности остаются без изменений за исключением снижения мощности воздействия РЭП ГРК $\lambda_{РЭП_ГРК} = 0.5$.

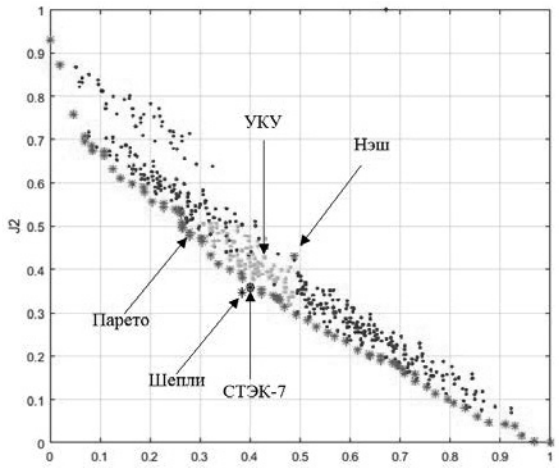


Рисунок 6 – Область значений нормированных показателей

Коэффициенты критерия, имеющие характеризующие такту системы в конфликтном взаимодействии:

$\alpha_1 = 0,3 \;\; \alpha_2 = 0,5 \;\; \alpha_3 = 0,2$

$\beta_1 = 0,2 \;\; \beta_2 = 0,7 \;\; \beta_3 = 0,1$

Таблица 2 – Результат моделирования взаимодействия на втором такте

	$\mathbf{X}_{П_АГ}$	$\mathbf{X}_{ПРР}$	$\mathbf{X}_1$	$\mathbf{X}_2$	$\mathbf{X}_{П1}$	$\mathbf{X}_{П2}$
t_1	24	24	3 (10)	0 (0)	12	9
t_2	12	14	1	0	0	4

Оптимальные доли численностей:

$\nu_1 = 1,0; \;\; \nu_2 = 0,0; \;\; \nu_3 = 0,57; \;\; \nu_4 = 0,43; \;\; \nu_7 = 0,75; \;\; \nu_8 = 0,25;$

Оптимальные значения критериев: $J_1 = -6,50 \;\; J_2 = 89.50$

В результате решения задачи ЦР-ПДК получены оптимальные по заданному критерию доли численности и соответствующее им ЦР. Оптимальный прогноз предполагает 43% потопленных РК и 80% уничтоженных СПВО.

1.5 Многофакторный анализ

На основе разработанного комплексного алгоритма возможно произвести анализ влияния различных факторов на результат конфликтного взаимодействия путем имитационного стохастического моделирования (рисунок 7) с применением процедуры ИТК и получением численных зависимостей. Рассматриваемыми направления анализа являются:

- влияние изменения состава ГУСП на результат выполнения задачи (изменение соотношения количества ПРР и ПКР АГ в группировке);
- влияние изменения мощности РЭП со стороны ГУСП на результат выполнения задачи (изменение эффективностей воздействия $\mathbf{P}_{ij}^{\theta\psi}$).

При проведении экспериментов исследуемые параметры изменяются с целью определения значений, обеспечивающих выполнение некоторой тактической задачи. В качестве примера приведем результаты эксперимента исследования влияния мощности РЭП со стороны ГУСП в сочетании с изменением состава ГУСП, при котором обеспечивается поражение 80 % РК.

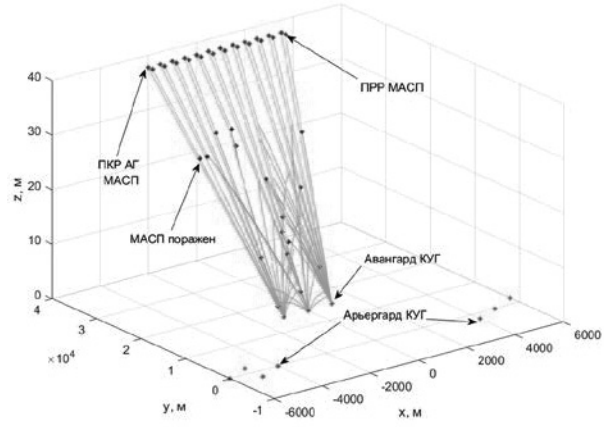


Рисунок 7 – Имитация взаимодействия

Таблица 3 – Результаты имитационного эксперимента

№ эксперимента	Количество уничтоженных катеров	Количество пробоин	Общее количество уничтоженных СПВО	Количество уничтоженных ПКР АГ	Доля пораженных ПКР от общего числа	Доля пораженных катеров от общего числа катеров	Доля пораженных СПВО от общего числа СПВО
1	3	9	9	9	37,50%	100,00%	100,00%
2	2	8	6	13	54,16%	66,67%	66,67%
3	3	9	9	11	45,83%	100,00%	100,00%
4	3	9	9	8	33,33%	100,00%	100,00%
5	3	9	9	10	41,66%	100,00%	100,00%
Ср.знач	2,8	8,8	8,4	10,2	42,50%	93,33%	93,33%

Заключение

Таким образом разработан комплексный алгоритм управления ресурсами воздушной группировки УСП в конфликтной ситуации с группой морских целей, включающий ЦР-РЦ-КС-ПДК-ИТК-РЭП, имеющий теоретическую и практическую значимость. Достоинством алгоритма является возможность заранее получать оптимальные по заданному критерию численности для типовых ордеров целей и на их основе формировать базы данных ЦР с высоким быстродействием.

При разработке алгоритма использовались современные методы теории управления в сочетании с методами теории оптимизации и принятия решений [1], [2].

Список литературы

[1] Воронов Е.М. Методы оптимизации управления многообъектными мно-гокритериальными системами на основе стабильно-эффективных компромиссов. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001, 576 с.

[2] С. С. Семенов, Е. М. Воронов, А. В. Полтавский, А. В. Крянев. «Методы принятия решений в задачах оценки качества и технического уровня сложных технических систем». Под редакцией доктора технических наук, профессора Е. Я. Рубиновича. М., ООО «ЛЕНАНД», 2015, 520 стр.

[3] Федосов Е.А. Современные зенитные и противоракетные комплексы и их применение в составе систем ПВО/ПРО. Москва, Изд-во Государственный научно-исследовательский институт авиационных систем, 2011, 171 с.

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА УПРАВЛЕНИЯ ТРАЕКТОРНЫМ ДВИЖЕНИЕМ ГРУППЫ МОБИЛЬНЫХ РОБОТОВ

В.В. Попеленков[2], К.Ю. Котов[1], А.С. Мальцев[1]

[1]Институт автоматики и электрометрии СО РАН
630090, Новосибирск, пр. Коптюга, 1, Россия
kotov@idisys.iae.nsk.su
тел: +7 (363) 333-26-25

[2]Новосибирский государственный университет
630090, Новосибирск, ул. Пирогова, 2, Россия
тел: +7 (383) 330-32-44

Ключевые слова: *Децентрализованный алгоритм, управление группировкой, когнитивная сила, конфигурация группы, избегание столкновений*

Abstract

Crowd control in multi-robot systems has become an important area of research for collective robotics, inspired by biological systems. Developments of swarm intelligence are promising for various industrial, commercial and military solutions. Computer simulations are successfully used to demonstrate new implementations of control for the large robot swarm.

Введение

В настоящее время активно развиваются алгоритмы управления группой мобильных роботов. Применение таких систем является перспективным для многих областей жизнедеятельности.

Децентрализованная система управления позволяет каждому роботу быть автономной рабочей единицей. Высокая стоимость мобильных роботов и неустойчивость при контакте с окружающей средой, в том числе у летательных аппаратов, требуют реализации надежных алгоритмов управления, обеспечивающих движение без столкновений.

Наибольший интерес представляет изучение движения роя, стада, толпы среди живых организмов. Этот самоорганизующийся субъект посредством собственных чувств восприятия достигают больших результатов, чем можно добиться одиночными индивидами. Успех данных индивидов заключен в собственной автономности и в разделении труда в рамках одной поставленной задачи. Известным примером является кормовая деятельность муравьев, где каждый муравей, следуя ряду простых правил повышает эффективность выживания колонии [1]. Похожее поведение можно наблюдать в толпе людей, например, в переходах или помещениях коридорного типа, где каждый индивид стремится попасть в доминирующий поток сонаправленный с его движением.

В большинстве источников [2-5] основным механизмом управления является задание желаемого ускорения роботу, так называемая когнитивная сила. Задание данных сил оперирует такими понятиями, как вектор до цели, расстояние и угол до столкновения. Как правило, они базируются на задании потенциальных полей и имеют характер подобный физическим силам, как сила притяжения, отталкивания, центростремительная. Результирующей силой является суперпозиция базовых сил и задание к ним параметров. Как следствие, управление определяется заданием набора дифференциальных уравнений и их решением.

1 Постановка задачи и описание средств изучения алгоритма

По аналогии с живыми организмами, чувствами восприятия будут являться лазерные дальномеры в качестве сенсорного восприятия окружающего мира, представленные на рисунке 1, и навигация в пространстве, для определения своих координат относительно целевых. На основе регулярного получения этих данных со зрительного модуля будет реализована стратегия движения каждого робота. По причине физических ограничений дальности действия дальномера зададим дальность видимости дальномеров H.

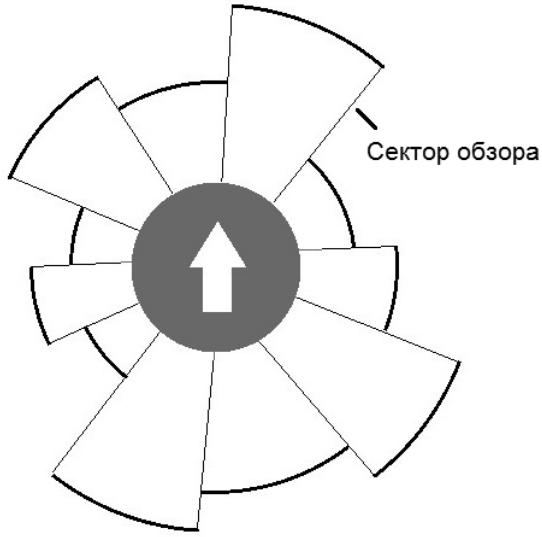


Рисунок 1 – Модель дальномерного зрения

Алгоритмы управления будут изучаться в собственной среде симуляции с инерционной физикой объектов. Зададим физической модели величину максимальной тяги a_{max}, которую можно реализовать в любом направлении. Ключевой параметр, который алгоритмы будут вычислять – это желаемая скорость v_{des}, которую необходимо реализовать текущий момент времени.

Ключевыми параметрами системы управления является избегание любых столкновений и выдерживание определенной дистанции от окружающих объектов, движение к заданной цели и ее достижение, а также ограничения восприятия внешнего мира, описанные выше.

Будет ставится задача реализации алгоритма движения группы роботов и управления их конфигурацией. Важно отметить, что когнитивные силы не должны превышать пороговых скоростей v_{max}, выше которых длина тормозного пути будет больше расстояния до препятствия.

2 Реализация алгоритма управления

Когнитивный модуль решает задачу планирования движения робота, получая данные со зрительного модуля. Когнитивный модуль базируется на когнитивных силах и вычисляет желаемую величину скорости. Общая когнитивная сила представляется в виде суперпозиции базовых когнитивных сил. Опишем каждую базовую силу по отдельности.

Целестремительная сила — сила, основной задачей которой, является движение по направлению к цели и ее достижение. Данная сила решает задачу набора скорости по направлению к цели, торможение вблизи ее местонахождения, а так же выбор траектории движения с

наиболее разряженной местностью. Формулами представлен выбор желаемой скорости и желаемого угла движения соответственно:

(1) $v_{des} = \frac{v_{max}}{2}\sqrt{\frac{\min\ \left(r_{goal};\, f(\alpha_{des})\right)}{H}};\ \alpha_{des} = \mathrm{argmax}_{\alpha}\, D(\alpha)$

где $f(\alpha)$ – расстояние до объекта под заданным углом определенное дальномером, α_{goal} – угол направления к цели, r_{goal} – расстояние до целевой координаты, $D(\alpha)$ – вспомогательная функция.

Вспомогательные функции могут быть разными, они отвечают за выбор более разреженного пути. Один и примеров данной функции представлен в работе:

(2) $D(\alpha) = 2H\cos(\alpha - \alpha_{goal}) + f(\alpha)$

Данный алгоритм способствует избеганию столкновений, но не предотвращает их, поэтому необходимы вспомогательные когнитивные силы.

Отталкивающая сила — ключевая задача данной силы, это избегание столкновений. Данная сила должна держать определенную дистанцию между объектами. Чем ближе объекты, тем сильнее необходимо отталкиваться.

(3) $\vec{v}_{des} = \frac{\vec{v}_{sum}}{v_{sum}}\min\ (v_{max};\, v_{sum})$

(4) $\vec{v}_{sum} = \sum_i \vec{v}_i$

(5) $\vec{v}_i = \frac{\vec{r}_i}{r_i}\left(1 - \frac{R}{r_i}\right)F$

В данном случае $\vec{r}_i$ является вектором направленным от себя к соседнему роботу и его длина равна расстоянию между ними. В случае дальномерного зрения это перебор всех секторов, где значения r_i равны $f(\alpha)$. Если v_i обнулить для $r_i > R$, то это будет строго отталкивающее взаимодействие.

3 Результаты моделирования

Среда моделирования была реализована самостоятельно на языке c# без использования сторонних библиотек моделирования физики. Результаты моделирования были получены путем выборки статистических параметров зависящих от времени и представлены в виде графиков.

Алгоритмы тестировались преимущественно для задач перестроения группы и были изучены такие параметры как количество столкновений, минимальная дистанция между роботами, расстояние до цели и многие другие, некоторые из которых будет представлены ниже. Для группы роботов числом от 10 до 100 экспериментальным путем было выявлено несколько экстремальных видов перестроений.

Наиболее сложной ситуацией перестроения являлось трансформация конфигурации группы из окружности в окружность, представленного на рисунке 2.

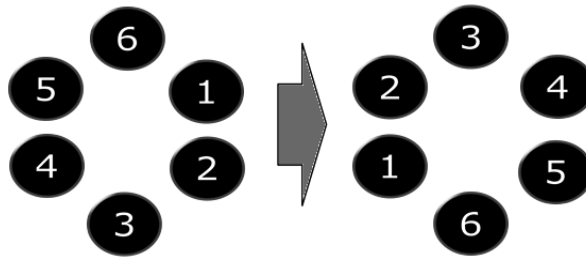
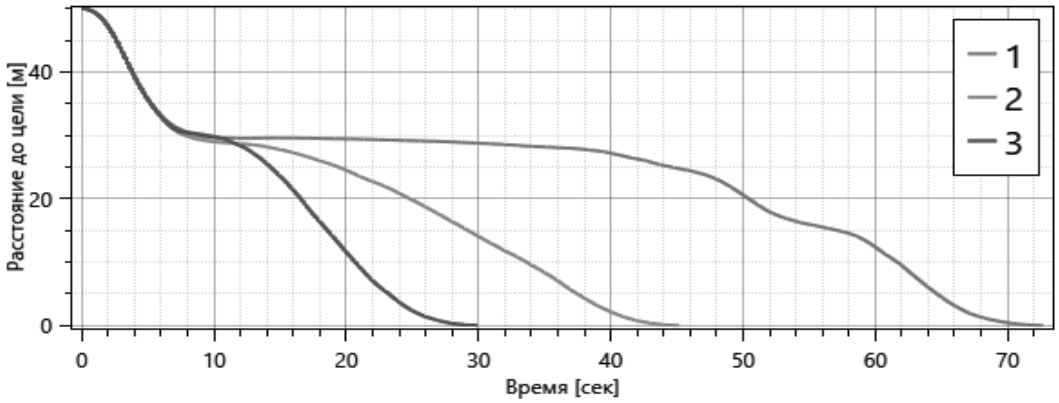


Рисунок 2 – Перестроение группы роботов из окружности в окружность

Была проведена серия экспериментов для данного вида перестроения с заданными параметрами:

Частота моделирования: 20 итераций/сек. Диаметры роботов: 1 метр. Угловые размеры секторов дальномерного зрения: 15 градусов. Дальность обзора дальномерного зрения: 6 метров. Величина максимальной тяги: $a_{max} = 6м/с^2$. Количество роботов: 50 штук. Вспомогательная функция целестремительного алгоритма: $D(\alpha) = f(\alpha)$. Параметры отталкивающего алгоритма: $R = 6$ м; $F = 6м/с$. Конфигурация группы: окружность, радиус 25 м.

Первая серия моделирований является характерной демонстрацией важности выбора более разреженной траектории движения для целестремительного алгоритма, представленного на рисунке 3. Движение направленное строго к цели показывает самый худший результат во всех экспериментах, что говорит о высокой значимости выбора направления движения. В то время как выигрышные функции выбора более разряженной траектории движения конкурируют между собой и показывают разные результаты в разных постановках перестроения. В плотных группах роботов выигрывает выбор траектории без корреляции относительно целевой координаты.



(1) $D(\alpha) = 0$ – вспомогательная функция всегда направленная к цели,
(2) $D(\alpha) = 2H\cos(\alpha - \alpha_{goal}) + f(\alpha)$ – с косинусным затуханием относительно цели,
(3) $D(\alpha) = f(\alpha)$ – с выбором более разряженной траектории.

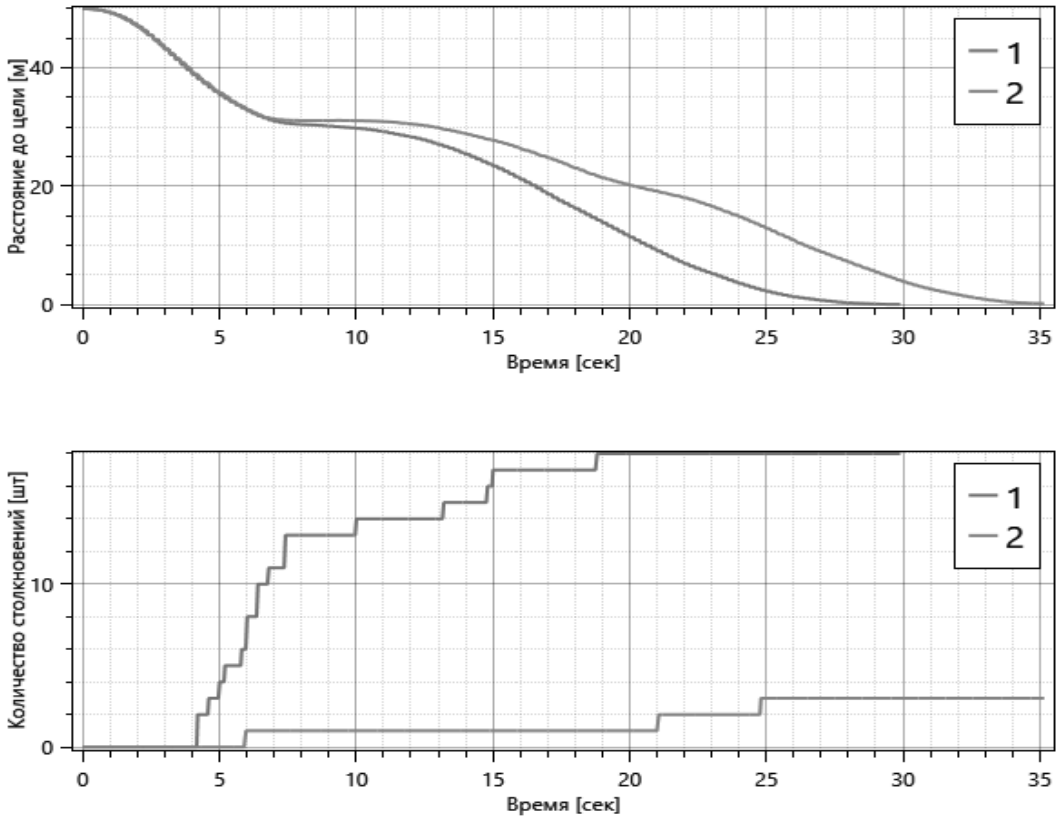
Рисунок 3 – Скорость достижения целевой координаты в зависимости от выбора траектории движения

Среднее расстояние до цели - усредненная сумма расстояний каждого робота до его цели.

(6) $\bar{G}(t) = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} G_i(t)$

Здесь $G_i(t)$ – расстояние до цели i-того робота в момент времени t, а N – количество роботов.

Вторая серия моделирований отличается тем, что задается более сильное влияние отталкивающего алгоритма. В то время как проигрыш по времени для достижения цели составляет порядка 10%, но это имеет значительное влияние на количество столкновений, представленного на рисунке 4. Выявлена прямая тенденция падения количества столкновений от увеличения отталкивающих сил, в том числе данный алгоритм имеет хорошие показатели для большого количества роботов.

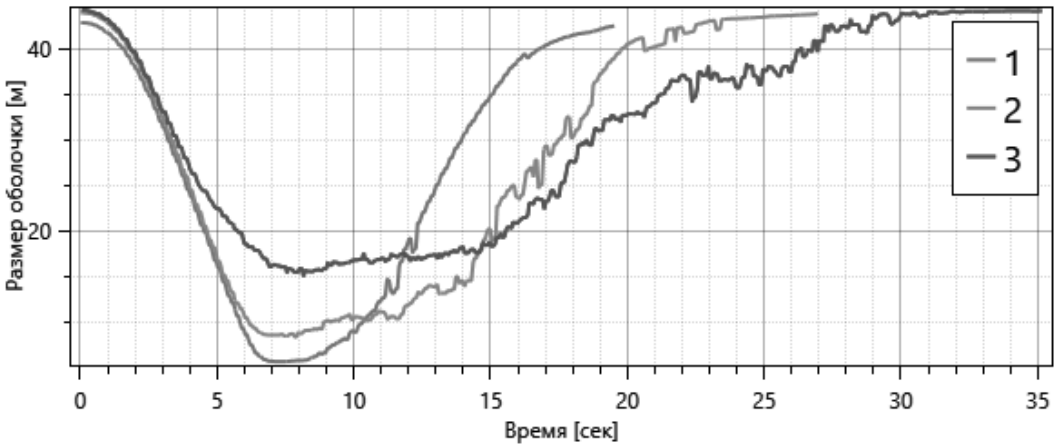


(1) $R = 3$ м; $F = 3м/с$ – недостаточно сильные параметры отталкивания,
(2) $R = 6$ м; $F = 6м/с$ – параметры, значительно снижающие количество столкновений.

Рисунок 4 – Зависимость статистических данных от силы отталкивающего алгоритма.

Подсчет количества столкновений – количество пересечений форм всех пар роботов за время все исполнения. Пересечение одной и той же пары роботов засчитывается дважды, если при разъединении они пересеклись вновь. Сами столкновения не влияли на физику движения роботов, роботы проходили сквозь объекты.

Последняя серия экспериментов посвящена тому, что увеличение количества роботов для одинаковых задач перестроения не является критической. Данные алгоритмы успешно справляются с большим количеством роботов, что продемонстрировано на рисунке 5. Время реализации схожей задачи не превышает линейного увеличения от повышения количества роботов, что является весьма хорошим показателем. А так же было замечено, что большое количество роботов не вызывает значительного увеличения плотности в группе, как следствие риски столкновений для более большого количества роботов увеличиваются не значительно.



(1) N = 10 шт
(2) N = 20 шт
(3) N = 50 шт

Рисунок 5 – Зависимость размера оболочки от количества роботов в перестроении

Размер оболочки группы – квадратный корень площади оболочки группы. Оболочка группы – это минимальный по периметру многоугольник, внутри которого лежат все роботы.

(7) $R(t) = \sqrt{S(t)}$

(8) $S(t) = \frac{1}{2}\left|\sum_{i=1}^{K}(x_i + x_{i+1})(y_i - y_{i+1})\right|,$

где $(x_i; y_i)$ – i-тая вершина многоугольника. Вершина при K+1 равна вершине 1.

Заключение

В ходе проведения моделирования движения группы роботов были выявлены перспективы изученных и разработанных алгоритмов. Были выявлены преимущества и недостатки разработанных когнитивных алгоритмов для задач управления группы роботов с условием избегания столкновений.

Список литературы

[1] Ant Colony Optimization and Swarm Intelligence / M. Dorigo, M. Birattari, C. Blum, et al. // 6th International Conference, Brussels, Belgium, 2008. - Vol. 3172, Springer.
[2] Crowd turbulence: the physics of crowd disasters / D. Helbing, A. Johannson, H. Z. Al-Abideen // International Conference on Nonlinear Mechanics (ICNM-V), 2007, pp. 967–969.
[3] Crowd Behavior Analysis: A Review where Physics meets Biology / V. J. Kok, M. K. Lim, C. S. Chan // Neuro-computing 2015;177:342-62.
[4] How simple rules determine pedestrian behavior and crowd disasters / M. Mehdi, H. Dirk, T. Guy // Proceedings of the national academy of sciences of the united states of america, 108(17):6884-8, 2011.
[5] Gigerenzer G. Simple Heuristics That Make Us Smart / P. Todd // behavioral and brain sciences, 23, pp. 727–780, 2000

АЛЬТЕРНАНСНЫЙ МЕТОД В ВЕКТОРНЫХ ЗАДАЧАХ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ СИСТЕМАМИ С РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ

Э.Я. Рапопорт, Ю.Э. Плешивцева

Институт проблем управления сложными системами РАН
443020, Самара, ул. Садовая, 61, Россия
cscmp@iccs.ru
тел: +7 (846) 332-39-27, факс: +7 (846) 333-27-70

Ключевые слова: *системы с распределенными параметрами, альтернансный метод, многокритериальная оптимизация, многоканальное управление, комбинированные ограничения*

Abstract

The constructive techniques for solving the wide class of optimal control problems for distributed parameters systems are suggested. The problems of vector optimization are solved, i.e. the requirements to the choice of optimization criteria, constraints taken into account and control actions are prescribed in the vector form. The accuracy of a final state approaching to the required state is estimated in a uniform metric. Predeveloped alternance method for solving optimal control problems in scalar form is extended to considered class of vector optimization problems.

Введение

В целом ряде актуальных для приложений ситуаций возникают трактуемые с позиций системного подхода новые, существенно отличающиеся от традиционных постановки задач оптимального управления системами с распределенными параметрами (СРП) в усложненных условиях векторной формы предъявляемых требований к критериям эффективности, учитываемым ограничениям и выбору управляющих воздействий (ВЗОУ).

Трудности отыскания алгоритмов оптимизации в ВЗОУ значительно возрастают по сравнению с их известными скалярными частными случаями.

В настоящей работе предлагаются конструктивные методы решения подобных ВЗОУ СРП применительно к типичным для приложений оценкам в равномерной метрике точности приближения конечных состояний СРП к требуемым.

Развиваемый подход базируется на процедуре предварительной параметризации искомых управляющих воздействий с помощью известных условий оптимальности и последующей редукции исходной задачи к специальным модификациям задачи математического программирования с бесконечным числом ограничений (задача полубесконечной оптимизации (ЗПО)), разрешаемым альтернансным методом [1-4].

1 Модели и методы многокритериальной оптимизации СРП

Оценка эффективности функционирования сложных управляемых систем как правило производится в приложениях по целому ряду различных показателей качества, чаще всего конфликтующих друг с другом, что приводит к представляющей большой самостоятельный интерес многокритериальной задаче (МЗУ) выбора возможных альтернатив для управляющих воздействий в подобных условиях неопределенности целей процесса управления [5,6]. Отбор приемлемых вариантов производится при этом среди эффективных решений (множество Парето), не улучшаемых ни по одному из критериев без ухудшения показателей по какому-либо из остальных.

Традиционные способы редукции исходной МЗУ к однокритериальной свертке компонентов векторной целевой функции с заданными весовыми коэффициентами приводят к построению множества Парето путем перебора всех допустимых значений таких коэффициентов, вследствие чего возникает самостоятельная проблема оптимального выбора в пределах этого множества единственной альтернативы в условиях значительного числа возможных вариантов [5, 6].

Переход путем соответствующей процедуры нормирования к относительным равнозначным оценкам всех составляющих векторного критерия позволяет сформулировать однокритериальную минимаксную (максиминную) версию МЗУ с критерием эффективности в форме дискретной функции максимума (минимума) по частным функционалам качества с единичными весовыми коэффициентами, экстремали которой заведомо представляют собой искомое перето-эффективное решение многокритериальной задачи [5,6].

Указанная версия эквивалентна однокритериальной задаче на минимум интегрального функционала качества с ограничениями на относительные значения частных критериев оптимальности, которые не должны превышать значения минимизируемого параметра, фигурирующего в роли подынтегральной функции показателя эффективности [7].

В итоге МЗУ приводится к задаче оптимального управления (ЗОУ), отличающейся от задачи с одним критерием оптимальности только необходимостью учета дополнительных ограничений на конечные значения вновь вводимых фазовых координат, в терминах которых фиксируются требуемые соотношения для относительных значений компонент векторного критерия оптимальности [7].

Такая задача формулируется в типичное для приложений условиях заданной точности ε равномерного приближения конечного состояния СРП к требуемому в пространственной области, занимаемой объектом, применительно к описанию моделей СРП бесконечной системой обыкновенных линейных дифференциальных уравнений относительно модальных составляющих разложения управляемой величины в сходящийся в среднем ряд по собственным функциям пространственных координат [1-4,7], дополняемой системой уравнений для новых фазовых переменных.

Распространяемая на подобную ЗОУ стандартная процедура принципа максимума Понтрягина [2], как правило, позволяет найти искомые программные управляющие воздействия в форме явных зависимостей от соответствующих оптимальному процессу векторов модальных и сопряженных переменных.

Эти зависимости во многих случаях непосредственно устанавливают инвариантную от конкретной формы ограничений на конечное состояние объекта управления структуру искомых оптимальных алгоритмов в форме их параметрического описания с точностью до вектора $\Delta^{(N)} = (\Delta_i^{(N)})$ упорядоченной последовательности конечного числа N параметров $\Delta_i^{(N)}, i = \overline{1,n}$, однозначным образом характеризующих поведение оптимального управления в области его определения [1-4,7]. Размерность N вектора $\Delta^{(N)}$ устанавливается по известным правилам в зависимости от заданной величины ε [1-4], либо априори диктуется возможностями технической реализации управляющих воздействий.

Интегрирование уравнений модели СРП и вычисление частных критериев оптимальности с параметризуемым управлением обеспечивают процедуру редукции рассматриваемой вариационной задачи к задаче полубесконечной оптимизации (ЗПО) на минимум функции конечного числа переменных $\Delta_i^{(N)}$ с бесконечным числом ограничений на отклонение конечного состояния СРП от требуемого, которое не должно превышать заданной в равномерной метрике величины ε во всей области пространственного распределения управляемой величины [1-4]. Данная ЗПО, отличающаяся от типовой в однокритериальных ЗОУ [1-4] дополнительными условиями, накладываемыми на относительные значения частных критериев опти-

мальности [7], эквивалентна минимаксной ЗПО без учета этих условий с дискретной функцией максимума по частным критериям качества.

В свою очередь, эта ЗПО сводится к такой из частных задач оптимизации по одному из функционалов качества без учета остальных показателей эффективности в составе МЗУ, на решение которой выполняются требуемые соотношения между относительными значениями всех компонент векторного критерия оптимальности.

В целях идентификации последней однокритериальной версии необходимо предварительно решить ряд подобных ЗПО для всех частных критериев качества с последующей оценкой для каждой из них указанных соотношений. Такие решения могут быть найдены по конструктивной технологии «альтернансного метода» (АМ), распространяющего на рассматриваемые задачи оптимизации известные результаты теории нелинейных чебышевских приближений в условиях некоторых малостеснительных для прикладных задач допущений [1-4].

Метод базируется на специальных альтернансных свойствах оптимальных решений ЗПО, установленных при указанных допущениях с использованием упрощенных по сравнению с известными альтернансных форм необходимых условий экстремума в задачах недифференцируемой оптимизации. Согласно этим свойствам, заданная точность равномерного приближения к требуемому конечному состоянию объекта достигается на таких решениях в некоторых точках области изменения пространственных аргументов функции состояния СРП, число которых оказывается не меньшим числа всех неизвестных параметров оптимального процесса [1-4].

Данные свойства порождают замкнутую относительно искомых неизвестных систему соотношений для конечных значений функции состояния СРП в указанных точках. При наличии диктуемой закономерностями предметной области дополнительной информации о конфигурации зависимости результирующего распределения управляемой величины в заданной области изменения пространственных аргументов, позволяющей идентифицировать все множество таких точек и знаки для каждой из них предельно допустимых отклонений выхода объекта от требуемых значений на оптимальных решениях ЗПО, обеспечивается редукция указанной системы соотношений к системе трансцендентных уравнений, решение которой исчерпывает решение исходной задачи оптимизации в рассматриваемой постановке.

На этом этапе принципиальную роль играют нестандартные процедуры использования в целях получения указанной информации фундаментальных физических характеристик конкретных оптимизируемых процессов, предварительное исследование которых представляет собой отдельную достаточно сложную задачу [1-4].

Исходная ЗПО значительно упрощается как раз в наиболее характерной для приложений ситуации с минимально достижимой величиной $\varepsilon = \min \varepsilon(\Delta^{(N)})$ в классе $\Delta^{(N)}$-параметризуемых управлений и сводится в таком случае к задаче достижения этой величины без дополнительных ограничений [7].

Самостоятельный интерес представляют МЗУ СРП в характерных условиях интервальной неопределенности начальных состояний и неизменных во времени параметрических характеристик объекта управления [1,4]. Подобные МЗУ сводятся по описанной схеме к разрешаемой альтернансным методом задаче полубесконечной оптимизации, отличающейся от детерминированного варианта, во-первых, оценкой точности ε равномерного приближения конечного состояния СРП к требуемому на расширенном множестве аргументов, включающем кроме пространственных переменных все возможные реализации неопределенных факторов, и, во-вторых, определением частных критериев оптимальности в форме функций максимума на допустимом множестве изменения учитываемых неопределенных величин.

2 Задачи параметрической оптимизации СРП с комбинированными требованиями к конечным состояниям объекта

Значительный теоретический и практический интерес представляет расширенная постановка ЗОУ СРП с одновременно предъявляемыми различными ограничениями на оцениваемые в равномерной метрике отклонения конечных состояний объекта от требуемых, отличающимися друг от друга как формами их функционального представления, так и видами эталонных распределений по пространственным координатам.

Подобные ЗОУ СРП возникают, в частности, применительно к техническим объектам с распределенными параметрами, функционирующим в составе технологических комплексов, взаимосвязи между элементами которых диктуют необходимость перехода к векторному варианту учета подобных ограничений..

Так, например, в ЗОУ температурными режимами предварительного нагрева металлических полуфабрикатов в технологических комплексах обработки давлением [8] вместе с требованиями к точности равномерного приближения результирующего температурного состояния к заданному во многих случаях следует с позиций системного подхода учитывать ограничение на ошибку его отклонения от желаемого стационарного состояния объекта [9] на возможном этапе термостатирования перед передачей обрабатываемых изделий к деформирующему оборудованию или(и) дополнительное ограничение на погрешность приближения средней на каждом элементе пространственной области температуры к ее заданной величине, обеспечивающей минимальное энергопотребление на последующей стадии пластического формоизменения [10].

ЗОУ СРП с одновременно предъявляемыми различными условиями, накладываемыми на требуемое конечное состояние объекта, редуцируются в отличие от базового варианта АМ к задаче полубесконечной оптимизации с формулируемыми в равномерной метрике кратными ограничениями на результирующее пространственное распределение управляемой величины, которые непосредственно сводятся к единственной оценке дискретной функции максимума по их нормируемым значениям.

Дальнейший переход к одному эквивалентному ограничению в типовой форме оценки непрерывной функции максимума базового варианта АМ обеспечивается линейной сверткой всех компонентов дискретной функции максимума с ограниченной суммой весовых коэффициентов, играющих роль искомых переменных в соответствующей задаче линейного программирования на максимум этой свертки (ЗЛП). В итоге ЗОУ ОРП с комбинированными ограничениями приводится к типовому виду ЗПО со специальной формой единственного ограничения на точность ε равномерного приближения результирующего состояния объекта к требуемому, рассматриваемого на расширенном множестве аргументов, в число которых наряду с пространственными координатами входят искомые переменные ЗЛП, заведомо являющиеся координатами вершин многогранника допустимых решений (МДР) этой задачи линейного программирования.

Может быть предложена следующая технология применения альтернансного метода для данной модификации ВЗОУ СРП, базирующаяся на известных свойствах решений ЗЛП и имеющейся информации о заданных уровнях комбинируемых ограничений.

Предварительно по типовой схеме АМ решаются последовательно ряд ЗОУ СРП с учетом в каждой из них только одного из заданных ограничений на конечное состояние СРП. Если на решении какой-либо из этих задач выполняются требования, предъявляемые остальными ограничениями, , то оно и является решением исходной ВЗОУ СРП.

В противном случае необходим переход к решению ЗПО с эквивалентным комбинируемым условиям единственным ограничением, конструируемым в указанной выше специальной форме, для ряда убывающих с малым шагом $d\varepsilon$ значений ε вплоть до заданной величины

$\varepsilon = \varepsilon_0$, начиная с «отправного» значения $\varepsilon = \min\varepsilon(\Delta^{(1)})$, для которого, как правило, может быть определена в данной типичной для приложений ситуации необходимая дополнительная информация для конструирования расчетной системы уравнений АМ на основании известных закономерностей оптимизируемых процессов в конкретной предметной области.

При этом в условиях фиксации весовых коэффициентов линейной свертки дискретной функции максимума в вершинах МДР ЗЛП обеспечивается возможность идентификации всех активных ограничений на решениях ЗПО при $\varepsilon = \min\varepsilon(\Delta^{(1)})$. В силу непрерывности по ε искомых решений ЗПО [1] необходимый объем информации для конструирования расчетных систем уравнений АМ на каждом из последующих шагов для убывающих относительно $\min\varepsilon(\Delta^{(1)})$ значений ε может быть получен по результатам предыдущего шага при достаточно малой величине $d\varepsilon$ [1].

Если решение рассматриваемой ВЗОУ СРП существует, то на некотором шаге описываемой итерационной процедуры оно совпадает с решением ЗПО при достижении равенства $\varepsilon = \varepsilon_0$.

3 Метод параметрической оптимизации в задачах многоканального управления СРП

Целый ряд представляющих теоретический интерес и актуальных для приложений ЗОУ СРП формулируется в условиях одновременного воздействия на объект по различным каналам управления. Сказанное относится, в частности, к ситуациям с использованием векторных управляющих воздействий (ВУВ), например, в виде совокупности различных сосредоточенных внутренних или граничных управлений с фиксированным характером их пространственного распределения [11-13].

Самостоятельный класс ЗОУ подобного типа возникает для взаимосвязанных СРП с различными управляющими воздействиями для каждого из объектов [14-18].

Предварительная процедура параметризации искомых ВУВ приводит к отличающейся значительной спецификой задаче полубесконечной оптимизации.

Ее решение по технологии альтернансного метода существенно усложняется по сравнению с одноканальным управлением увеличенной размерностью вектора $\Delta^{(N)}$ параметрических характеристик ВУВ, многовариантным набором правил выбора числа N и значений его составляющих, специфическим требованием одинаковой длительности процесса управления для всех компонентов управляющих воздействий и необходимостью идентификации конфигураций оптимальных конечных пространственных распределений каждой из управляемых величин в условиях их зависимости от всех управлений. В настоящей работе сформулирована и обоснована совокупность правил определения всех возможных вариантов по числу N компонент ВУВ в зависимости от заданных в чебышевской метрике уровней ограничений на конечное состояние управляемых величин при управлении одним объектом и системой взаимосвязанных СРП. В итоге осуществляется редукция к вполне определенному набору задач полубесконечной оптимизации, соответствующему допустимым альтернативам. Сравнительный анализ их решений по величине минимизируемого критерия эффективности позволяет однозначно определить оптимальные ВУВ по варианту с минимальным из достигаемых его значений.

Список литературы

[1] Рапопорт Э.Я. Альтернансный метод в прикладных задачах оптимизации. М.: Наука, 2000. 336 с.

[2] Рапопорт Э.Я. Оптимальное управление системами с распределенными параметрами. М.: Высшая школа, 2009. 677 с.

[3] Плешивцева Ю.Э., Рапопорт Э.Я. Метод последовательной параметризации управляющих воздействий в краевых задачах оптимального управления системами с распределенными параметрами // Известия РАН. Теория и системы управления, 2009. №3. С. 22-33.

[4] Рапопорт Э.Я., Плешивцева Ю.Э. Технология оптимального проектирования сложноструктурированных систем с распределенными параметрами: программные стратегии принятия решений // Онтология проектирования, 2017. №2(24). С. 172-190.

[5] Корнеенко В.П. Методы оптимизации. М.: Высш. шк., 2007. 664 с.

[6] Машунин Ю.К. Методы и модели векторной оптимизации. М.: Наука, 1986. 141 с.

[7] Рапопорт Э.Я., Плешивцева Ю.Э. Технология решения многокритериальных задач управления системами с распределенными параметрами // Автометрия. – 2017. - №4. – С. 11-25.

[8] Плешивцева Ю.Э., Рапопорт Э.Я. Совместная оптимизация по системным критериям качества взаимосвязанных процессов технологической теплофизики в производственных комплексах обработки металла давлением // Автометрия, 2013. Т. 49. № 6. С. 3-13.

[9] Рапопорт Э.Я. Минимаксная оптимизация стационарных состояний в системах с распределенными параметрами // Известия РАН. Теория и системы управления, 2013, №2. С. 3-18.

[10] Бутковский А.Г. , Малый С.А., Андреев Ю.Н. Управление нагревом металла. М.: Металлургия, 1981. 271 с.

[11] Рапопорт Э.Я. Анализ и синтез систем управления с распределенными параметрами. М.: Высшая школа, 2005. 292 с..

[12] Маковский В.А. Динамика металлургических объектов с распределенными параметрами. М.: Металлургия, 1971.

[13] Рей У. Методы управления технологическими процессами. М.: Мир, 1983. 386 с.

[14] Бутковский А.Г. Структурная теория распределенных систем. М.: Наука, 1977. 320с.

[15] Бегимов И., Бутковский А.Г., Рожанский В.Л. Структурное представление физически неоднородных систем // АиТ. 1982. №9. С.25-35.

[16] Бегимов И., Бутковский А.Г., Рожанский В.Л. Структурное представление двумерных неоднородных систем с распределенными параметрами // АиТ. 1984. №5. С. 5-16.

[17] Демиденко Н.Д. Управляемые распределенные системы. – Новосибирск: Наука, 1999.

[18] Рапопорт Э.Я. Программная управляемость взаимосвязанных неоднородных систем с распределенными параметрами // Изв. РАН. Теория и системы управления, 2017. № 4. С. 11-24.

ЗАДАЧА ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ТВЕРДОГО ТЕЛА ГРУППОЙ МОБИЛЬНЫХ АГЕНТОВ

А.Б. Филимонов[1], Н.Б. Филимонов[2], А.А. Барашков[1]

[1]Московский технологический университет
Россия, 119454, Москва, Проспект Вернадского, д. 78
filimon_ab@mail.ru
тел: +7 (903) 292-91-25

[2]Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова
Россия, 119991, Москва, ГСП-1, Ленинские горы
nbfilimonov@mail.ru
тел: +7 (499) 269-55-10

Ключевые слова: *машинное обучение с подкреплением, мобильные агенты, метод адаптивной критики, нейронные сети, групповое действие роботов*

Abstract
The main principles of reinforcement learning method are suggested. Architecture of an «actor-critic» system and its implementation with neural networks are considered. The task of solid body transportation by group of robots in conditions of absence of information interaction is solved

Введение

В настоящее время методы машинного обучения с подкреплением активно развиваются и представляют огромный интерес для интеллектуальной робототехники.

Обучение с подкреплением - это метод машинного обучения, при котором формирование стратегии поведения агента осуществляется на основе оценки его действий в процессе взаимодействия с окружающей средой (ОС) в виде поощрения/наказания [1].

При обучении с учителем необходима обучающая выборка. Напротив, в случае обучения с подкреплением обучающая выборка генерируются автоматически в фазе, называемой «исследование» (разведка). Обычно - это случайный поиск в пространстве состояний. Поскольку обучающая выборка представляет собой конечный набор данных, то в случае континуального пространства состояний необходимые оценки получают посредством применения адаптивных аппроксимационных схем – для этого наибольший интерес представляют нейронные сети.

В докладе обсуждается опыт применения методов машинного обучения с подкреплением для решения задачи перемещения твердого тела группой мобильных роботов.

1 Обучение с подкреплением – теоретическая схема

Концепцию обучения с подкреплением (англ. reinforcement learning) удобно излагать в терминах обучаемого поведения агента, взаимодействующего с ОС (рис. 1), под которой понимается совокупность всех объектов внешнего мира, с которыми агент взаимодействует.

Стратегия действия агента, формируется автоматически на основе получаемых им сведений о результатах своих действий [1]. Взаимодействие агента с ОС происходит в дискретные моменты времени (шаги):

$t \in \mathbf{Z}_+ = \{0, 1, 2, \ldots\}$.

Агент воспринимает текущее состояние ОС $s(t) \in S$ (S - пространство состояний ОС) и на основании этой информации совершает действие $a(t) \in A$ (A - пространство доступных действий). В результате совершения агентом действия среда переходит в новое состояние:

(1) $s(t+1) = \Phi(s(t), a(t))$,

где $\Phi : S \times A \to S$ - функция перехода состояний.

Считаем, что целью агента является перевод ОС в заданное состояние $s*$. Для ее достижения агент процессе обучения должен выработать стратегию действий $\pi : S \to A$. Далее π_t - стратегия, сформированная на шаге t:

(2) $a_t = \pi_t(s_t)$.

Качество своих действий агент оценивается в каждый момент времени t некотором сигналом подкрепления r_t, именуемым «наградой».

Долгосрочная выгода начиная с шага t определяется критерием

$R_t = r_t + r_{t+1} + ... + r_T$,

где T - терминальный шаг.

Для задач без терминального состояния

(3) $R_t = r_t + \gamma r_{t+1} + \gamma^2 r_{t+2} + ...$,

где $\gamma (0 \le \gamma \le 1)$ - дисконтирующий множитель для «предстоящего выигрыша».

Применяемая агентом стратегия действий (2) оценивается критерием

(4) $V^{\pi}(s) = M[R_t \mid \pi_t = \pi, s_t = s]$,

где $M[\cdot]$ - математическое ожидание.

Оптимальной стратегии отвечает максимум суммарной награды:

$V^{\pi} \to \max$.

Заметим, что функция (4) удовлетворяет рекурсивному уравнению Беллмана:

$V^{\pi}(s_t) = r_t + \gamma V^{\pi}(s_{t+1})$.

Ключевую роль в обучении с подкреплением играет функция полезности $Q^{\pi}(s,a)$, которая определяется посредством модификации критерия (4):

(5) $Q^{\pi}(s,a) = M[R_t \mid \pi_t = \pi, s_t = s, a_t = a]$.

Из (3) и (5) следует

$Q^{\pi}(s_t, a_t) = M[r_t + \gamma Q^{\pi}(s_{t+1}, a_{t+1})]$.

Величину

(6) $\delta_t = r_t + \gamma Q^{\pi}(s_{t+1}, a_{t+1}) - Q^{\pi}(s_t, a_t)$

называют *ошибкой временной разности*, поскольку она равна изменению оценки суммарной награды после выполнения действия a_{t+1} в следующей ситуации s_{t+1} по сравнению с предыдущей оценкой этой величины.

Обучение с подкреплением предполагает отыскание агентом приближенных оценок функции полезности действий $Q(s,a)$ и корректировки стратегии $\pi(s)$ во время его функционирования. Оно реализуется в совместном поиске на каждом шаге t текущей оценки функции полезности и текущей стратегии действий: $Q_t(s,a)$ и $\pi_t(s)$, причем текущая стратегия π_t определяется из условия максимума текущей функции полезности Q_t:

(7) $\pi_t(s) = \text{argmax}_a Q_t(s,a)$.

В результате обучения стратегия $\pi_t(s)$ должна сходиться к оптимальной, а $Q_t(s,a)$ к отвечающей ей функции полезности.

В применяемом методе SARSA обучение, т.е. переоценка величин $Q(s,a)$ происходит в соответствии с оценкой ошибки (6) - к величине $Q(s_t, a_t)$ добавляется величина, пропорциональная данной ошибке:

(8) $\Delta Q(s_t, a_t) = \alpha\delta_t$,

где α – параметр скорости обучения.

2 Архитектура «актор-критик»

В системах обучения с подкреплением на основе адаптивной критики используются два функциональных блока: актор и критик (см. рис. 2) [2]. Здесь задача π-актора заключается в формировании стратегии $\pi_t(s)$, а задача адаптивного Q-критика [3] заключается в конструировании функции полезности $Q_t(s, a)$. Для повышения эффективности процесса обучения к действию актора добавляется «исследовательский» шум [4].

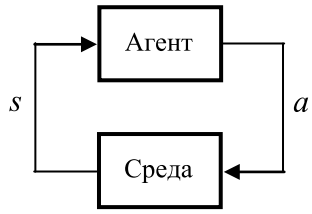


Рисунок 1.

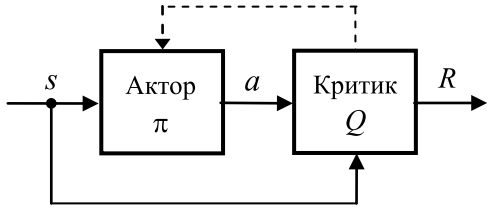


Рисунок 2.

В сетях адаптивной критики функции $\pi_t(s)$ и $Q_t(s, a)$ реализуются искусственными нейронными сетями (НС):

$\pi_t(s) = NN_A(W_A(t), s)$,

$Q_t(s, a) = NN_C(W_C(t), s, a)$.

Здесь NN_A и NN_C - реализуемые НС функциональные преобразования, W_A и W_C - соответствующие матрицы синаптических весов сетей.

На шаге t обучение критика заключается в коррекции его НС, заключающегося в минимизации разности эталонного и текущего значения выхода сети, определяемого величиной (8).

Обучение актора заключается в максимизации функции полезности предлагаемого им действия, определяемой критиком в соответствии с (7).

$Q_t\left(s, F_A(W_A, s)\right) \to \max$.

3 Задача перемещения твердого тела группой роботов

Метод адаптивной критики применяется для решения модельной задачи перемещения по горизонтальной плоскости (ГП) твёрдого тела группой мобильных роботов, описанная в [5]. Предполагается, что отсутствуют коммуникации (обмен информацией) между роботами.

Действие роботов $\mathrm{P}_i\,(i=1:N)$ на тело иллюстрирует рис. 3. Тело представляет собой цилиндр с массой m, на которое действует сила вязкого трения, пропорциональная квадрату скорости движения. Коэффициент вязкого трения равен η.

Проекция центра масс цилиндра на ГП имеет координаты (x, y). Роботы располагаются в произвольных точках боковой поверхности (периметра) цилиндра и их положение задается углами φ_i. Считаем, что роботы сохраняют в процессе движения своё исходное положение относительно цилиндра.

Действием a_i робота P_i является приложенная к нему сила тяги $F_i \in [0, F_{\max}]$, параллельная ГП и направленная к оси цилиндра.

Величина линейной скорости цилиндра v и направление его движения определяются формулами

$$v = \sqrt{(\dot{x})^2 + (\dot{y})^2}, \quad \psi = \arg(\dot{x} + j\dot{y}),$$

где $j = \sqrt{-1}$ - мнимая единица, $\arg(\cdot)$ - аргумент комплексного числа, ψ - угол, образуемый вектором скорости центра масс цилиндра с положительным направлением оси абсцисс.

Движение центра масс цилиндра в результате воздействия всех роботов группы описывается следующими уравнениями:

$$m\ddot{x} = -\eta\dot{x}\,|\,\dot{x}\,| + \sum_{i=1}^{N} F_i \cos\varphi_i\,, \quad m\ddot{y} = -\eta\dot{y}\,|\,\dot{y}\,| + \sum_{i=1}^{N} F_i \sin\varphi_i$$

Цель действий группы роботов заключается в перемещении цилиндра с максимальной скоростью из исходного положения с координатами (x_0, y_0) в целевое положение Ц с координатами $(x_{\text{ц}}, y_{\text{ц}})$. Направление вектора, соединяющего текущее положение цилиндра и цель, определяется углом $\Delta\psi_{\text{ц}}$:

$$\Delta\psi_{\text{ц}} = \arg((x_{\text{ц}} - x) + j(y_{\text{ц}} - y)).$$

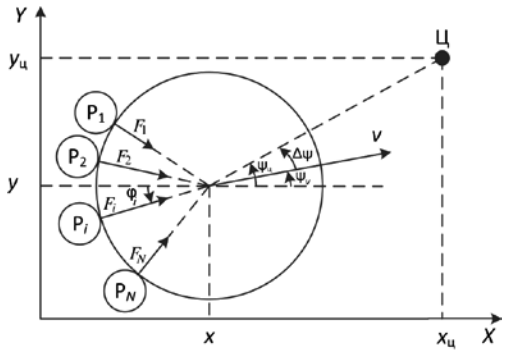


Рисунок 3

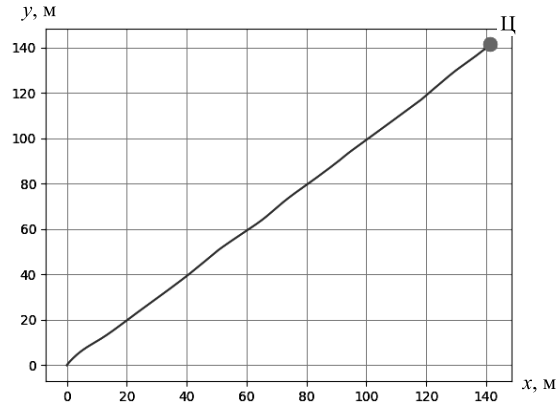


Рисунок 4

Состояние движения цилиндра относительно цели описывается вектором:

$$s = (v,\ \psi).$$

Каждый робот P_i содержит независимый механизм обучения. Управляющее воздействие F_i формируется актором робота P_i в зависимости от текущего состояния движения S.

Награда r вычисляется в соответствии с соотношением:

$$r(s) = -c_1(\Delta\psi_{\text{ц}})^2 + c_2 v^2,$$

где $c_1 > 0,\ c_2 \geq 0$ - постоянные коэффициенты, причём $c_1 >> c_2$.

НС актора робота P_i имеет два входа, соответствующих переменным состояния S и один выход - величину действия F_i. НС является двухслойной и содержит 30 нейронов во входном и 1 нейрон в выходном слое. В обоих слоях использовалась сигмоидальная функция активации.

НС критика робота P_i имеет три входа - переменные v, ψ и F_i. Сеть - трехслойная и содержит 2, 40 и 1 нейрон - соответственно во входном, скрытом и выходном слоях. Заметим, что входной сигнал, отвечающий переменной F_i, подводится непосредственно к скрытому слою в соответствии с рекомендацией [4]. Выходом НС является значение функции полезности Q_i. Во входном и скрытом слоях использовалась сигмоидальная, а выходном слое – линейная функции активации.

Программирование модельного примера выполнялось на языке Python 3 с использованием библиотек NumPy и SciPy. Построение и обучение НС осуществлялось при помощи открытой нейросетевой библиотеки TensorFlow.

На рис. 4 показаны результаты компьютерного решения задачи - траектория движения цилиндра, перемещаемого роботами.

Решение задачи рассматривалось при следующих допущениях:

- $m = 10$ кг ; $\eta = 8$; $F_{\max} = 2{,}4$ Н ;
- начальные условия: $(x_0, y_0) = (0,0)$, $\Delta\psi_{\text{ц}} = \pi/4$;
- положение цели $(x_{\text{ц}}, y_{\text{ц}}) = (L/\sqrt{2}, L/\sqrt{2})$, $L = 200$ м - начальное расстояние до цели;
- для перемещения цилиндра использовались $N = 3$ робота с положениями на его бо-ковой поверхности, характеризуемыми углами $\varphi_1 = 180^\circ$, $\varphi_2 = -52{,}5^\circ$ и $\varphi_3 = -37{,}5^\circ$;
- параметры механизма обучения: $c_1 = 1{,}62$; $c_2 = 0{,}011$; $\gamma = 0{,}8$; $\alpha = 0{,}4$.

Суммарная длина пути составила 200,25 м. В результате действий роботов цилиндр был приближен к целевому положению Ц на расстояние 0,03 м.

Благодарности

Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант № 16-08-00313.

Список литературы

[1] Саттон Р.С., Барто Э.Г. Обучение с подкреплением. - М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2011 - 399с.
[2] Prokhorov D.V., Wunsch D.C. Adaptive critic designs // IEEE transactions on Neural Networks. - 1997. - Т. 8. - №. 5. - С. 997-1007.
[3] Редько В.Г., Прохоров Д.В. Нейросетевые адаптивые критики // Научная сессия МИФИ. - 2004. - С. 77-84.
[4] Lillicrap T.P. et al. Continuous control with deep reinforcement learning // arXiv preprint arXiv:1509.02971. - 2015.
[5] Каляев И.А., Гайдук А.Р., Капустян С.Г. Модели и алгоритмы коллективного управления в группах роботов. Монография. - 2009. - 280 с.

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ IT-КОМПАНИИ

С.В. Хаджиева

Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики
443010, г. Самара, ул, Л.Толстого, 23, Россия
ssv2507@mail.ru
тел: +7 846 339−11−11

Ключевые слова: *бизнес-процесс, интеграция информационных систем, система массового обслуживания, задача о назначении, имитационное моделирование, агентная модель*

Abstract

The article examines methodology of optimal allocation of labor recourses in integration projects of IT company. The developed system of queuing for modeling of business process. The task for the assignment problem was set up and solved. Information about Agent Based Model for business process of business process of the integration department.

Введение

В современных условиях эффективное автоматизированное управление предприятием невозможно без создания единой IT-инфраструктуры. Такая инфраструктура предполагает интеграцию всех корпоративных приложений и систем предприятия.

Понятие системной интеграции прошло определенную эволюцию на рынке: сначала так называли интеграцию аппаратных и программных средств, затем – объединение нескольких систем, полученных в ходе «лоскутной автоматизации», на единой интеграционной платформе. И наконец, сегодня – это создание комплексных решений в области информационных технологий для корпоративных заказчиков; создание сложных, взаимосвязанных законченных систем функционирования автоматизированных бизнес-процессов предприятия или организации, интегрирующих разнородные технологии и оборудование разных производителей [1].

На сегодняшний день системная интеграция в России занимает наибольшую долю рынка IT-услуг – 42%, согласно данным IDC [2,3]. Это обуславливает обострение конкурентной борьбы и заставляет IT-компании искать новые решения для успешного существования на рынке.

Объектом исследования является – IT-компания отраслевой интегратор, специализирующаяся на одном или нескольких клиентах из одной отрасли. Решает специфические проблемы своих клиентов, как правило, очень хорошо разбираясь в этой специфике.

Предмет исследования – бизнес-процесс распределения задач и назначения трудовых ресурсов в интеграционных проектах.

Целью исследования является совершенствование деятельности IT-компании на основе повышения качества принятия управленческих решений об организационных изменениях в интеграционных проектах.

Решаемые задачи: провести анализ исследуемого процесса «Как есть»; выявить узкие места и рассмотреть возможные решения оптимизации и реорганизации производственной деятельности объекта исследования; рассмотреть методы, позволяющие оценить потенциальную прибыль или убыток от реализации рассматриваемых решений.

1 Анализ бизнес-процесса распределения ресурсов в интеграционных проектах

Функционирование бизнес-процесса распределения задач и назначения трудовых ресурсов в интеграционных проектах обусловлено особенностями сервис-ориентированного подхода (SOA) к интеграции, в которой главным структурным и функциональным элементом является бизнес-сервис. SOA строится на основе единой сервисной шины предприятия, которая обеспечивает надежное взаимодействие систем в соответствии с гибкими правилами маршрутизации и необходимые преобразования с обогащением данных. Средства шины предоставляют экономически эффективный способ централизованного конфигурирования, развертывания и управления сервисами в масштабе большого предприятия.

Рассмотрим элементарный процесс интеграции двух автоматизированных систем (АС). $АС_1$ является инициатором и вызывает сервис провайдера $АС_2$, которая является поставщиком запрашиваемых данных. Обмен сообщениями осуществляется через промежуточный транспортный интеграционный слой – сервисную шину, роль которой обеспечить читаемость форматов сообщений между $АС_1$ и $АС_2$ (рисунок 1) [4].

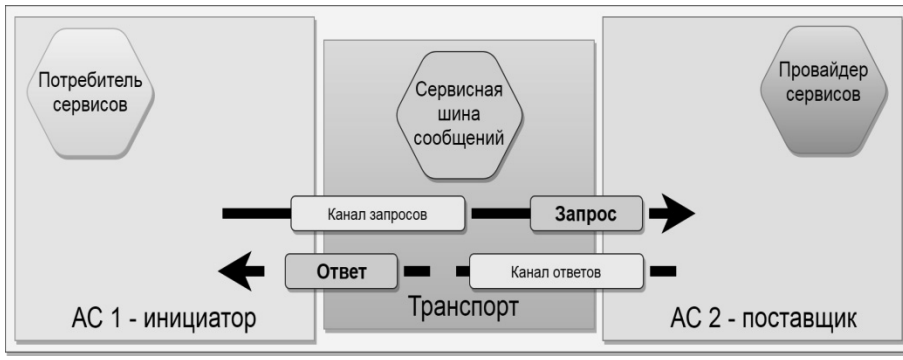


Рисунок 1 – Интеграция АС 1 и АС 2

Рассматриваемая IT-компания обслуживает одного заказчика, поэтому все прикладные модули ($АС_1$, $АС_2$,…,$АС_n$) входят в одну большую проектную команду, которая осуществляет реализацию описанной интеграции и включает: представителей бизнес-заказчика: менеджер проекта, архитектор, бизнес-аналитик; представителей отдельных прикладных модулей $АС_1$, $АС_2$ и отдела интеграционных решений: архитекторы, аналитики, разработчики, тестировщики, сопровождение и внедрение.

Исходным событием для работ является подготовка бизнес-аналитиком требований заказчика. Проектный архитектор разрабатывает концептуальную архитектуру проекта, содержащую перечень АС, которые должны быть интегрированы, необходимые сервисы, интеграционные сценарии, передаваемые в запросе и ответе данные. После подготовки бизнес-требований и концептуальной архитектуры к работам могут приступить команды прикладных системных модулей $АС_1$ и $АС_2$. Системные архитекторы контролируют требования и возможности интеграции смежных АС, принимают архитектурные решения в случае отсутствия стандартных решений. Системные аналитики исследуют совокупность взаимодействий к интеграции на основе входной документации, готовят форматы обмена данными. Разработчик готовит код АС в соответствии со спецификацией на разработку, настраивает каналы для передачи и приёма сообщений. Тестировщик проводит модульное тестирование, посредством специальных автоматизированных инструментов проверяет код на соответствие требованиям.

После того, как отдельные прикладные модули выполнили все необходимые подготовительные работы, назначается заявка на отдел интеграционных решений. Интеграционный архитектор контролирует требования и возможности интеграции смежных АС, принимает архитектурные решения в случае отсутствия стандартных решений. Интеграционный аналитик

исследует совокупность интеграционных взаимодействий на основе входной документации, в случае если форматы обмена данными у $АС_1$ и $АС_2$ различаются, описывает правила маппинга (перевод формата $АС_1$ в формат $АС_2$ при отправке запроса и обратно при отправке ответа), проектирует интеграционные адаптеры. Далее аналитик описывает работу сервиса, который будет выполнять требуемую обработку данных, а также проектирует каналы, через которые будут передаваться запросы и ответы. На выходе аналитик должен подготовить спецификацию требований с описанием всех работ и согласовать с аналитиками $АС_1$ и $АС_2$. После согласования спецификация требований передаётся разработчику, который осуществляет программную реализацию сервиса, адаптера, а также настраивает каналы интеграции. Далее проводится интеграционное тестирование, в ходе которого отдельные прикладные модули ($АС_1$ и $АС_2$) объединяются и тестируются в группе. Результатом успешного интеграционного тестирования является протокол, в котором зафиксировано подтверждение, что программные модули успешно взаимодействуют друг с другом. Далее идёт этап приёмо-сдаточных испытаний, в результате которых разработанное интеграционное решение внедряется в промышленную эксплуатацию.

В описанном процессе заявка поступает в отдел интеграционных решений при выполнении условий: предоставлен перечень проектных документов; определён формат обмена данными между интегрируемыми системами; подготовлена матрица коммуникаций представителей каждой из смежных АС. В случае если информации на входе недостаточно, заявка не принимается в работу, а отправляется на доработку. Заявки распределяются и назначаются по критериям: квалификация, опыт и занятость сотрудника отдела интеграционных решений. Срок подачи и обработки заявки в отделе интеграционных решений ограничен временным интервалом – сессией. Сессия – это период времени равный трём месяцам и соответствующий календарному плану работ в IT-компании. В год проходит 4 сессии. На рисунке 2 изображена схема поступления и перепланирования заявок (зелёным цветом обозначены заявки, успешно прошедшие приёмо-сдаточные испытания в период сессии, красным цветом – заявки, не прошедшие приёмо-сдаточные испытания из-за каких-либо выявленных ошибок, белым цветом изображены поступившие заявки в рамках текущей сессии, но запланированные на следующую сессию).

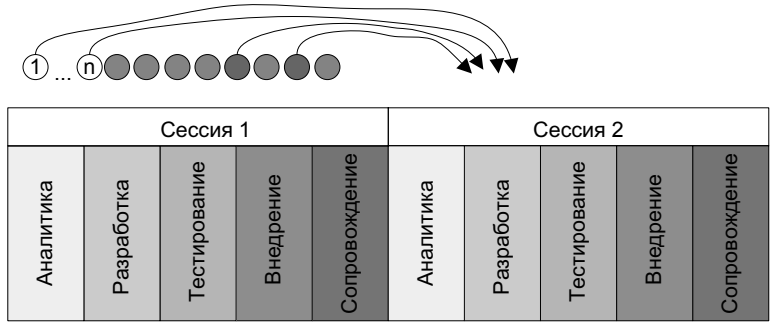


Рисунок 2 – Распределение заявок в рамках сессии

2 Идентификация проблемной области и разработка оптимизационных решений

Рассмотренный бизнес-процесс распределения работ в интеграционном проекте обеспечивает полное документирование каждого этапа, чёткое планирование сроков и затрат, прозрачность процессов для заказчика. Но в условиях динамично изменяющихся требований, строго структурированный процесс теряет свои преимущества и превращается в помеху на пути успешного завершения разработки системы. В свою очередь это порождает следующие проблемы:

- низкая точность оценок сроков и стоимости;
- большое количество дефектов;
- значительные потери времени – совещания, переделывание, устранение дефектов, отвлечения, смена контекста и др.;
- срыв сроков разработки и внедрения.

На смену чётко структурированным процессам приходят более гибкие методологии. Рассмотрим решение перехода на гибкую методологию и его влияние на производительность IT-компании.

В первую очередь необходимо сделать более гибкие сроки приёма заявок в работу и частоту приёмо-сдаточных испытаний. То есть заявки не будут ожидать сессию длительностью 3 месяца, а могут быть приняты в работу в более ранние сроки. Во вторую очередь необходимо сделать более гибкие условия для приёма заявок в отдел интеграционных решений. Зачастую представители бизнес и прикладных модулей не могут самостоятельно решить многие вопросы и им необходимо получить аналитику интеграционного решения параллельно с ведением своей аналитики. И, наконец, в третью очередь, необходимо предусмотреть возможность командной работы в рамках отдела интеграционного решения, то есть рассмотреть возможность назначения заявки не по вышеописанным критериям на конкретного аналитика или разработчика, а на команду, которая наилучшим образом подходит для решения поступившей.

Способность к изменениям – ключ к выживанию компании на рынке. Однако, по данным McKinsey & Company, 70% попыток проведения изменений в компаниях заканчиваются неудачей. Разногласия в руководстве компании ввиду отсутствия достоверного плана действий и вытекающее из этого недоверие со стороны сотрудников к принимаемым решениям эту статистику усугубляют.

Причины могут быть разные, однако чёткая программа по проведению изменений, сформулированная и поддерживаемая руководством компании, создание у сотрудников ощущения уверенности в завтрашнем дне, привлечение их к выработке решений работ по изменениям могут существенно увеличить вероятность успеха. Решения, максимально учитывающие интересы всех сторон и принятые на основе объективных данных, будут с меньшим сопротивлением встречены людьми, которых эти решения затрагивают. Выработка таких решений требует тщательного анализа и проектирования того, как отразятся изменения, сделанные в одной части системы, на остальных её участках и к чему в результате они приведут всю систему в целом.

Для проверки качества управленческих решений уже на этапе их проектирования предлагается рассмотреть метод имитационного моделирования. Метод позволяет виртуально «отработать» некоторый период времени с заданными параметрами деятельности и посмотреть, какие результаты получит компания за этот период. За исходные данные в имитационном моделировании берутся результаты работы компании за прошедшие периоды. На их основе строится упрощённая модель, позволяющая выбрать наиболее эффективный вариант из предложенных руководством [5].

4 Применение метода имитационного моделирования

Достоинством метода имитационного моделирования является гибкость и возможность моделирования систем на любом уровне детализации и абстракции. Для получения модели максимально приближенной к реальности необходимо опираться на основные характеристики системы, представленные в виде математической модели системы массового обслуживания.

Совокупность заявок рассматривается как поток событий в единицу времени по некоторому закону распределения. Время обслуживания заявки считается случайной величиной, распределённой по некоторому закону. Бизнес-процесс деятельности отдела интеграционных решений представляет безотказную многоканальную СМО, каналами в которой являются со-

трудники отдела, обслуживающие заявки в порядке общей очереди. Очередь системы с неограниченным ожиданием по времени.

Задача оптимизации для данной системы можно сформулировать следующим образом: уменьшить время простоя сотрудников интеграционного решения, уменьшить число коммуникаций без потери качества проектируемого решения. В данном случае наиболее подходящей является постановка задачи о назначениях [6].

Задача заключается в выборе такого распределения ресурсов по объектам, при котором минимизируется стоимость назначений. Данный метод позволяет решать задачи, в которых чётко определены требования к работникам и выполняемым ими функциям. При распределении работ между сотрудниками интеграционного отдела сложность аналитического решения существенно возрастает.

Задача является несбалансированной – один работник может выполнять различные виды работ. Аналитик в случае сильной загруженности разработчика должен обладать компетенциями, чтобы выполнить задачу самостоятельно, при необходимости также протестировать. Разработчик, должен обладать навыками как аналитика, так и тестировщика, и соответственно тестировщик должен обладать навыками аналитика. Поступающие в отдел заявки распределяются с учётом случайных факторов, готовность команды взять задачу в работу и возможности команды выполнить задачу в срок.

Однако решение задачи о назначении позволяет найти только статическое решение, то есть ничего неизвестно о поведении данной системы во времени. Также необходимо учесть такие важные факторы, как время выполнения работ, сложность работы и стоимость исполнения работы. Добавление этих параметров к рассмотренной задаче существенно увеличит её размерность, следовательно и время расчётов. Наиболее подходящим инструментом, позволяющим компенсировать вышеуказанные сложности, является агентное моделирование.

Агентное моделирование – метод имитационного моделирования, исследующий поведение децентрализованных агентов и то, как такое поведение определяет поведение системы в целом. При моделировании определяется поведение агентов на индивидуальном уровне, а глобальное поведение возникает как результат деятельности множества агентов.

Наиболее распространенным способом описания поведения агентов являются диаграммы состояний, которые представляют конечные автоматы с некоторыми дополнениями. Они описывают переходы между состояниями и событиями, инициирующие данные переходы, временные задержки и действия, совершаемые агентом на протяжении своей жизни.

Для рассматриваемого процесса необходимо смоделировать следующих агентов: заявки, аналитики, разработчики, тестировщики. Простоя схема работы будет заключаться в том, что заявки попадают в систему, обслуживаются, задерживаются и покидают систему. Создание генерации очередной заявки будет соответствовать созданию нового агента.

Заключение

Таким образом, автономные приложения прекращают свое существование, и интеграция перерастает в насущную необходимость предприятий для успешного функционирования. Обозначенный ряд проблем доказывает, что распределение трудовых ресурсов в управлении реализацией интеграционных IT-проектов должно быть построено таким образом, чтобы планы и работы команд были синхронизированы, и на выходе был получен качественный продукт интеграции.

Для совершенствования деятельности отдела интеграционных решений IT-компании предлагается использовать метод имитационного моделирования на основе объединения решений задачи распределения ресурсов (в терминах систем массового обслуживания), а также решения задачи о назначениях.

Результаты имитационного моделирования предоставляют возможность лицам, принимающим решения, подбирать оптимальные параметры исследуемого бизнес-процесса, в зависимости от различных состояний системы. Рассмотрев возможные комбинации между имеющимися ресурсами отдела интеграционных решений и возможными вариантами их распределения, принимается оптимальное решение.

Список литературы

[1] Что такое системная интеграция? / [Электронный ресурс] – Режим доступа http://dtbrest.by/articles/chto_takoe_sistemnaya_integratsiya / – Загл. с экрана. – Дата обращения: 25.05.2018

[2] ИТ услуги: рынок России / [Электронный ресурс] – Режим доступа http://www.tadviser.ru/index.php / – Загл. с экрана. – Дата обращения: 25.05.2018

[3] Повышение конкурентоспособности IT-компании путем диверсификации портфеля заказов / [Электронный ресурс] – Режим доступа http://ekonomika.snauka.ru/2017/05/14721 / – Загл. с экрана. – Дата обращения: 25.05.2018

[4] С.В. Хаджиева, Анализ проблемной области распределения трудовых ресурсов в управлении реализацией интеграционных IT-проектов // Материалы XIV Международной научно-практической конферен-ции «Татищевские чтения. Том. 1. Актуальные проблемы информатизации науки и производства». Тольятти, 2018 г. – С.82-86

[5] Лычкина, Н.Н. Имитационное моделирование экономических процессов [Электронный ресурс] / Н.Н. Лычкина. – Режим доступа: http://simulation.su/uploads/files/default/2005-uch-posob-lychkina-1.pdf. – Загл. с экрана. Режим доступа свободный. – Дата обращения: 25.05.2018

[6] Красс М.С., Чупрынов Б. П., Математика в экономике. Математические методы и модели [Текст] / М.С. Красс, Б.П. Чупрынов – М. : Финансы и статистика, 2007 – 544 с.



Management Processes in the Society
Процессы управления в обществе

A NEW WAY TO STUDY ANATOMY AND EFFECTIVELY MANAGE TIME AMONGST MED STUDENTS

D.Orkin

The Medical Faculty in The Hebrew University Of Jerusalem
Ein Karem, Jerusaem, Israel
tel: +972 508274077

Key words: *time management, anatomy, medical studies, body paint, memory*

Abstract

Анатомия - чрезвычайно сложный предмет, требующий значительных временных затрат и концентрации внимания студентов. В предлагаемой статье обсуждается способ минимизации времени на запоминание строения различных частей человеческого тела, повышающий «производительность» учащихся. Сложность задачи определялась исключительно большим объемом латинских имен составных частей человеческого тела, что фактически означает изучение нового языка в сочетании с визуализацией соответствующих объектов. В Hebrew University медицинская учебная программа включает от 6 до 8 ежемесячных препараций мертвых тел с ежемесячным экзаменом на каждую из изученных человеческих систем (сердечно-сосудистой, респираторной, пищеварительной и т.д.), а затем в конце каждого семестра заключительный экзамен, состоящий из теоретической и практической частей. Такая схема весьма распространена в различных медицинских школах по всему миру [1]. Разным людям требуется разное время на изучение каждой препарации - от 4 до 10 учебных часов, - и эти огромные временные ресурсы заставляют искать лучшие методы изучения и запоминания вещей.

Methods and description of the paper

The human memory is an incredibly complex mechanism, in which new memories are formed and are categorized into two major types of “storage”- the short and long-term memory.

The short-term memory has a very limited capacity and is not a very effective storage place for large chunks of information, in fact, the time memory is stored in that system is just 18 seconds without a form of memory rehearsal, according to Russel Revlin [2]. So, we can conclude that the largest contributor to human learning is the long-term memory.

The long-term memory has an essentially endless capacity to store data, for a virtually unlimited time.

The most effective and common way of placing knowledge and memories into the long-term memory is by repetition [3]. The Atkinson-Shiffrin memory model suggests that repetition is paramount to the storage of memories in the long-term memory because when items are first presented, they enter short-term memory, but due to its limited space, as new items enter, older ones are pushed out. However, each time an item in short-term memory is rehearsed, it is strengthened in long-term memory. Similarly, the longer an item stays in short-term memory, the stronger its association becomes in long-term memory [4].

Through constant repetition of the information we learn, the information is eventually transferred from the short to the long-term memory, where it tends to stay.

So, one might wonder why is it so incredibly difficult to recall many things that we learn?

The answer lies in the difficulty of retrieving the information that is indeed incapsuled in our brain,

the long-term memory works by connecting new memories to old ones [5], and also by connecting different types of memory (like auditory, visual and so on...) to each other.

Another form of memory, that is supremely important in accessing information is called the "working memory" this memory is used in our everyday actions, like typing passwords, phone numbers and cooking commonly used recipes. This memory is triggered by extreme, everyday repetition, and this is an important tool for making sure that memories can be accessed very quickly, sometimes even on a sub-conscious level.

The "New method of studying anatomy" tries to tackle the major issue faced by medical students- accessing the information in their long-term memory during the examinations they face at the end and during the semester.

Given that the most demanding part of memorizing names of body parts and body topography is the constant repetition of the things that students learn, a process that takes up a huge part of the time spent learning, I've set up to find a method that combines the many methods that allow for effective recovery of memories from our mind by using the most powerful tools in memory manipulation- connecting different types of memory to each other and connecting new memories to old ones, while also actively training the "working memory" .

The essence of the method lies in drawing various cuts (slices) through the human body on a blank page, that will allow one to envision the topography of the various parts of the body, and their relation to one another, and then drawing circles in corresponding colors on the students' own body, thus forcing the student to see and make a connection between what is drawn on the page and their own bodies. The system allows the user to utilize the various types of long-term memory "scanning" in order to best retrieve information.

At first, initial learning needs to be conducted, to allow the memories to enter the short-term

Memories, from where it can make its way into the long-term memory, from where it will need to be extracted.

Generally speaking, traditional tutoring of anatomy is usually focused on the viewing and dissection of dead bodies, as well as on drawings, that tend to show the full length of the relevant organs, without cutting through them. I've come to find that these methods do little in helping us understand the actual topography of the human body, and also challenges our ability to connect the names that we learn to the actual corresponding organs. In addition, true understanding of anatomy requires Mental imagery, that refers to the ability to form vivid mental representation of an object or a movement, by visualizing as many details as possible, and to preserve spatial and temporal characteristics of actual movement [6]. To handle these issues, a plan was devised.

The ideal way to accomplish that first part was by realizing that the very drawing of the slices through the plains of the human body will allow for easier learning (fig. 1) since the "slices" method allows students to "cram" a great deal of information into a very small area, this increases the willingness to learn due to the moral boost received from needing to view a single picture instead of reading and memorizing 40 pages.

Traditionally, the various parts of the body are taught in a way that represents the logical composition of the various systems of the human body. For example, when learning about the digestive system, one is taught firstly about the mouth, followed by the esophagus, stomach and so on… This is very effective when learning theoretical anatomy, but during the exam and during the actual medical procedures, the knowledge required is different, the topography is critical, since when a cut is made through a tissue, there is a need to know everything around the cut area, and not just the relevant digestive section. The drawings must include all of the relevant information such as blood vessels, muscles, organs, ext. in addition, the drawing and writing triggers our muscle memory, allowing for a better understanding.

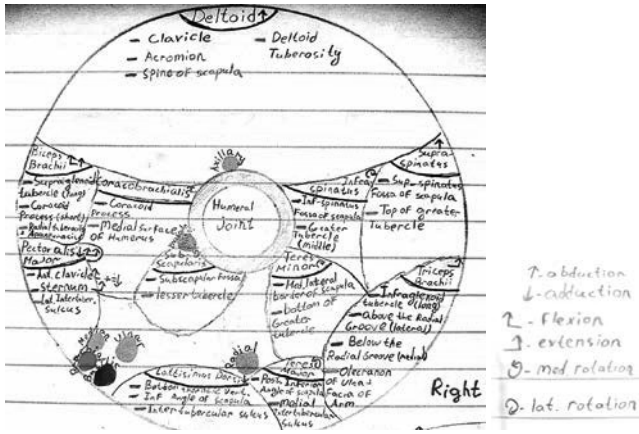
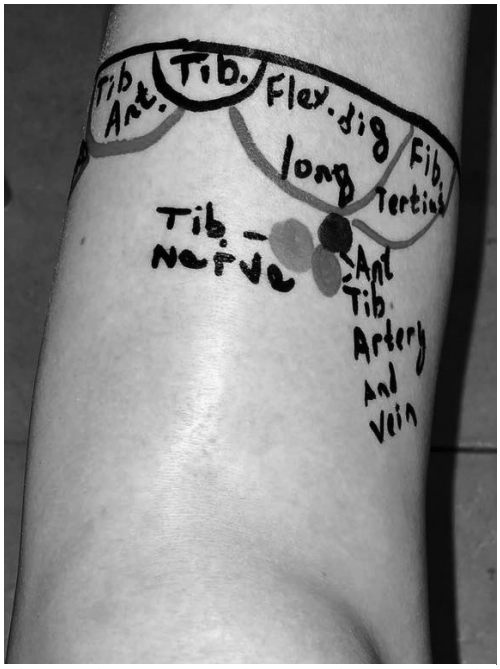


fig. 1 – a drawing of a slice through the humeral (shoulder) joint, complete with the 5 nerves of the brachial plexus, brachial artery and vein and all of the muscles that run through the upper arm, with their origins, insertions, and function (on the bottom right corner)



Shortened names are written for the names of the bone and muscles. The light is reflected off the tibia (bone), that is showing through the skin, and the drawing corresponds with that. Though not visible, the ring goes completely around the leg, depicting all of the relevant parts

Fig.2 – A drawing on the lower limb, the muscles appear in red as does the anterior Tibial artery, the bone and skin in black, nerve in yellow/orange and the vein in blue

The second part is drawing the cuts on the corresponding part of your own body (fig.2), thus allowing for another rehearsal of the studied material, while also inserting the visual memory factor into the equation. Long-term memory encodes information semantically for storage, as researched by Baddeley [7]. In vision, the information needs to enter working memory before it can be stored into long-term memory. This is evidenced by the fact that the speed with which information is stored into long-term memory is determined by the amount of information that can be fit, at each step, into visual working memory. In other words, the larger the capacity of working memory for certain stimuli, the faster will these materials be learned [8]. Writing on one's own body (and leaving the writing on the body) allows the writing to enter the working memory, and increases the ability of the individual to realize the actual orientation of the body part in relation to the whole body, a rather difficult task, as was found by Petit Et Al, who "provided evidence that generation of the mental image of a moving body segment requires more time than that of an object of another nature, with no anatomical constraints" (2003).

Later, during the exam, an individual will be able to look at his own body, triggering the visual memory and allowing for a much better chance of remembering the relevant material.

The system is especially effective when learning about the limbs, that contain many muscles, the location of which is actually responsible for their function. The muscles function by contacting and

pulling the bones to which they are connected. The muscle of the shoulder for example, is located above the arm and while contracting, is pulling the arm upwards. The drawings also include the origin and insertion of every muscle, information that is very important to the function of the muscle and is a favorite topic on the exam.

During the exam itself, the student will be able to use his own body by looking at the places where the drawings were, this triggers the visual memory, allowing for a quick and efficient access to the long-term storage of the brain.

In summary, the human memory is an extremely complicated system, and accessing memories stored in our long-term storage is quite a difficult task, but through the methods described, a way to make the task far more achievable appears to be possible.

The system was tested on a test group of 50 medical students, but the drawings were used were my own, and not of their making.

28 of the tested students stated that the method was "extremely helpful" in their studies, 13 stated that the idea is very good, but that they believe that the fact that they did not make the drawings was damaging the methods effectiveness, and that the idea will be further tested by them in the following semester, 6 stated that the method was partially effective for them, and the remaining 3 said that they prefer the more traditional methods of studying anatomy. The results are displayed in the chart below (fig. 3).

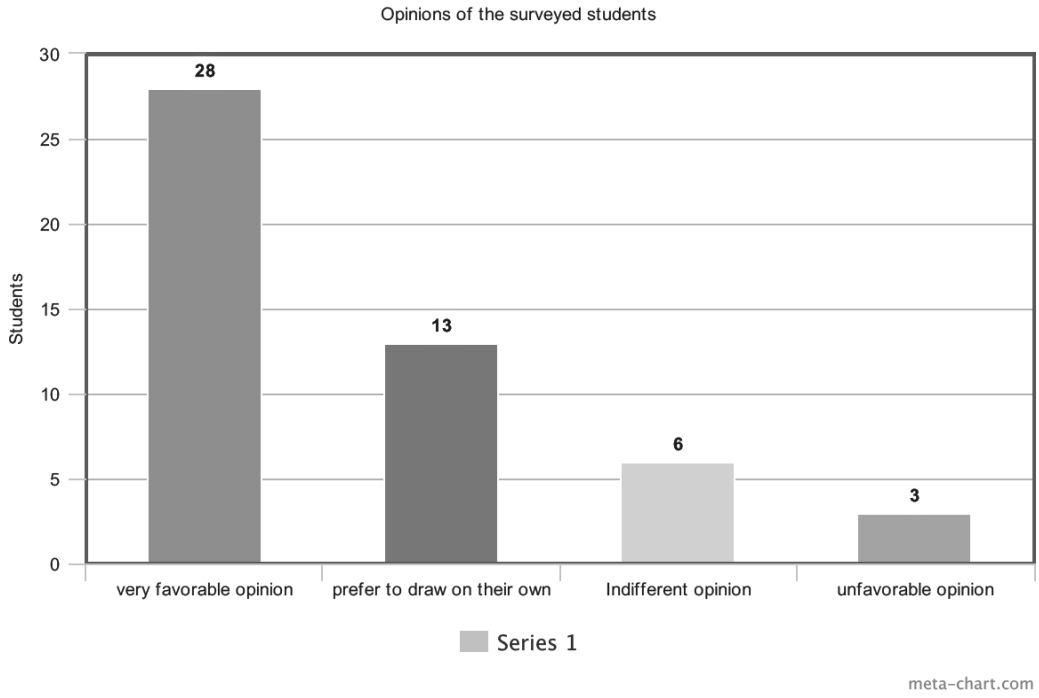


Fig.3 – The results of new way to study anatomy testing

In the results of the survey we can see the positive opinions of the students, who claim that the method had a significant effect on their success during the midterms. It appears that focusing on the methods that lead to better memory retention does in fact show positive results during the studying of anatomy.

The system touches all the most important points that limit the complete and total understanding of anatomy, and allow for a very efficient learning experience, with a minimal waste of time and maximal results.

The positive results encourage further research in regard to more comprehensive methods of studying medicine, since the subject calls for a very complete understanding of the systems of the human body, and their effect on one another. more all-inclusive methods of learning medicine will result in better medical professionals, and better patient care in the future.

Conclusion

The writer sincerely hopes that the paper will prove helpful to all those who seek for a better way to study anatomy and manage time more effectively in general.

Gratitude's

I wish to experience my sincere gratitude to the organizers of the International scientific conference CSCMP in general, and especially PhD Tatiana Moiseeva, for allowing my paper to participate in this fine event.

Also, I wish to experience my thanks and deep appreciation for Mr. Shalom Lebovitz, a great mind, without who's opinions about the importance of time conservation, this paper would never come to be.

References

[1] Henry Gray. Anatomy of the Human Body. Introduction page. 20th edition - Philadelphia: Lea & Febiger, 1918, New York, 2000.

[2] Russell Revlin. Cognition: Theory and Practice. Worth Publishers, 2012.

[3] B. Goldstein. Cognitive Psychology: Connecting Mind, Research, and Everyday Experience-with Coglab Manual. (3rd ed.). - Belmont, CA: Wadsworth, 2011.

[4] R.C. Atkinson, R.M. Shiffrin. Chapter: Human memory: A proposed system and its control processes. The Psychology of Learning and Motivation. - Psychology of Learning and Motivation, 1968. 2: P.89-195.

[5] Neil R. Carlson. Physiology of Behavior. – Boston: Pearson, 2013.

[6] A. Guillot, C. Collet. Duration of Mentally Simulated Movement: A review. J. Mot. Behav. 37, 2005. P.10-20.

[7] A. D. Baddeley. The influence of acoustic and semantic similarity on long-term memory for word sequences. - The Quarterly Journal of Experimental Psychology, 1966. 18 (4): P.302–309.

[8] D. Nikolić, W. Singer. Creation of Visual Long-term Memory. Perception & Psychophysics, 2007. 69 (6): P.904–912.

ИНСТРУМЕНТЫ ЭМОЦИОНАЛЬНОГО АНАЛИЗА ТЕКСТОВ В ПРОЦЕССЕ УПРАВЛЕНИЯ ОБЩЕСТВОМ

М.М. Аббаси

Кафедра теоретических основ информатики
426034, Ижевск, ул Удмуртская 1, корпус 6, офис 312, Россия
mohsinmanshad@gmail.com
тел: + 7 (3412) 916-068, Мобил: +7 (909) 713-83-42

Ключевые слова: *Эмоции, текст, управления, общество, Методы и инструменты, мнения, Анализ, социальных сетей*

Abstract

This article analyzes the tools and methods used in the analysis of emotions for the purpose of managing society. The influence of emotions on the management of people and business, as well as the development of the processes of emotion analysis over time. The role of social networks in managing societies and the methods they use. In this paper, we study the most common methods, their influence and give recommendations for improving the process of analyzing emotions for the management of society.

Введение

Эмоции играют важную роль в управлении группой людей, живущих или работающих вместе. В обществе люди связаны друг с другом чувствами и эмоциями. Когда общество или группа людей эмоционально связаны, общество работает как единое целое, в котором люди зависят друг от друга и взаимодействуют как единый механизм.

Люди доверяют друг другу и координируют свои решения. Например, человек покупает продукт в магазин. Ему нравится этот продукт и он рекомендует его другим. Люди, которые доверяют его слову, также предпочтут купить данный товар, и в конечном итоге это принесет пользу производителю. Точно так же, если человеку не понравилась покупка, то он поделится своим негативным опытом со своими друзьями и своим окружением. Это создаст негативные эмоции по отношению к производителю данного товара.

Социальные медиа сыграли важную роль в предоставлении людям возможности поделиться своим мнением и выразить свои эмоции. Для этого используются различные инструменты и техника, применяемые для анализа эмоций в тексте. Анализ эмоций может использоваться с целью прогнозирования политической ситуации, идентификации группы людей с аналогичным интересом и т.д.

Человеческая социальная жизнь сложна. Индивиды являются членами нескольких групп, с многочисленными социальными ролями, нормами и ожиданиями, и люди быстро перемещаются в группах, членами которых они являются. Более того, большая часть человеческой социальной жизни уникальна, потому что она вращается вокруг городов, где объединяются многие люди разрозненного происхождения. Одной из важнейших функций культуры является обеспечение необходимой координации и организации человека. Это позволяет отдельным лицам и группам договариваться в сложной социальной жизни, тем самым поддерживая социальный порядок и предотвращая социальный хаос. Культура делает это, предоставляя своим членам семантическую и информационную систему, которая принимается группой и передается между поколениями, что позволяет группе удовлетворять основные потребности в выживании, счастье и благополучии и иметь смысл в жизни (Matsumoto & Juang, 2013).

1 История

Первые работы по развитию социологической теории эмоций были сделаны Тернером (1970, с. 224-45), Хохшильдом (1975) и Кемпер (1978). Социологи часто признают существование эмоций с разбросанными чувствами в своих работах; и такие явно социальные эмоции, как смущение и стыд, были проанализированы Гоффманом (1967, с. 97-112) и Гросом и Стоуном (1964), а также - Рицлером (1943).

Роберт С. Соломон в своей книге «Правда к нашим чувствам» объясняет, что не только идея, но и эмоции - это культурный артефакт [1]. Hochschild (1975, стр. 289, [2]) указывает, что социальные механизмы обычно регулируются «чувствами», которые предписывают (или препятствуют) определенным эмоциям. Также он утверждал, что люди часто делают «эмоциональную работу» над своими чувствами, пытаясь пробудить эмоции, которые, по их мнению, они должны чувствовать.

2 История анализа эмоций Благодарности

Развитие общей системы запросов (1996) (Филиппа Стоун, [3]) стала первой для определения эмоций в тексте. Обычно система подсчитывает примеры положительных и отрицательных эмоций.

После этого было проделано много работы для определения эмоций, выраженных в текстах на различных языках. Важным вкладом стали труды Яниса Виби, Петера Терни и Василеуса Хацивасилоглу в ранние 90-е. Янис Виби (1990, [4]) определяет термин «Субъективность» для исследования поиска информации. Позднее, в 1997 году, Хацивасилоглу и др. 1997, [5] определил семантическую ориентацию прилагательных. Спустя несколько лет Петер Терни [6] нашел революционный подход Thumbs Up (знак поднятый большой палец) и Thumbs Down (знак опущенный большой палец) для классификации положительных и отрицательных отзывов.

Авторы Пэнг и др. в 2002 году [7] предложили вручную создать лексикон настроений для обзоров фильмов. Они пришли к выводу, что методы машинного обучения лучше выполняются на созданном вручную лексиконе для анализа настроений. Автор Денеке в 2009 году [8] объявил интересное исследование нескольких доменов, чтобы продемонстрировать преимущество предварительной оценки полярности в SentiWordNet. SentiWordNet - это онлайн-ресурс, содержащий список слов, используемых для выражения эмоций. Каждое слово имеет определенное значение, называемое знаком полярности, которое может быть положительным, отрицательным или нейтральным в зависимости от типа эмоций, которые оно выражает. В России исследования, посвященные анализу чувств, до 2011 года не так многочисленны. Ермаков представил в 2009 году [9] систему анализа чувств, выявляющую мнения об автомобилях в российских блогах.

Анализ эмоций в тексте на русском языке в основном появляется в многоязыковых экспериментах. В международных исследованиях анализ русского настроения проявляется главным образом в многоязычных экспериментах. Загибалов и др, в 2010 году [10] представил сопоставимые экземпляры книжных обзоров, состоящие из двух частей: русской и английской, представляющих два очень разных языка. Корпусы сопоставимы по размеру и стилю. Они также содержат краткое описание специфики языка и области, которые наблюдаются в этих корпусах. В книге Штайнбергера и др в 2011 году [11] описана конструкция вокабулярий общих эмоций для различных языков. Четверкин и Лукашевич в 2012 году [12] описали выработку русских чувств и эмоционального словаря для общих доменов продукции и услуг.

3 Похожие работы

В работе Zhou, 2007 году, [13] проанализированы эмоции, выражаемые в конкретных сообществах документов социальной сети. Баутин заметил, что анализ эмоций из новостей и блогов, доступных в социальных сетях, дает полезную информацию об общественном мнении [14]. Автор Harsh Thakkar и Dhiren Patel в 2010 году [15] проанализировали важность ограничения размера в каждом твите на сайтах микроблогов, таких как твиттер. По их словам, это стимулирует пользователей быть очень краткими в отношении их мнений и облегчить твиттер для анализа эмоций.

Богдан и Филипп проанализировали богатство социальных сетей, предоставив всесторонний обзор программных средств для социальных сетей, вики, блогов, групп новостей, чатов и новых каналов [16]. Они отметили, что успех кампании зависит от того, как она осуществляется в социальных сетях и как управляется обществом. Bholane и профессор Deipali в их обзоре наблюдали важность социальных сетей и мнения людей о продукте для его продажи [17].

Авторы Vishal A. Kharde et al. в 2016 году [18] изучали сложные методологии, используемые Твиттером для анализа эмоций в сильно неструктурированных и гетерогенных твитов. По их мнению, комплексный анализ эмоций очень полезен в управлении обществом.

4 Методы и инструменты, используемые в анализе эмоций для управления обществом

Существуют различные методологии, используемые для подкрепления эмоций и использования их с целью управления обществом и его требованиями, некоторые из этих методов используются службами клиентов. Основная их цель - привлечь клиента, а лучший способ - понять их потребности. Наиболее распространенными методами являются:

1) Применение интеллектуального взаимодействия с клиентами

Оптимизированный опыт работы с клиентами имеет важное значение для доходов компании и удержания ее клиентов. Если компания использует это взаимодействие правильно, то оно может стать источником понимания клиента.

Благодаря новым инструментам, компаниям стало легче общаться с клиентами в режиме реального времени. Мессенджеры (messenger) - это программы, которые становятся все более популярными каналами обслуживания клиентов. В то же время такие инструменты, как Дрейф (Drift), позволяют разговаривать с клиентами, просматривающими корпоративный сайт.

2) Создание более надежного образа покупателя

Для понимания предпочтений клиентов существует приложение Гугл Аналитика (Google Analytics). Оно используется для определения того, от каких социальных сетей, отраслевых блогов и профессиональных форумов приходят сообщения. Затем, компании применяют эту информацию к своим клиентам, чтобы узнать их предпочтения более эффективно.

Кроме того, получение данных ключевых слов — это полезный способ узнать термины и описания, которые покупатели иногда используют для описания услуг компаний.

Например, чтобы сегментировать клиентов на основе поиска, по ключевым словам, можно использовать инструменты приложения Гугл (Google), для создания списка общих ключевых слов, которые приводят людей на сайт компании. Затем можно сгруппировать ключевые слова в общие темы и назначить разных персонажей на основе имеющихся данных.

3) Создание данных из клиентской аналитики

Для определения того, как клиенты взаимодействуют с сайтом, можно использовать инструмент отслеживания поведения пользователя. Такие инструменты, как приложение Гугл Аналитика (Google Analytics), являются отличными инструментами для сбора информации, например: время на странице и показатель отказов.

Другим очевидным инструментом является приложение Кисметрикс (Kissmetrics) [19]. Эта платформа отслеживает поведение каждого из клиентов, позволяя управлять и собирать информацию о конкретных сегментах.

4) Пройдите по пути вашего клиента

Лучший способ понять мнение клиента - представить себя на его месте.

Это стало возможным благодаря передовому методу, называемому картографированием путешествий клиентов - методу, при котором компании создают подробное графическое представление о поездке клиента на основе критических точек контакта - взаимодействия между клиентом и вашим брендом до, вовремя или после покупки.

5) Явная структурированная обратная связь

Очень интересно узнать, как люди чувствовали себя в маркетинговой кампании, проведя голосование по выбору эмоции из структурированного списка возможных вариантов. Есть одна исключительная компания, которая делает это - Facebook. Теперь, когда Facebook включил эмоциональные реакции на сообщения, он может лучше персонализировать опыт просмотра для каждого человека, а также лучше понять, какие рекламные объявления понравится клиенту.

5 Инструменты, используемые для анализа эмоций в твиттере Благодарности

Твиттер добился огромного успеха в области анализа настроений из общественного мнения. Наиболее распространенными инструментами, которые использует твиттер, являются:

- **NCSU Tweet Приложение визуализации настроений Благодарности**

В этом приложении мы можем ввести ключевое слово, а последние твиты появятся автоматически (с прошлой недели или в пределах выбранного диапазона времени). Эти твиты можно визуализировать как графики и диаграммы в своих вариантах визуализации. Здесь словарь чувств имеет три эмоциональных измерения для каждого слова. Удовольствие (объяснение, насколько счастлив человек), Активация (как он возбужден) и Доминирование (насколько конкретный термин является доминирующим для общего чувства текста).

- **Приложение Enginuity**

Приложение Enginuity позволяет искать последние новости о ключевом слове. Инструмент запрашивает как Твиттер (Twitter), так и Фэйсбук (Facebook). В нем также анализируется, является ли настроение социальных акций положительным или отрицательным, и дает общий рейтинг настроений для новостей. Энгинуиты хорошо работает, чтобы получить общую картину настроений по поводу недавних событий в социальных сетях.

- **Приложение SocialMention**

Приложение SocialMention - это базовое веб-приложение в стиле поисковой системы для анализа настроений на уровне темы в данных Твиттер. При вводе ключевого слова инструмент возвращает агрегированные оценки настроений для ключевого слова, а также связанных ключевых слов. Интересной особенностью является оценка <<страсти>>. Инструмент возвращает оценку «страсть», которая измеряет, насколько вероятно, что пользователи Твиттер обсудят ваш бренд, а также средний охват пользователей Твиттер, обсуждающих ваш бренд.

- **Обсуждение Благодарности**

Несмотря на продвижение в методах и инструментах, используемых для анализа эмоций, все еще есть некоторые проблемы, на которых необходимо сфокусироваться.

Было замечено, что некоторые инструменты хорошо работают, когда текст ограничен и находится в определенной структуре. По мере роста текста точность результатов уменьшается и увеличивается вероятность ошибок.

Также, инструменты зависят от конкретной платформы или конкретного вебсайта. Это связано с тем, что при их создании были разработаны характеристики и функциональные воз-

можности конкретной платформы или вебсайта. Они не могут использоваться одинаково эффективно на другом вебсайте.

Анализ эмоций с использованием инструментов вебсайтов обычно классифицирует эмоции в самых основных категориях. Кроме этого, возможность поиска или идентификации группы или конкретной темы также ограничена. Основные или общие эмоции не могут представлять мнение людей и не могут использоваться для управления обществом.

Большинство компаний не могут мотивировать своих клиентов дать объективное мнение. Меньший процент клиентов дает обратную связь, и в большинстве случаев обратная связь возникает в случае появления проблемы или необходимости обслуживания, полученного клиентом. Таким образом, в этой ситуации процесс анализа эмоций с целью управления обществом становится затруднительным.

Заключение

Существует потребность в системе, которая может использоваться для анализа эмоций общего назначения для управления обществом. Система должна быть способна анализировать текст по данным любой формы. Система должна быть достаточно гибкой, чтобы ее можно было использовать в нескольких целях. Система или приложение должны быть спроектированы, ориентируясь только на цель системы управления обществом.

Эмоции нужно анализировать и подразделять на классы и подклассы. Таким образом, реальные эмоции можно исследовать и использовать для управления обществом.

Анализ продукта или вебсайта, основанный на голосовании людей в его пользу, является наиболее распространенным методом на практике. Однако из-за человеческого фактора результатами можно манипулировать. Группа людей может голосовать за определенные вебсайты или статью с целью сделать ее более популярной. Мы можем применить метод анализа настроений, чтобы отделить хорошее от плохого. Отклики, которые просто повторяются чаще с похожими предложениями, следует игнорировать, чтобы получить только настоящие отзывы.

Компании могут предоставлять на своих сайтах не только свои новости или продукты для продажи, но также такие вещи, как чат-группы, формы социальных сетей, формы обратной связи, могут быть приставлены также некоторые игры. Следует создать среду для привлечения людей и предоставления платформы, где они могли бы поделиться своим мнением и вести общение.

Эмоции из текста делят людей на разные группы, основываясь на отзывах о продукте. Эта информация может быть использована для понимания причин их мнения. Некоторые интересные результаты можно наблюдать о конкретной группе клиентов.

Благодарности

Я выражаю благодарность кафедре теоретических основ информатики УдГУ Ижевск, в особенности, моему научному руководителю, Профессору доктору физико-математических наук, Бельтюкову Анатолию Петровичу за руководство моей исследовательской работой.

Список литературы

[1] Robert S. S. True to our feelings // Oxford University Press, 2007 // ISBN No. 978-0-19536853-6.
[2] Hochschild A // The Sociology of Feeling and Emotion // Milman, M. and Kanter R.M, eds., another Voice -New York, 1975.
[3] Stone, P.J., Dunphy, D.C., and Smith, M.S. // The General Inquirer: A Computer Approach to Content Analysis. MIT Press - Cambridge, 1966.
[4] Wiebe, Janyce M. // Identifying Subjectivity characters in Narrative: Proceedings of the 13th International Conference on Computational Linguistics, (COLING-90 Helsinki) – Helsinki Morristown NJ: Association of Computational Linguistic, 1990 .C. - 401-408.

[5] Vasileios H., Kathleen R. M. // Predicting the Semantic Orientation of Adjectives: EACL '97 Proceedings of the eighth conference on European chapter of the Association for Computational Linguistics (July 07 - 12, 1997, Madrid, Spain) - Spain, 1997.
[6] Peter D. T. // Thumbs Up or Thumbs Down? Semantic Orientation Applied to Unsupervised Classification of Reviews: Proceedings of the 40th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics (July 2002, Philadelphia) -Philadelphia, 2002. C. - 417-424.
[7] Pang B., Lee L. // Thumbs up? Sentiment Classification using Machine Learning Techniques: Proceedings of the Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing (July 2002, Philadelphia) - Philadelphia, 2002. C. - 79-86.
[8] Denecke K. //Are SentiWordNet scores suited for multi-domain sentiment classification? : Fourth International Conference on Digital Information Management (1-4 November 2009, University of. Michigan, Ann Arbor, Michigan, USA) - USA, 2009.
[9] Ermakov A. // Knowledge extraction from text and its processing: Current state and prospects // Information technologies: Proceedings of the Computational Linguistics and Intellectual Technologies 2009. C. - 50–55.
[10] Zagibalov, Taras , Belyatskaya et al. // Comparable English-Russian Book Review Corpora for Sentiment Analysis, Edition 2010.
[11] Steinberger J., Lenkova P., Kabadjov M., et al. // Multilingual Entity-Centered Sentiment Analysis Evaluated by Parallel Corpora: Proceedings of Recent Advances in Natural Language Processing (12-14 September, 2011. Hissar, Bulgaria) – Bulgaria, 2011. C. - 770–775.
[12] Chetviorkin I., Braslavskiy P., Loukachevich N. // Sentiment Analysis Track at ROMIP 2011 // Computational Linguistics and Intellectual Technologies: Proceedings of the International Conference (Dialog 2012 Bekasovo) – Bekasovo . C. - 1–14.
[13] Zhou D., Councill I., Zha, H., Giles C. // Discovering Temporal Communities from Social Network Documents: Proceedings of Seventh IEEE International Conference on Data Mining (28 – 31 Oct 2007, Omaha, NE, USA) – USA, 2007. C. -745 – 750.
[14] Bautin, M., Vijayrenu , L., Skenia. // International sentiment analysis for news and blogs: Proceedings of the second International Conference on Weblogs and Social Media ICWSM (26-28 March 2008, Seattle WA, USA) – USA, 2008.
[15] Thakkar H., Patel D. // Approaches for Sentiment Analysis on Twitter: A State-of-Art study // Cornell University Library, 2010.
[16] Batrinca B., Philip C. // Social media analytics: a survey of techniques, tools and platforms // Springer, Artificial Intelligence & Society (Volume 30, Issue 1, February 2015), 2015. C. - 89–116.
[17] Dattu B.S., V. Gore D.V. // A Survey on Sentiment Analysis on Twitter Data Using Different Techniques: International Journal of Computer Science and Information Technologies (Volume 6, Issue 6, 2015), 2015. C. - 5358-5362.
[18] Kharde V.A, Sonawane S.S // Sentiment Analysis of Twitter Data: A Survey of Techniques: International Journal of Computer Applications (Volume 139, 2016) 2016. C. - 11.
[19] Brad // Content Marketing Strategist at Pipedrive // Blog on Analytic, Marketing and Testing// on (https://blog.kissmetrics.com/understand-your-customers.)

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ВОСТРЕБОВАННОСТИ КОМПЕТЕНЦИЙ С ПОМОЩЬЮ КОГНИТИВНЫХ МОДЕЛЕЙ

А.З. Асанов[1], И.Ю. Мышкина[2], Л.Ю. Грудцына[2]

[1]МИРЭА – Российский технологический университет, Институт кибернетики
119454, Москва, пр. Вернадского, 78, Россия
askhat.asanov@yandex.ru
тел: +7 (499) 215-65-65

[2]Казанский (Приволжский) федеральный университет
423812, Набережные Челны, д. 68/19 (1/18), Россия
mirinau@mail.ru
тел: +7 (8552) 58-96-47

Ключевые слова: компетенция, прогнозирование востребованности, когнитивная модель, программа обучения

Abstract

The article speaks about investigation devoted to the cognitive application of models possibilities in the forecasting competences demands. The usage of which is caused by the fact that they allow to consider a large number of diverse qualitative and quantitative factors: data on the demanded and predicted new professions, the results of expert polls, data on the perspective scientific directions given about subject and number of scientific publications, etc., and also a successive ligature between competences, the their formation reflecting stages. Main research objectives: the choice of the factors influencing on the competences demand, the type of cognitive model choice, a research on using possibilities of professional application standards. Using cognitive model of the program training in the higher education institution, the using possibilities of the received estimates in the "future" competences value in the updating programs process is also used. The received results are applied in the updating program of bachelors training.

Введение

В настоящее время практически для всех сфер профессиональной деятельности характерна высокая скорость изменений и роста новых знаний, а, значит, и требований к работникам и соискателям вакансий. В соответствующем темпе должны изменяться и адаптироваться к новым требованиям рынка труда и профессиональные образовательные программы. В этих условиях актуальной становится задача разработки моделей и алгоритмов поддержки принятия решений при взаимодействии образовательных учреждений и работодателей, позволяющих вырабатывать рекомендации по корректировке программ обучения (ПО) с целью адаптации ПО к требованиям рынка труда на основе компетентностного подхода.

Как правило, существующие подходы к корректировке ПО используют оценки ценности компетенций, которые определяются на основе результатов опросов работодателей, нуждающихся в выпускниках анализируемого направления подготовки. Однако принятие решений должно осуществляться не на основе анализа текущих потребностей рынка труда, а на основе оценок востребованности (значимости) компетенций на момент окончания срока обучения, что делает актуальной задачу прогнозирования востребованности компетенций.

Задача прогнозирования в системе «вуз-производство» в российской практике в настоящее время, как показывает анализ работ, посвященных данной тематике, касается, прежде всего, количественного прогнозирования востребованности профессий; однако такая «качественная характеристика» при прогнозировании потребности в кадрах, как прогнозирование компетенций, как правило, в большинстве работ не рассматривается [1]. Существующие подходы

к прогнозированию компетенций (по крайней мере, в российской практике) основаны либо на результатах опросов работодателей, либо на результатах опросов экспертов – квалифицированных преподавателей вузов и ведущих ученых, работающих в рассматриваемых областях знаний [2, 3]. Целью данной работы является исследование возможности применения, наряду с результатами экспертных опросов, множества разнородных измеряемых показателей, влияющих на востребованность компетенций, и исследование возможности получения количественной оценки «будущей» значимости компетенций.

1 Возможности и перспективы использования когнитивного моделирования

Одним из инструментов, позволяющих учитывать множество разнородных факторов, влияющих на развитие исследуемой проблемной ситуации, и связи между ними, являются когнитивные карты. Полагаем, что применение когнитивного моделирования для решения задачи прогнозирования востребованности компетенций может осуществлять по следующим направлениям. Как отмечают некоторые исследователи, «прогнозы востребованных компетенций должны строиться на региональном уровне с учетом экономической специализации региона, а также учитывать специфику отраслевого распределения рабочих мест» [2]. Первое направление заключается в использовании когнитивных моделей для прогнозирования социально-экономического развития региона (например [4]), в том числе для прогнозирования потребности в профессиональных кадрах. Второе направление заключается в применении для прогнозирования востребованности компетенций когнитивных моделей, позволяющих одновременно учитывать ряд таких показателей, как данные о востребованных [5] и прогнозируемых новых профессиях [6], результаты экспертных опросов, данные о перспективных научных направлениях, данные о тематике и числе научных публикаций и т.п., а также преемственные связи между компетенциями, отражающие стадии их формирования. В данной статье рассматривается задача прогнозирования востребованности компетенций с помощью анализа требований профессиональных стандартов. На основе построенной когнитивной модели ПО и оценок «будущей» ценности компетенций могут быть выработаны рекомендации по корректировке ПО.

2 Когнитивные модели

2.1 Когнитивная модель программы обучения

В качестве модели ПО выбрана нечеткая продукционная когнитивная карта. В этих картах вершины (концепты) представлены в виде нечетких множеств. Причинно-следственные отношения между двумя вершинами выражены в виде нечетких правил со структурой «один вход–один выход» [7, 8, 9, 10]. Когнитивная модель имеет вид [7, 8]:

$$\Phi =< G, X, W >,$$

где $G =< V, E >$ – ориентированный граф, V – множество вершин (концептов), причем $V = \{V_i\}$, $i = \overline{1, Q}$. Q – количество вершин (концептов), $Q = K_m + K + M + L + N$, т.е. K_m – общее число модулей (разделов дисциплин, $i = \overline{1, K_m}$), K – число профессиональных компетенций, M – число общекультурных компетенций, L – число общепрофессиональных компетенций ($i = \overline{K_m + 1, K_m + K + M + L}$), N – число дисциплин ПО ($i = \overline{K_m + 1 + K + M + L, Q}$).

Множество дуг – $E = \{e_{ij}\}$, $i, j = \overline{1, Q}$. Причем: 1) $e_{ij} = 1$, $i, j = \overline{1, K_m}$, если модуль V_j является родительским для изучения модуля V_i; 2) $e_{ij} = 1$, $i = \overline{K_m + 1, K_m + K + M + L}$, $j = \overline{1, K_m}$,

если компетенция V_i формируется в ходе изучения модуля V_j; 3) $e_{ij}=1$, $i=\overline{1,K_m}$, $j=\overline{K_m+1+K+M+L,Q}$, если модуль V_i является частью дисциплины V_j. $X=\left\{X^{V_i}\right\}$, $i=\overline{1,Q}$ – множество параметров вершин V (значение концептов V – ценность (значимость) концепта для осуществления будущей профессиональной деятельности). Каждый концепт описывается соответствующей лингвистической переменной (ЛП) $\left\langle \widetilde{X}_i, T_i, D_i \right\rangle$, приращение каждого концепта X_i – ЛП $\left\langle \Delta\widetilde{X}_{ji}, T_{ji}^{\Delta}, D_{ji}^{\Delta} \right\rangle$, веса влияний $W=\left\{w_{ji}\right\}$ между каждой парой вершин – ЛП $\left\langle \widetilde{W}, T^w, D^w \right\rangle$ [7, 8].

Пересчет значений всех концептов (кроме концептов-дисциплин) осуществляется по формуле $\widetilde{X}_i(t+1)=\widetilde{X}_i(t)\oplus\left\{\underset{j}{\oplus}\,\widetilde{f}_{ji}\left[\Delta\widetilde{X}_j(t)\right]\right\}$, $i,j=\overline{1,K_m+K+M+L}$, где $\widetilde{X}_j$, $\Delta\widetilde{X}_j$ – нечеткие множества, представляющие значения *j*–го концепта и приращения этого концепта, смежного с выходным концептом *i*; $\widetilde{X}_i$ – нечеткое множество, представляющее значение выходного концепта; $\widetilde{f}_{ji}$ – нечеткий оператор, задающий нечеткое отображение типа «один вход–один выход»; $\oplus$ – операция нечеткой аккумуляции нескольких нечетких влияний на выходной концепт [7, 8, 9, 10]. Значение результирующих концептов (значимость дисциплин) $i=\overline{K_m+1+K+M+L,Q}$ определяется на основе конечных значений концептов ($j=\overline{1,K_m}$), соответствующих модулям дисциплин: $\widetilde{X}_i^{res}=\underset{j=1,2,...,K_m}{\oplus}\widetilde{f}_{ji}\left[\widetilde{X}_j^{res}\right]$ [8].

С помощью данной модели для заданного набора оценок ценности компетенций может быть определена значимость учебных модулей (разделов) и значимость дисциплин ПО, на основе которых могут быть выработаны рекомендации по корректировке ПО (включение/исключение дисциплин, увеличение/уменьшение интенсивности изучения дисциплин), например, с помощью нечетких продукций [11].

2.2 Прогнозирование востребованности компетенций на основе анализа профессиональных стандартов

Одним из основных источников требований к профессиональным квалификациям работников при разработке ПО в настоящее время являются профессиональные стандарты [12, 13]. Профессиональный стандарт (ПС) –«документ, раскрывающий с позиций объединений работодателей (и/или профессиональных сообществ) содержание профессиональной деятельности в рамках определенного вида экономической деятельности, а также требования к квалификации работников» [14].Однако использование ПС требует разработки методик, позволяющих устанавливать соответствие между трудовыми компетенциями (трудовыми функциями) и учебными компетенциями [2]. Выбор ПС для прогнозирования востребованности компетенций может быть произведен на основе перечня востребованных профессий и специальностей, соответствующих приоритетным направлениям развития экономики региона [1, 2].

В качестве модели компетенций может быть выбрана четкая когнитивная карта [7, 15, 16]. Когнитивная модель имеет вид: $\Phi=<G,Y,W>$, где $G=<V,E>$ – ориентированный граф, V – множество вершин (концептов); $V=\left\{V_i\right\}=\left\{P_j\right\}\cup\left\{K_t\right\}$, $i=\overline{1,N}$; $\left\{P_j\right\}$ – множество вершин, соответствующих возможным профессиям выпускников анализируемого направления подготовки; $\left\{K_t\right\}$ – множество вершин, соответствующих компетенциям, формируемым в

процессе обучения; $E = \{e_{ij}\}$, $i, j = \overline{1, N}$ – множество дуг, причем наличие связи между компетенциями i и j означает, что компетенция j необходима для формирования компетенции i. Вершины, соответствующие профессиям, связаны с компетенциями, необходимыми для осуществления профессиональной деятельности. В когнитивной модели компетенций $Y = \{Y^{V_i}\}$ ($i = \overline{1, N}$) – множество параметров вершин V (значение вершин $\{K_l\}$ – ценность компетенций, значение вершин $\{P_j\}$ – экспертные оценки степени соответствия профессии анализируемому направлению подготовки). Веса влияний $W = \{w_{ji}\}$ ($i, j = \overline{1, N}$) отражают силу связи между соответствующими вершинами ($w_{ji} \in [0;1]$). Веса влияний между вершиной-профессией и вершиной-компетенцией могут быть получены следующим образом. Пусть некоторый ПС включает набор трудовых компетенций $PS = \bigcup_{l=\overline{1,U}} TK_l$, U – количество трудовых компетенций.

Допустим, определено соответствие между трудовыми и учебными (профессиональными, общекультурными и общепрофессиональными компетенциями). Пусть t_i ($i = \overline{1, K+M+L}$) – число обращений к i–й учебной компетенции, тогда оценки $\left(\frac{t_1}{\max\limits_{i=1,K+M+L}(t_i)}, \frac{t_2}{\max\limits_{i=1,K+M+L}(t_i)}, ..., \frac{t_{K+M+L}}{\max\limits_{i=1,K+M+L}(t_i)} \right)$ можно рассматривать как значимость учебных компетенций в соответствии с выбранным ПС и использовать их как веса влияний между вершиной-профессией и вершинами-компетенциями.

Под влиянием различных возмущений (импульсов) значения переменных в вершинах когнитивной модели могут изменяться. Правило, по которому происходит изменение значений вершин (импульсное моделирование), имеет вид: $Y_i(t+1) = Y_i(t) + \sum_{j=1}^{N} w_{ji} \cdot p_j(t)$, где $p_j(t) = Y_j(t) - Y_j(t-1)$ – величина изменения j-й вершины на шаге моделирования t. Полученные значения ценности учебных компетенций могут быть использованы в качестве начальных значений вершин-компетенций в когнитивной модели ПО. Следует отметить, что для практического использования полученных с помощью построенной когнитивной модели оценок ценности компетенций следует выполнить их нормирование [17].

3 Практическое применение

На основе предложенного подхода был проведен анализ программы обучения бакалавров на соответствие требованиям ПС в области ИТ [18]. Выработаны рекомендации по корректировке ПО. Полученные рекомендации в целом согласуются с экспертными оценками структуры и содержания необходимых изменений ПО для её адаптации к требованиям к квалификации работников выбранных профессий.

Заключение

В рамках дальнейших исследований планируется при построении когнитивных моделей увеличить число учитываемых факторов и показателей для прогнозирования будущей ценности учебных компетенций с целью повышения достоверности получаемых результатов.

Список литературы

[1] Кекконен А.Л., Сигова С.В. Качественные характеристики в количественных прогнозах рынка труда // Спрос и предложение на рынке труда и рынке образовательных услуг в регионах России: сб. докладов Девятой Всероссийской научно–практической Интернет–конференции, Книга I. – Петрозаводск: Изд–во ПетрГУ, 2012. – С. 154-164.

[2] Кутейницына Т. Г. Методы прогнозирования качества рабочей силы: зарубежный опыт и российская практика // Профессиональное образование и рынок труда. – 2016. – № 3. – С. 10–15.

[3] Судаков Д., Лукша П., Стриецка-Ильина О., Грегг Кон, Хофман К., Хачатрян Л. Руководство по применению технологического форсайта для определения будущих потребностей в компетенциях. Международное бюро труда. – Женева: МОТ, 2016.

[4] Исмиханов З.Н. Моделирование социально-экономического развития региона на основе когнитивного подхода (на примере республики Дагестан) // Бизнес-информатика. – 2015. – №2(32). – С. 59-68.

[5] Перечень востребованных профессий и специальностей, соответствующих приоритетным направлениям развития экономики Республики Татарстан (http://mtsz.tatarstan.ru/perechen-vostrebovannih-professiy-i.htm/).

[6] Атлас новых профессий (http://atlas100.ru/).

[7] Борисов В. В., Круглов В. В., Федулов А. С. Нечеткие модели и сети. – М.: Горячая линия-Телеком, 2007.

[8] Асанов А.З., Мышкина И.Ю., Гумерова Л.З. Алгоритм выбора программ повышения квалификации и переобучения соискателей вакансий на основе когнитивных моделей // Качество. Инновации. Образование. – 2016. – №4 (131). – С. 21–30.

[9] Carvalho J.P., Tomè J. A. Rule–based fuzzy cognitive maps and fuzzy cognitive maps – a comparative study // In Proc. of the 18th International Conference of the North American Fuzzy Information Processing Society. – NAFIPS'99 : New York, 1999. – P. 115-119.

[10] Carvalho J.P., Tomè J. A. Fuzzy Mechanisms for Causal Relations // In Proceedings of the 8th International Fuzzy Systems Association World Congress. – IFSA: Taiwan, 1999. – P. 1009-1013

[11] Асанов А. З., Мышкина И. Ю. Алгоритм оценки объемов дополнительного обучения сотрудников на основе аппарата нечеткой логики // Качество. Инновации. Образование. – 2010. – № 12. – С. 43–51.

[12] Волошина И. А, Есенина Е. Ю., Новиков П. Н., Прянишникова О.Д. Рекомендации по учету требований работодателей к профессиональным квалификациям работников при разработке профессиональных образовательных программ. – М.: Национальное агентство развития квалификаций, 2010.

[13] Гузаиров М. Б., Юсупова Н. И., Сметанина О. Н. Информационное и математическое обеспечение в системе поддержки принятия решений при управлении процессом разработки образовательной программы. – М.: Машиностроение, 2011.

[14] Блинов В. И., Волошина И. А., Есенина Е. Ю., Лейбович А. Н., Новиков П. Н. Словарь-справочник современного российского профессионального образования. Выпуск 1. – М.: ФИРО, 2010.

[15] 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.

[16] Asanov A.Z., Myshkina I.Yu., Grudtsyna L. Yu. Evaluation and selection of personnel based on clear and fuzzy cognitive models // International Journal of Soft Computing. – 2015. – №10. – С. 448-453.

[17] Пегат А. Нечеткое моделирование и управление. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2009.

[18] Профессиональные стандарты в области ИТ (http://www.apkit.ru/committees/education/meetings/standarts.php).

МОДЕЛЬ ЦЕЛЕНАПРАВЛЕННОГО СУБЪЕКТИВНО РАЦИОНАЛЬНОГО ВЫБОРА

Виноградов Г.П.,[1] Кирсанова Н.В.,[2] Фомина Е.Е.[3]

Тверской государственный технический университет
170023, Тверь, ул. Маршала Конева, 12, Россия
[1]wgp272ng@mail.ru, [2]lena.tver@inbox.ru, [3]ipm-tstu@mail.ru

Ключевые слова: *рефлексивное управление, модель, принятие решений, компромисс, целеустремленная система*

Abstract

It is shown that the patterns of departure of the subject from the "ideal" of rational choice to the subjectively rational are connected with the peculiarities of identifying and understanding external conditions and the properties of their interests (external and internal factors, respectively). External factors associated with the commitments taken by the agent. Internal factors reflect the interests of the subject, induced his needs and ethical system to which he adheres. It is proved that the choice of subject is based on perceptions of the situation purposeful state that reflect various aspects of understanding the subject of purposeful state situation and form an information structure diagrams as the set of possible presentations; the evaluation of satisfaction with the current situation purposeful state of the subject changes the structure of interests of the subject, and he can choose it. It is shown that an agent when making decisions uses three sets of alternatives: control, structural, and identification. This suggests the existence of three virtual parties involved in the selection of appropriate alternatives.

Введение

Поведение неразрывно связано с принятием решений. Определим в соответствии с [1] информационное управление как некоторое воздействие путем передачи данных для формирования модели реальности в голове субъекта (агента), цель которого – склонить его к принятию решения, выгодного контролирующей стороне. Его реализация станет возможной только тогда, когда будут созданы реалистичные модели принятия решений агентом, у которого есть внутренние образы себя и воздействующей на него стороны, и которые учитывают его понимание ситуации выбора [1, 2, 5].

Поведение агентов на основе формальных моделей исследуется в теории агентов, теории принятия решений, поведенческой робототехники, в теории искусственного интеллекта и ряда других направлений [8, 10-12]. Формальная теория выбора [6] развивалась путем абстрагирования от субъективных факторов, что привело к созданию нормативной теории принятия решений «идеальным» субъектом. В ней агент рассматривается как «нечто», реагирующее на стимулы, а сам процесс принятия решений является неконтролируемым фактором. Известно, что решение субъект принимает на основе модели представлений о ситуации выбора. В модель поведения искусственной сущности она вкладывается разработчиком в символьной форме. На ее основе она формирует решение в соответствии с встроенным механизмом рассуждений. Это существенно ограничивает возможности моделирования поведения интеллектуального агента на основе результатов перечисленных направлений.

Логика развития проблемы выбора привела к необходимости изучения, как и почему в реальных условиях происходит «отход» субъекта от нормативной рациональности [6, 7, 9], то есть развитие теории принятия решений в настоящее время направлено на решение комплекса проблем, концентрирующихся вокруг феномена субъективного выбора [8]. Однако, несмотря на обилие работ в данном направлении [14] проблема остается актуальной.

В данной работе ставится задача исследовать причины несоответствия между фактическим и «оптимальным» выбором. Для этого предлагается формальная схема включения в модель выбора этапов: познания и поведения, связанного с выбором. Такой подход ставит ряд проблем:

1) как формируются правила выбора человеком?
2) как он проверяет их адекватность и полезность в конкретных ситуациях целеустремленного состояния?
3) как формируются представления человека о ситуации целеустремленного состояния?

1 Постановка задачи

Предлагаемый подход основан на формализации идей Миллера, Галантера и Прибрама [13] и использует идеи субъективно рационального выбора развитые в работах [2, 4, 5] на основе теории нечетких множеств.

Представления агента рассматриваются как некоторый набор моделей, выраженных средствами субъектного языка, обладающих предсказывающими свойствами. С помощью соответствующих критериев агент выбирает одну из моделей так, чтобы выбор на ее основе наиболее полно соответствовал его ожиданиям. При этом модель агент интерпретирует на реальных данных для того, чтобы она обладала предсказывающими свойствами, а не была фантомной. Набор таких моделей образует теорию агента относительно предметной области. Она используется для объяснения и предсказания развития процессов под действием используемого управления агентом в различных ситуациях. Понятно, что формирование представлений определяется целью, в противном случае агент не может выполнить разумную интерпретацию модели или определить, какие свойства окружения являются ей релевантными.

Субъективно рациональный выбор предполагает, что цели поведения определяются мотивацией. Мотивация выбора определяется как внешними, так и внутренними факторами. Внутренние факторы отражают интересы субъекта, индуцируемые его потребностями и этической системой, которой он придерживается. Внешние – связаны с принятыми обязательствами. Это означает, что цели поведения интеллектуального агента формируются им эндогенно, и в случае, когда их ценность превышает некоторое пороговое значение, возникает целеустремленное поведение. Следовательно, цели определяют способ идентификации модели ситуации, и он направляется некоторым механизмом – механизмом познания.

Оценки удовлетворенности текущей ситуацией целеустремленного состояния субъектом, как показано в [2], могут приводить к изменению структуры интересов субъекта и он ее может выбирать. Поскольку предпочтения субъекта в процессе выбора отражают его интересы, то можно определить множество G альтернативных вариантов структуры предпочтений, которые согласно [3] будем называть структурными альтернативами.

Таким образом, можно сформулировать гипотезу исследования. Каждая интеллектуальная система имеет некоторый набор критических параметров, определяющих ее существование. Их набор определяет ее мотивацию, намерения, предпочтения, внутренние цели и критерии их достижения, интерпретацию и способ идентификации ситуации. Способность интеллектуального агента достигать желаемых состояний является функцией наличия у него адекватных представлений о ситуации выбора, позволяющих ему прогнозировать возможные исходы при различных вариантах поведения (способов действия). Уровень (глубина) представлений связана и определяется целью. Представления рассчитаны не только на отражение либо конструирование единственной объективной реальности. Их задача заключается в том, чтобы воспроизвести какой-либо аспект возможной реальности.

Таким образом, формализация процесса выбора предполагает, что агент должен (осознанно и неосознанно) определять исходя из своих «переживаний» цели и разрабатывать процедуру проверки того, достигнута цель или нет. Если цель еще не достигнута, он должен с

помощью определенных процедур идентифицировать модель ситуации выбора, переопределить систему предпочтений и тактические цели так, чтобы приблизиться к желаемому состоянию. Когда критерии проверки удовлетворены, и промежуточные цели достигнуты, выполняется переход к следующей стадии.

Этот подход позволяет моделировать поведение автономной сущности, которая должна не столько реагировать на стимулы, сколько интерпретировать состояние окружения, выявлять те состояния, которые ставят перед ней определенные проблемы. Она должна их пытается разрешить с помощью имеющихся или конструируемых ей способов.

2 Исходные предположения

1) Выбор субъектом осуществляется на основе представлений о ситуации целеустремленного состояния, которая формально определена в [2].
2) Компоненты представления отражают различные аспекты понимания субъектом ситуации целеустремленного состояния и образуют информационную структуру представлений. Множество возможных вариантов представлений обозначим через X.
3) Для множества состояний окружения S множество наблюдаемых состояний окружения удовлетворяют условию $S \cap X \neq \varnothing$, то есть представления субъекта могут содержать как объективную составляющую, так и фантомную.
4) Структурные альтернативы субъект выбирает в зависимости от оценок удовлетворенности значениями свойств ситуации целеустремленного состояния.
5) Формирование представлений осуществляется на основе процедур восприятия, осознания и анализа согласно с когнитивными возможностями субъекта.

В соответствии с введенными предположениями субъект при принятии решений использует три множества альтернатив: управляющие C (способы действия), структурные G (интересы, предпочтения) и идентификации X. Следовательно, можно предположить существование трех виртуальных сторон, осуществляющих выбор соответствующих альтернатив. Правила выбора таких альтернатив в зависимости от понимания субъектом обстановки и структуры своих интересов будем называть стратегиями.

Пусть принятие решения выполняется в несколько циклических этапов, и способы действия выбираются на каждом этапе n = 1, 2, ... из множества C в зависимости от представления о состоянии окружения $x \in X$. Это связано с тем, что совместный надсознательный (интуитивный) и сознательный (формальный) анализы состояния окружения позволяют в многократных итерациях принять сначала смутно осознаваемое, а затем все более четко формулируемое и обоснованное решение. При этом существуют ограничения $Cx \subseteq C$ на допустимость выбора альтернатив в зависимости от представлений о состоянии окружения $x \in X$. Динамика процессов в окружении субъекта недоступна прямому восприятию, поэтому представления о ней формируется путем применения процедур идентификации, суть которых сводится к выбору варианта представлений в зависимости от наблюдаемого состояния и структуры интересов $g \in G$. При этом существуют и известны ограничения $Xs \subseteq X$ на допустимость представлений в качестве альтернатив идентификации в зависимости от наблюдаемых состояний $s \in S$.

Исходя из этих предположений, следуя [3], введем определения стратегий.

Однозначное отображение $\lambda: X \to C$ такое, что $\lambda(x) \in Cx$, $x \in X$, называется функцией выбора или управления; упорядоченный набор $(\lambda 1, ..., \lambda n) \equiv \lambda_1^n$ – стратегией выбора на горизонте длины $n < \infty$; $\lim \{\lambda_1^n\} = \lambda_1^n \infty$ при $n \to \infty$ будем называть стратегией, направленной на достижение локального идеала, определяющего смысл существования субъекта.

Однозначное монотонное отображение ξ:S→X такое, что $\xi(s)\in Xs$, $s\in S$, называется функцией идентификации; упорядоченный набор $(\xi 1, ..., \xi n) \equiv {}^{\xi}1^{n}$ – стратегией идентификации на горизонте длины $n<\infty$; последовательность $\{{}^{\xi}1^{n}, n = 1,2,...\}$ – стратегией идентификации на ограниченном горизонте. Поскольку субъект стремится к формированию полезных представлений, то существует $\lim {}^{\{\xi 1^{n}\}} = \xi\infty$ при $n\to\infty$.

Так как множества S и X удовлетворяют условию |S| > |X|, то однозначное отображение ξ:S→X порождает разбиение множества S на подмножества $\xi^{-1}(x) = \bigcup\{s \in S : \xi(s) = x\} \subset S,\ x \in X.$

Подмножества $\xi^{-1}(x) \subset S,\ x \in X$, являются связными множествами, то есть любой элемент $s\in \xi^{-1}(x)$ однозначно определяет соответствующее представление $x\in X$. Следовательно, можно говорить, что подмножества $\xi^{-1}(x) \subset S,\ x \in X$, образуют классы эквивалентных представлений. Это позволяет для формализации представлений субъекта использовать методы теории мягких вычислений, например, так, как описано в [4].

Выбранная в момент n структурная альтернатива $\gamma_n \in G$ является структурным выбором на n-м шаге принятия решений; упорядоченный набор $(\gamma n, ..., \gamma_1) \equiv \gamma_1^n$ – стратегией структурного выбора на горизонте принятия решений длины $n<\infty$; последовательность $\{{}^{\gamma}1^{n}$, n = 1, 2, ...} – стратегией структурного выбора на ограниченном горизонте. Поскольку субъект стремится к соответствию своей структуры интересов требованиям принятой им этической системы, то существует $\lim {}^{\{\gamma 1^{n}\}} = \gamma\infty$ при $n\to\infty$.

3 Модель принятия решений с изменяющейся структурой предпочтений

Согласно [2] критерий выбора стратегии управления имеет смысл ожидаемой удельной ценности целеустремленного состояния по результату, формализация которой имеет вид функции полезности $E\varphi^g(C\times S\times X)$, зависящей от структурной альтернативы $g\in G$ как от параметра. Поскольку процесс управления начинается с некоторой ситуации $x\in X$, то критерий $E\varphi_n(\lambda_1^n \mid \gamma_1^n)$ будет также зависеть и от ситуации $x\in X$ как от начального условия. Так как при этом множество ситуаций X конечно, то критерий $E\varphi n(\lambda_1^n \mid \gamma_1^n)$ будет окончательно представляться вектором в пространстве R^X размерности |X|. Его компоненты будем записывать в виде $E\varphi_n(\lambda_1^n \mid \gamma_1^n)(x),\ x \in X$. По результату выбора субъект испытывает эмоциональное переживание, поэтому качество стратегии структурного выбора γ_1^n следует описывать в виде критерия, имеющего смысл «*удовлетворенности результатами выбора*». Следовательно, качество стратегии γ_1^n естественно описывать сверткой вектора ожидаемой полезности $E\varphi_n(\lambda n \mid \gamma_1^n) \in R^X$ в некоторый функционал $\mu : R^X \to R^1$. Тогда критерий качества стратегии γ_1^n можно записать в виде $\mu_n(\lambda_1^n \mid \gamma_1^n) = \mu(E\varphi_n(\lambda_1^n \mid \gamma_1^n)) \in R^1$.

Качество своих представлений субъект связывает с оценками возможности достижения желаемых состояний от управления $c \in C$, а также с возможностью расширения множества $C^{\uparrow}$ путем включения в него эффективных альтернатив. В работе [5] в качестве критерия оценки представлений использовать термы лингвистической переменной «*полезность*», которые строятся на значениях $E\varphi_n(\lambda_1^n \mid \gamma_1^n)$. При этом оценки полезности будут зависеть от стратегий управления λ_1^n, структурного выбора γ_1^n как от заданных условий. Обозначим критерий «полезность» следующим образом $\psi n(\xi_1^n \mid \lambda_1^n, \gamma_1^n)$. Поскольку процесс идентификации начинается с некоторого состояния $s \in S$, то этот критерий будет зависеть от состояния $s \in S$, задаваемого в качестве начального условия. Так как при этом множество состояний S конечно, то критерий идентификации будет представляться вектором $\psi n(\xi_1^n \mid \lambda_1^n, \gamma_1^n)$ в пространстве R^S размерности $|S|$.

В ситуации целеустремленного состояния качество стратегий управления и структурного выбора описывается соответственно критериями $E\varphi_n(\lambda_1^n \mid \gamma_1^n) \in R^X$ и $\mu_n(\gamma_1^n \mid \lambda_1^n) \in R^1$, имеющими смысл удельной ценности по результату и удовлетворенности результатами выбора, а качество стратегии идентификации– критерием $\psi_n(\xi_1^n \mid \lambda_1^n, \gamma_1^n) \in R^S$, имеющим смысл полезности представлений для достижения желаемых состояний. Использование введенных критериев предполагает определение соответствующих информационных структур или моделей, позволяющих выполнить соответствующий выбор.

Будем предполагать существование информационной структуры представлений I, которая отражает знания и опыт субъекта о: способах действия (управления), своих интересах и предпочтениях, динамике перехода окружения в различные состояния. Тогда можно предположить, что существует структурное преобразование этой структуры в информационную структуру, обеспечивающую возможность построения критерия удельной ценности $E\varphi_n(\lambda_1^n \mid \gamma_1^n)$ и модели предметной области. Такое преобразование будем называть «*преобразованием удельной ценности*», а индуцируемую им информационную структуру будем называть «информационной структурой удельной ценности ситуации целеустремленного состояния по результату» и обозначать $U = U(I)$.

Аналогично, если существует структурное преобразование структуры I в информационную структуру, обеспечивающей возможность построения критерия идентификации $\psi n(\xi_1^n \mid \lambda_1^n, \gamma_1^n)$ и модели процедур идентификации, то такое преобразование будем называть «преобразованием идентификации» и обозначать R, а индуцируемую им информационную структуру будем называть «*информационной структурой идентификации*» и обозначать $R = R(I)$.

Представления субъекта о ситуации целеустремленного состояния является субъективными и качественными, построенными на основе наблюдений и анализа процесса перехода окружения под действием управления $c \in C$ в различные состояния $s \in S$. Обозначим правило такого перехода через $qg(S \mid S \times C)$ из $S \times C$ в S. Фактически субъект для оценки ценности возможных результатов использует построенную по результатам стратегии идентификации ξ_1^n модель $Qg(X \mid X \times C)$ из $X \times C$ в X. При ее построении учитываются стратегии управления λ_1^n, структурного выбора γ_1^n, либо такими стратегиями он задается. Это означает, что преобразование фактической функции $qg(S \mid S \times C)$ в функцию понимания субъектом про-

цессов в его окружении $Q^g(X \mid X \times Y)$ возможно лишь в апостериорном режиме в зависимости от используемых стратегий $(\lambda_1^n, \gamma_1^n, \xi_1^n)$. Такое преобразование и построение критерия ожидаемой удельной ценности $E\varphi n(\lambda \mid \gamma_1^n)$ возможно при последовательном формировании информационных структур «полезности» в зависимости от используемых стратегий. Это условие будем записывать в виде $Un = U(\lambda_1^n, \gamma_1^n, \xi_1^n)(I)$, $n = 1,2,...$ Поскольку это условие является необходимым для формирования критерия ожидаемой полезности и модели предметной области, то оно должно указываться всякий раз при его использовании. Отметим, что критерий $E\varphi n(\lambda_1^n \mid \gamma_1^n)$ неявно зависит от стратегии идентификации ξ_1^n за счет введения в модель выбора индуцированной структуры U_n. Как было отмечено выше, критерий $\mu_n(\gamma_1^n \mid \lambda_1^n) \in R^1$ качества структурного выбора определяется сверткой критерия $E\varphi n(\lambda_1^n \mid \tau_1^n) \in R^X$. Общность информационной структуры их формирования позволяет записать

$$\begin{cases} E\varphi_n(\lambda_1^n \mid \xi_1^n);\ \mu_n(E\varphi_n(\xi_1^n \mid \lambda_1^n)) \\ U_n = U(\lambda_1^n, \gamma_1^n, \xi_1^n)(I). \end{cases}$$

Для построения критерия идентификации требуется использование некоторой функции, которая имела бы смысл «полезности». Для этого надо построить вербальные оценки на значениях функции полезности $E\varphi^g(S \times X \times Y)$. Требуемое преобразование существует и может выполняться в априорном режиме (т. е. до выбора решений).

Такое преобразование определяется субъектом относительно нечеткой меры, которая может быть построена, если задана функция $q^g(S \mid S \times C)$ из $S \times C$ в S. Поскольку ее аналог в сознании субъекта имеет вид $Q^g(X \mid X \times C)$ и он может ее однозначно задать в информационной структуре I, то, следовательно, не требуется дополнительных преобразований. Построение функции «полезности представлений» исчерпывает необходимое структурное преобразование. Такое преобразование будем называть структурным преобразованием «идентификации» и обозначать R, а индуцируемую им информационную структуру называть информационной структурой «полезности представлений» и обозначать $R = R(I)$.

С учетом этих соображений критерий идентификации окончательно запишем в виде

$$\{\psi_n(\xi_1^n \mid \lambda_1^n, \gamma_1^n);\ R = R(I)$$

Из введенных определений и построений следует, что критерии качества этих видов стратегий различны и взаимозависимы. Тогда проблема выбора имеет игровое содержание и сводится к отысканию устойчивого компромисса между стремлением к максимизации ожидаемой удельной ценности целеустремленного состояния по результату и минимизации возможных потерь от неправильных представлений. Такой компромисс называется *равновесием*.

Заметим, что поскольку информационная структура «удельной ценности» $U_n = U(\lambda_1^n, \gamma_1^n, \xi_1^n)(I)$, в условиях которой строится критерий $\mu_n(E\varphi_n(\gamma_1^n \mid \lambda_1^n))$, должна формироваться последовательно в зависимости от используемых стратегий, то искомые равновесия будут взаимозависимы не только на каждом этапе n = 1, 2, ... формирования решений,

но они будут зависеть также и от решений, выбираемых на предшествующих, шагах. С учетом этого равновесия естественно называть *динамическими*.

Тройка стратегий $\{\overset{o}{\lambda}{}_1^n, \overset{o}{\gamma}{}_1^n, \overset{o}{\xi}{}_1^n\}$, удовлетворяющих условиям

$$\begin{cases} E\varphi_n(\overset{o}{\lambda}{}_1^n \mid \overset{o}{\gamma}{}_1^n) \geq E\varphi_n(\lambda_1^n \mid \overset{o}{\gamma}{}_1^n) \quad \forall \lambda_1^n, \\ \mu_n(\overset{o}{\gamma}{}_1^n \mid \overset{o}{\lambda}{}_1^n) \geq \mu_n(\gamma_1^n \mid \overset{o}{\lambda}{}_1^n) \quad \forall \gamma_1^n, \\ U_n = U(\overset{o}{\lambda}{}_1^n, \overset{o}{\gamma}{}_1^n, \overset{o}{\xi}{}_1^n)(I) \end{cases}$$

и

$$\begin{cases} \psi_n(\overset{o}{\xi}{}_1^n \mid \overset{o}{\gamma}{}_1^n, \overset{o}{\lambda}{}_1^n) \geq \mu_n(\xi_1^n \mid \overset{o}{\gamma}{}_1^n, \overset{o}{\lambda}{}_1^n) \quad \forall \xi_1^n, \\ R = R(I), n = 1,2,..... \end{cases}$$

называется динамическими равновесиями.

Согласно предположениям количество циклов формирования решения не ограничено. Тогда динамические равновесия должны иметь смысл, в том числе при $n \to \infty$.

Для его существования естественно потребовать выполнения следующих дополнительных условий:

1) при $n \to \infty$ критерии качества стратегий должны стремиться к некоторым пределам;
2) такие пределы не должны зависеть от начальных условий.

Поскольку критерии в явном виде не заданы, то выполнение этих свойств не очевидно. Это требует задания нужных свойства и затем указания явного вида критериев, удовлетворяющих этим свойствам.

Согласно введенным предположениям критерии качества стационарных стратегий $\lambda^n, \gamma^n, \xi^n$ при $n \to \infty$ имеют пределы, тогда тройка стационарных стратегий $(\overset{o}{\lambda}{}^{\infty}, \overset{o}{\gamma}{}^{\infty}, \overset{o}{\xi}{}^{\infty})$ называется стационарными равновесиями, если для нее существуют пределы, удовлетворяющие условиям:

$$\begin{cases} \begin{cases} \varphi(\overset{o}{\lambda}{}^{\infty} \mid \overset{o}{\gamma}{}^{\infty}) \geq \varphi_n(\lambda^{\infty} \mid \overset{o}{\gamma}{}^{\infty}), \forall \lambda^{\infty} \\ \mu(\overset{o}{\gamma}{}^{\infty} \mid \overset{o}{\lambda}{}^{\infty}) \geq \mu_n(\gamma^{\infty} \mid \overset{o}{\lambda}{}^{\infty}), \forall \gamma^{\infty} \\ U = U(\overset{o}{\lambda}{}^{\infty}, \overset{o}{\gamma}{}^{\infty}, \overset{o}{\xi}{}^{\infty})(I) \end{cases} \\ \begin{cases} \psi(\overset{o}{\xi}{}^{\infty} \mid \overset{o}{\lambda}{}^{\infty}, \overset{o}{\gamma}{}^{\infty}) \geq \psi(\xi^{\infty} \mid \overset{o}{\lambda}{}^{\infty} \overset{o}{\gamma}{}^{\infty}, \forall \xi^{\infty}; \\ R = R(I) \end{cases} \end{cases}$$

Таким образом, содержание проблемы моделирования выбора состоит в отыскании компромисса между стремлением к достижению максимальной ожидаемой удельной ценности по результату и минимальных потерь от неверных представлений с учетом их взаимной зависи-

мости. Согласно принципу равновесных решений он должен быть «не улучшаем» одновременно по всем компонентам интересов.

При достижении такого компромисса можно утверждать, что интересы субъекта реализуются с «наилучшим результатом». Если при этом динамические равновесия удовлетворяют требованиям асимптотической стационарности, то можно также утверждать, что интересы субъекта реализуются с «наилучшим результатом» на всем бесконечном горизонте, в том числе при $n \to \infty$. Отсюда следует, что динамические равновесия определяют смысл и способ реализации интересов с «наилучшим результатом». С учетом этого динамические равновесия естественным образом определяют *внутреннюю цель* при принятии решений.

Заключение

Рассмотрена модель принятия решений агентом, способным формировать внутреннюю цель и использующим субъективные представления о ситуации выбора.

Показано, что цель выбора состоит в максимизации удельной ценности ситуации выбора по результату. Показано, что результат выбора определяется представлениями агента о ситуации выбора и о своих интересах. При принятии решений он использует три множества альтернатив: управляющие C (способы действия), структурные G и идентификации X. Следовательно, можно предположить существование трех виртуальных сторон, осуществляющих выбор соответствующих альтернатив, являющихся равновесными стратегиями. Тогда проблема индивидуального выбора имеет игровое содержание.

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ РАН (грант № 17-01-00728).

Список литературы

[1] Лефевр В.А. Конфликтующие структуры. М.: Советское радио, 1973. – 158 с.
[2] Виноградов Г.П., Ганичев А.В., Кошкина Г.В. Принятие решений с выбираемой структурой представлений в условиях неопределенности // Информационные и математические технологии в науке и управлении. № 2. 2017. - С. 88-94.
[3] Баранов В.В. Динамические равновесия в задачах стохастического управления и принятия решений при неопределенностях // Изв. РАН. Теория и системы управления. 2002. №3. - С. 77-93.
[4] Виноградов Г.П., Борисов П.А., Семенов Н.А. Интеграция нейросетевых алгоритмов, моделей нелинейной динамики и методов нечеткой логики в задачах прогнозирования. // Известия РАН. Теория и системы управления, 2008, №1.- С.78-84.
[5] Виноградов Г.П., Шматов Г.П., Борзов Д.А. Формирование представлений агента о предметной области в ситуации выбора. // Программные продукты и системы. №2 (110), 2015. - С. 83–94.
[6] Саймон Г. Наука об искусственном. М.: Мир, 1973.
[7] Edwards W, Tversky A. Decision making // Harmoudsworth Middlesex, England Penguin Books, 1972.
[8] Городецкий В.И., Самойлов В.В., Троцкий Д.В. Базовая онтология коллективного поведения автономных агентов и ее расширения // Известия РАН, Теория и системы управления, 2015, №5/ - С. 102–121.
[9] Канеман Д., Словик П., Тверски А. Принятие решений в неопределенности: Правила и предубеждения. – Харьков: Гуманитарный центр, 2005.
[10] Анохин К.В., Бурцев М.С., Зарайская И.Ю., Лукашев А.О., Редько В.Г. Проект «Мозг Анимата»: разработка модели адаптивного поведения на основе теории функциональных систем // Восьмая национальная конференция по искусственному интеллекту с международным участием. Труды конференции. М.: Физматлит, 2002. Том. 2. - С. 781-789.
[11] Жданов А.А. Метод автономного адаптивного управления // Известия академии наук. Теория и системы управления. 1999. № 5. - С. 127-134.
[12] Миллер Дж., Галантер Е., Прибрам К. Планы и структуры поведения, изд-во «Прогресс», 1965.
[13] Карпов А.В. Общая психология субъективного выбора: структура, процесс, генезис. / Институт психологии РАН; Яросл. гос. ун-т. Ярославль. 2000, 328с.

ИССЛЕДОВАНИЕ И ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛЕЙ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССАМИ ОРГАНИЗАЦИЙ

Б.Н. Герасимов

Самарский университет государственного управления «Международный институт рынка»
443030, Самара, гул. Г. Аксакова, 21
boris0945@mail.ru
846) 261-59-25

Ключевые слова: *организация, модель, процесс, управление, взаимодействие, подпроцессы, функции, задачи управления*

Abstract

The article reveals the composition and structure of the processes and subprocesses taking place in the organizational environment. The model of interaction of elements and processes of administrative activity in the organizations is offered. Adequate understanding and formation of the organization's attributes will improve the quality and efficiency of organization management.

Введение

Наука управления достаточно древняя, начала формироваться с незапамятных времен и продолжает развиваться в конце XIX и начале XX вв. Однако отсутствие системности и терминологическая чехарда в теоретических постулатах и методологических инструментах в науке управления сохранились до наших дней [1, 2]. Это, в первую очередь, касается основополагающих атрибутов управления, и, в первую очередь, состава и содержания функций управления, понимания типов и видов управления в социальных и экономических средах, состава и структуры объектов и процессов управления в экономических системах.

Достаточно редко российские ученые предлагают собственные версии атрибутов управления в организациях, не утомляя себя их выявлением, обоснованием и описанием их формы, содержания и структуры. При этом многие определения мало чем отличаются один от другого, что способствует засорению понятийного пространства в управлении.

1 Теоретическая часть

Научная литература, эмпирические исследования и последующая практика использования ы экономическом, организационном и образовательном пространствах позволили выбрать, а затем и утвердить наличие девяти функций управления, рассмотреть их связи и закрепить их место в управленческом цикле любых процессов, подпроцессов или их частей. На наш взгляд - это нормирование, прогнозирование, планирование, организация, учет, анализ, контроль, регулирование, координация. Этот материал представлен в работе [3].

Таким образом, был разработан теоретический и методологический формосодержательный контент функционального пространства в сфере управления с учетом системного и процессного подходов для последующего использования при технологическом оснащении практической деятельности управленцев в любой предметной и профессиональной деятельности.

Понимание, осмысление и использование всех функций управления позволит повысить качество и эффективность проектируемых, эксплуатируемых и исследуемых процессов, явлений, событий в экономических системах любого уровня.

Обособленность каждого процесса организации заключается в том, что, чаще всего, происходит выделение некоторого замкнутого пространства деятельности в рамках какого-либо

процесса или его определенной части. Затем этой части деятельности дается какая-то дефиниция и она начинает свою жизнь. В рамках этого замкнутого пространства происходит реализация всех функций, пока не совершится весь управленческий цикл в рамках подпроцесса.

В соответствии с представленным видением функций управления, очевидно, что исключение или объединение каких-то функций может привести к потере управляемости рассматриваемых процессов, подпроцессов или их частей. Отсутствие той или иной функции управления в каком-либо подпроцессе надо тщательно обосновать, представляя все возможные последствия.

Таким образом, управленческий цикл в рамках подпроцесса, чаще всего, представляет собой нормативный фрагмент управленческой деятельности в рамках любой экономической системы, в т.ч. организации.

Современные экономические системы типа «организации» имеют вполне определенные атрибуты, которые определяют и формируют содержание соответствующего типа управления в социальных и экономических средах. Однако в современной литературе бытуют серьезные расхождения по составу элементов организации.

Успешное функционирование и развитие деятельности организации обуславливает целесообразность однозначного определения состава, содержания и систематизации её элементов, формирующих необходимый и достаточный состав атрибутов, образующих системную, процессную и функциональную деятельность любой современной экономической системы, в т.ч. и организаций. Научная литература и разработки автора предопределили выбор состава и количества атрибутов организации и дали возможность обоснования их состава, содержания и взаимодействия в рамках операционной и управленческой деятельности организаций [4].

По работе [5] к основным ***элементам*** (внутренним переменным**)** организации были отнесены миссия, цели, продукт/услуга, структура, культура, задачи, ресурсы, технологии, результаты, объекты (процессы), менеджмент. В работе [6] представлены их содержание.

Имеющийся научно-практический контент и исследования автора позволили также выбрать девять процессов организации, определить и обосновать их существование и взаимозависимость в управленческом цикле любых процессов.

В работах [5, 6] было обозначены и определены основные *процессы*, протекающие в организациях: «управление стратегией, управление маркетингом, управление персоналом, управление информацией, управление операциями, управление качеством, управление инновациями, управление финансами, управление безопасностью жизнедеятельности (БЖД). Кроме того, в этих работах даны обоснование существования каждого процесса их место, а также взаимодействие их в рамках организационного пространства. В этих же работах представлено содержание процессов и их структура на уровне важнейших составных частей – подпроцессов.

Для построения модели экономической системы типа «организация» в работе [4] было подробно рассмотрен каждый её элемент на основе ключевых параметров взаимодействия процессов: вход (что, откуда), выход (что, куда) и преобразование входя в выход.

Для понимания и осмысленного использования элементов и процессов организации необходимо включить их в рамки модели экономической системы «организация», где следует отметить важнейшие направленные воздействия одних атрибутов организации на другие. При этом следует установить и взвесить приоритетность состава и содержания взаимодействий элементов и процессов в пространстве организации.

Исследования взаимодействия информационных и материальных потоков в организации показали, что практически все её элементы и процессы связаны между собой. Чаще всего, показ полного взаимодействия на уровне процессов нецелесообразен, так как для технологического и методологического обеспечения важны взаимосвязи на уровне подпроцессов, а еще лучше на уровне конкретных задач, заданий, а возможно даже и процедур, что необходимо на практике для передачи или получения необходимой информации.

Использование всех внутренних переменных организации позволит выйти на новый уровень осмысления качества и эффективности операционной и управленческой видов деятельности в экономических системах любого назначения.

Процесс – есть последовательная смена состояний каких-либо феноменов (объектов, событий, явлений). Эти изменения исследовать или планировать можно тогда, когда размечается шкала времени, к точкам которой привязываются разные состояния феноменов, благодаря которым их можно различить [7].

В организациях функционируют, поддерживаются и развиваются процессы управления, формы и содержание которых достаточно адекватно изложены в работах автора [5, 8], так как научная литература и эмпирические исследования позволили выбрать и обосновать существование девяти процессов организации доказать их взаимодействие в управленческом цикле.

К основным *процессам*, протекающими в организации, автор относит управление стратегией, управление маркетингом, управление персоналом, управление информацией, управление операциями, управление качеством, управление инновациями, управление финансами, управление безопасностью жизнедеятельности. Однако для эффективного управления процессами организации недостаточно выполнить выбор их состав и содержание. Необходимо также исследовать взаимозависимость и взаимодействие основных процессов организаций, причем обязательно в функциональном и системном аспектах. При этом состав, масштаб и интенсивность отношений этих процессов в различных организациях даже в рамках одной отрасли может отличаться весьма существенно.

Модель экономической системы типа «организация» включает все элементы и процессы, представленные выше (рис. 1) и направленность связей между ними.

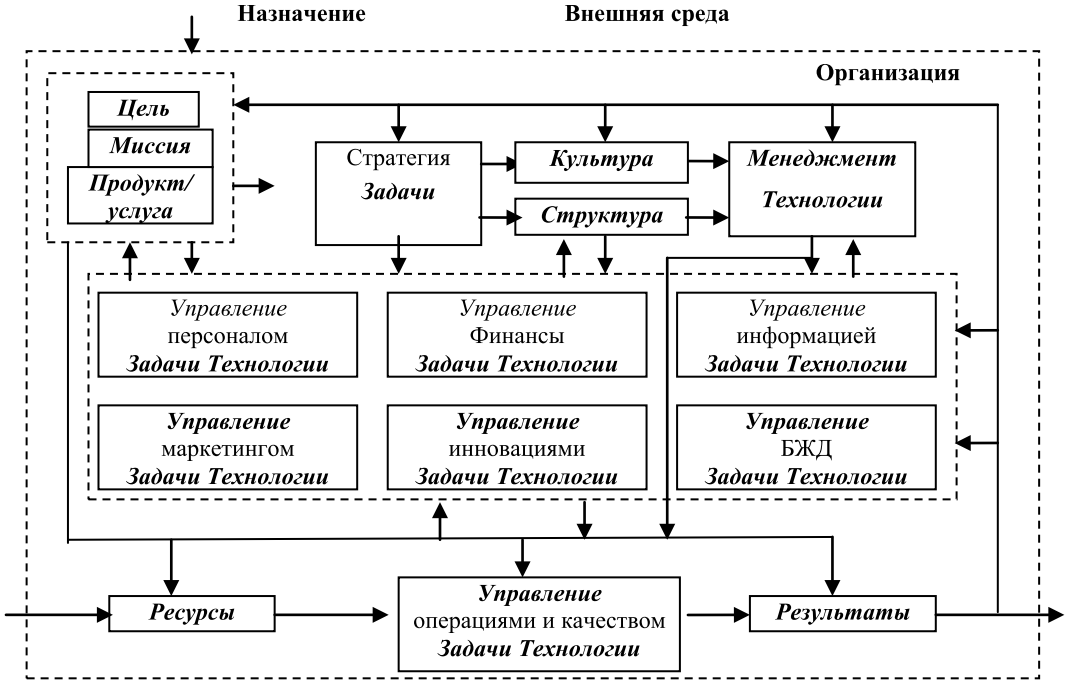


Рисунок 1 – Модель системы «организация»

Использование всех внутренних переменных организации позволит выйти на новый уровень осмысления качества и эффективности операционной и управленческой видов деятельности в экономических системах любого назначения.

Разделим все процессы, протекающие в организации на четыре группы: производящие, обеспечивающие, ресурсные и направляющие. Эта систематизация весьма условна и каждый процесс организации играет несколько ролей, но определяющая доминанта каждого процесса выделяется в рамках организации [9].

Для понимания содержания всех рассматриваемых процессов организации используем несколько наиболее важных их параметров: вход (что, кто, откуда), выход (что, кто, куда), преобразование входа в выход. Основные параметры одного из важнейших производящих процессов – управления операциями, протекающего в организациях, представлены в табл. 1.

Таблица 1 - Параметры деятельности процесса управления операциями организации

<table>
<tr><th colspan="2">Вход</th><th colspan="2">Выход</th><th rowspan="2">Преобразование входа в выход</th></tr>
<tr><th>Что, кто</th><th>Откуда</th><th>Что, кто</th><th>Куда</th></tr>
<tr><td>Операционная политика, заказы. Элементы организации</td><td>Управление стратегией</td><td>Продукт/ услуги</td><td>Внешняя среда (физические и юридические лица)</td><td rowspan="3">Преобразование предметов, информации, человеческих отношений, освоение знаний, приобретение умений на основе задач технологий, менеджмента. Формирование портфеля заказов, обеспечение ресурсами, мощностями, запасами</td></tr>
<tr><td>Лицензии, сертификации, параметры качества</td><td>Управление качеством</td><td rowspan="2">Занятость, зарплата, удовлетворенность</td><td rowspan="2">Управление персоналом</td></tr>
<tr><td>Сегменты рынка, позиционирование продукции/услуг</td><td>Управление операциями</td></tr>
<tr><td>Специалисты</td><td>Управление персоналом</td><td>Потребность в персонале</td><td>Управление персоналом</td><td>Формирование и обоснование потребности в персонале</td></tr>
<tr><td>Финансовые средства</td><td>Управление финансами</td><td>Потребность в финансовых средствах</td><td>Управление финансами</td><td>Формирование и обоснование потребности в финансовых средствах</td></tr>
</table>

Анализ табл. 1 позволяет строить деятельность любой организаций, в первую очередь, от запросов потребителей, которые определяют необходимость выпуска той или иной продукции или услуг. Клиентоориентированность организации и её продукции обычно выглядят предпочтительнее на рынке и это видят потребители.

Управленческими процессами напрямую управлять нельзя, в силу их громоздкости и протяженности, поэтому они разделяются на подпроцессы.

Подпроцесс – это некоторая часть процесса, выделенная по определенным правилам, имеющая право на существование в рамках организации и обладающая системными и функциональными свойствами.

Для управления подпроцессом необходимо реализовывать отдельные функции управления. Подпроцессы внутри процесса должны закрывать все поле деятельности процесса. Это означает, при переходе от одного подпроцесса к другому не следует пропускать какую-либо часть деятельности во избежание разрывов управления. В тоже время они не должны и накладываться друг на друга или дублировать. Модели управления важнейшими процессами организации представлены в работах автора [10].

Однако и подпроцессами нельзя управлять напрямую. Необходимо определить функциональные задачи (ФЗУ) процесса управления информацией в соответствии с методологией, подробно изложенной в работе [11].

Матрица «Подпроцесс – Функции управления» определяет состав и содержание ФЗУ, например, «нормирование качества информации», «планирование продаж информации», «организация проектирования информационных систем» и т.д. Все ФЗУ имеют право на существование, только в том случае, если каждая из них несет конкретную смысловую нагрузку в рамках подпроцесса.

Матрица «Подпроцесс - Функции управления» не только формирует совокупность всех ФЗУ, но и определяет очередность их выполнения в рамках управленческого цикла. В рамках подпроцесса происходит выполнение всех функций управления до полной реализации всего управленческого цикла (рис. 2).

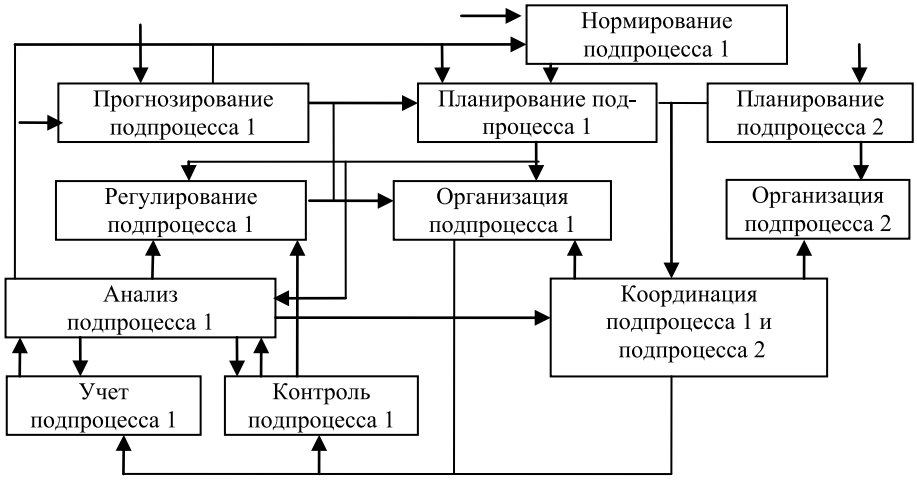


Рисунок 2 – Модель управленческого цикла в рамках подпроцесса

Последовательно решая ФЗУ в рамках одного подпроцесса, производится управление данным подпроцессом, т.е. совершается полный управленческий цикл. Последовательно управляя всеми подпроцессами внутри одного процесса, производится управление процессом (подсистемой) и, наконец, управляя всеми процессами, выполняется управление организацией в целом.

2 Практическая значимость

В соответствии с представленным видением функций управления, очевидно, что исключение или объединение каких-то функций может привести к потере управляемости рассматриваемых процессов, подпроцессов или их частей [12]. Рассмотренный подход позволяет определить функционально полный состав необходимых ФЗУ любого подпроцесса и процесса организации для исследования и управления. Распределение их по исполнителям позволяет управлять подпроцессами напрямую через выявленные ФЗУ.

Таким образом, было рассмотрено структурирование процессов управления и их составных частей в организации. Реализация предлагаемых преобразований позволит обеспечить рост важнейших показателей деятельности организации. Главное, что при этом повысятся не только количественные показатели деятельности организации, но и улучшаться его качественные показатели деятельности организации, в т.ч. удовлетворенность персонала.

Однозначное понимание и систематизация управления в теоретическом плане позволит успешно реализовывать процессы исследования, построения, перестроения и функционирова-

ния организаций и их важнейших атрибутов, в т.ч. структуры, культуры, полноты и качества реализации процессов их частей.

Полное и адекватное понимание атрибутов организации позволит эффективно направлять деятельность организации, а также преодолевать противоречия, барьеры и негативное влияние внешней среды.

Для развития теории управления необходимо продолжать исследование различных типов управления в социокультурных и экономических средах, содержания и форм различных видов управленческой деятельности, формировать инструменты оценки влияния внешней и внутренней среды на процессы управления организацией, моделировать выделение и описание единиц управленческой деятельности для осмысления уровней профессионализма управленцев, обоснования состава и содержания показателей эффективности процессов управления.

Заключение

Разумеется, это далеко не полный перечень важных вопросов теории управления, требующих внимания научного сообщества, так как не без их исследования и теоретического обобщения достаточно сложно будет двигаться в методологии и технологиях управления, результатами которых пользуются практики в различных отраслях продуктивной деятельности.

Полученные автором результаты в сфере науки управления предназначены для использования в деятельности управленцев в экономических системах тира «организация», а также позволит перейти к построению эффективной системы понятийного пространства для дальнейшего развития теории, методологии и технологий науки управления.

Список литературы

[1] Анисимов О.С. Методология: функция, сущность и становление. М., 1996. 353 с.
[2] Прохоров А.П. Русская модель управления: монография. М.: ЗАО Журнал «Эксперт», 2002. 378 с.
[3] Герасимов Б. Функции управления: состав, содержание, параметры // Проблемы теории и практики управления. 2016. № 7. С. 91-100.
[4] Питерс Т., Уотермен Р. В поисках эффективного управления / пер. с англ. М.: Прогресс, 1985. 357 с.
[5] Герасимов Б.Н. Механизм отношений элементов структуры организации // Менеджмент и бизнес-администрирование. 2018. №1. С. 157-165.
[6] Герасимов Б.Н. Моделирование взаимодействия процессов организации // Менеджмент и бизнес-администрирование. 2016. №4. С. 121-128.
[7] Герасимов Б.Н., Рубцова М.Н. Экономическая устойчивость в деятельности предприятия. Вестник Оренбургского государственного университета. 2006. №8 (58). С. 108-111.
[8] Герасимов Б.Н. Моделирование содержания и взаимоотношений процессов организации // Russian Journal of Management. М.: ИНФРА-М. 2017. Т.5. Вып. 4. С. 549-557.
[9] Gerasimov K., Gerasimov B. Formation of professionalism of executives // The International Journal of Educational Management. 2017. Т. 31. №1. P. 45-55.
[10] Управление – это наука и искусство / А. Файоль, Г. Эмерсон, Ф. Тейлор, Г. Форд / пер. с англ. М.: Республика, 1992. 351 с.
[11] Щедровицкий Г.П. Философия. Наука. Методология. М., 1997. 348 с.
[12] Герасимов Б.Н. Технологизация процессов в системах управления организации // Вестник Алтайской академии экономики и права. 2015. № 2(40). С. 65-71.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОЦЕНКИ ОПЕРАЦИОННОГО РИСКА В ЭКСПРЕСС-КРЕДИТОВАНИИ

Г.И. Горемыкина, Н.А. Щукина, И.Н. Мастяева

Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова
117997, Москва, Стремянный переулок, 36, Россия
g_iv.05@mail.ru, shchukinan@yandex.ru
тел: +7 (499) 237-94-09

Ключевые слова: *имитационная модель, экспресс-кредит, операционный риск, внутреннее мошенничество, внешнее мошенничество, агрегированная модель оценки, непредвиденные потери*

Abstract

The Basel Committee on Banking Supervision standardized the seven categories of operational risk. The article presents an aggregated model for assessing risks in express lending in two categories operational risk associated with credit liabilities non-repayment, developed by the authors. Numerical experiments on the operational risk assessment of internal and external fraud of the business line "Retail banking" modeling were carried out using the Monte Carlo statistical test method.

Введение

Выход экономики страны на траекторию цифрового развития предполагает «поддержку развития как уже существующих условий для возникновения прорывных и перспективных сквозных цифровых платформ и технологий, так и создание условий для возникновения новых платформ и технологий» [1, с.3]. Банковский сектор является одной из важнейших структур рыночной экономики, который требует в области кредитования внедрения нового принципа перехода от оперативного реагирования к управлению рисками, профилактике и предупреждению новых негативных факторов, рисков и угроз. В настоящее время подготовка управленческих решений требует принятия во внимание большого числа различных факторов, которые в той или иной мере влияют на динамику исследуемой системы. Управление сложной системой в большинстве случаев представляет собой достаточно ресурсоемкий и зачастую дорогостоящий процесс. Имитационное моделирование позволяет получить как примерные оценки принимаемых решений, так и детальные численные прогнозы и расчеты. В круг основных задач имитационного моделирования входит моделирование сценариев работы банка, анализ альтернативных стратегий, моделирование транспортных потоков, систем управления торговыми предприятиями и многое другое [2, 3, 4].

Актуальность темы исследования продиктована необходимостью развития формализованных средств моделирования и анализа одной из бизнес-линий, такой, как «Банковское обслуживание физических лиц» («Retail banking»). Как отмечают Воловатова Е.Г. и Мастяева И.Н. в исследовании [5, с. 375], «в настоящее время наблюдается восстановление рынка кредитования после кризиса конца 2014 г. по всем типам кредитов до уровня выдач начала 2014 г.».

ГОСТ Р ИСО 31000-2010, который идентичен международному стандарту ИСО 31000:2009 «Менеджмент риска. Принципы и руководство», определяет риск как влияние неопределенности на цели. При этом риск часто выражают в виде комбинации последствий событий (включая изменения в обстоятельствах) и связанной с этим вероятности или возможности наступления [6]. Одним из видов рисков является операционный. Согласно подходу, пред-

лагаемому Базельским комитетом по банковскому надзору, операционный риск оценивается как величина ожидаемых и непредвиденных убытков (потерь), которые должны быть компенсированы капиталом, отчисляемым на операционный риск [7, 8].

Целью исследования является разработка агрегированной модели оценки рисков в экспресс-кредитовании, соответствующих двум из семи стандартизованных Базельским комитетом по банковскому надзору категорий операционного риска, связанного с невозвратами по кредитным обязательствам.

В процессе исследования применялась методология имитационного моделирования.

1 Общая постановка задачи моделирования

К стандартным направлениям деятельности банка относят следующие восемь производственных линий: Corporate finance, Trading and sales, Retail banking, Commercial banking, Payment and settlement, Agency services and custody, Asset management, Retail brokerage. Экспресс-кредитование относится к бизнес-линии «Retail banking». Для оценки операционного риска этой производственной линии необходимо определить размер отчисляемого капитала по операциям с физическими лицами.

В данной работе определяются размеры ожидаемых и непредвиденных потерь, которые должны быть компенсированы капиталом, отчисляемым на операционный риск, с проекциями на внутреннее и внешнее мошенничество.

Для определения совокупных годовых потерь банка по рассматриваемой бизнес-линии «Retail banking» требуется построить агрегированную модель оценки, включающую оценку годовых потерь от внутреннего мошенничества и оценку таких же потерь от внешнего мошенничества.

Моделирование осуществляется на основе статистических данных одного из российских банков, входящих, по данным компании Frank Research Group, в пятерку лидеров по объемам портфеля POS-кредитов на 01.03.2018 года [9].

2 Статистическая обработка данных

Проведем статистическую обработку данных, относящихся к реализации риска мошенничества в розничном экспресс-кредитовании.

Вероятность наступления k независимых событий в серии n испытаний можно описать биномиальным распределением

$$P_n(k) = C_n^k p^k (1-p)^{n-k},$$

где C_n^k – число сочетаний из n элементов по k; p – вероятность наступления «успеха» в одном независимом испытании.

Согласно данным аудиторской проверки исследуемого банка, доля потерь от внутреннего и внешнего мошенничества в 2017 году составили 0,12% и 1,61% соответственно, что позволяет охарактеризовать негативное событие как редкое. Поэтому для описания числа таких событий целесообразно воспользоваться предельным случаем биномиального распределения – распределением Пуассона:

$$P(k) = \frac{\lambda^k}{k!} e^{-\lambda},$$

где $P(k)$ – вероятность наступления k независимых событий в единицу времени, k – количество независимых событий в единицу времени, λ – средняя интенсивность наступления событий в единицу времени.

Определим интенсивность наступления негативных событий в течение одного года. Для этого воспользуемся результатами исследования [10], в котором на основе проведенных численных экспериментов при Simulink-моделировании процессов экспресс-кредитования, были получены годовые прогнозные значения объемов и количества выданных банком экспресс-кредитов. В результате проведенных вычислений были получены значения средних интенсивностей наступления негативных событий, связанных с внутренним и внешним мошенничеством. Для операционного риска с проекцией на внутреннее мошенничество это значение составило $\lambda_1 = 2720$, с проекцией на внешнее – $\lambda_2 = 37245$.

Определим годовые потери в денежном выражении по каждой из рассматриваемых категорий операционного риска. Имеющаяся статистическая информация свидетельствует о том, что случайная величина X потерь от наступления одного события, связанного с невозвратом по кредитным обязательствам, подчиняется нормальному закону распределения со средним значением μ и среднеквадратическим отклонением σ. Для операционного риска с проекцией на внутреннее мошенничество эти значения составили $\mu_1 = 22775$ руб., $\sigma_1 = 3500$ руб., с проекцией на внешнее – $\mu_2 = 22720$ руб., $\sigma_1 = 3500$ руб.

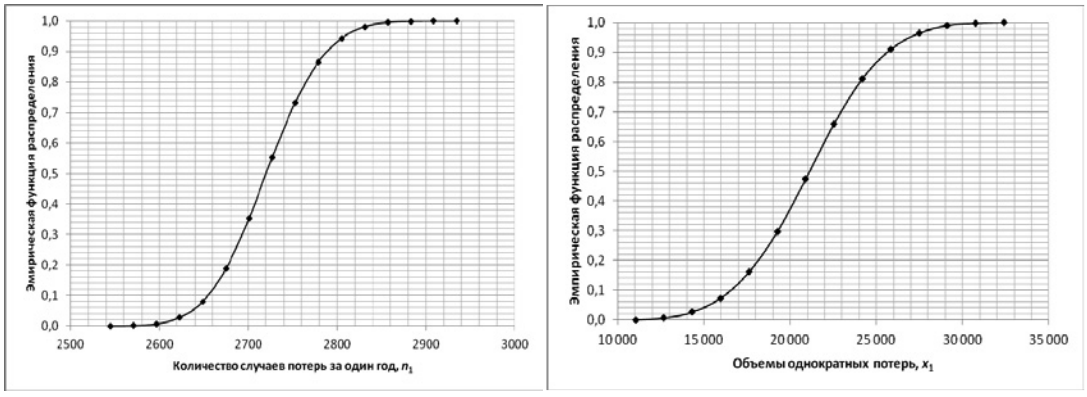
3 Экономико-математическое моделирование оценки операционного риска

Моделирование оценки ожидаемых и непредвиденных годовых потерь проведем методом статистических испытаний Монте-Карло, который представляет собой численный метод решения при помощи моделирования случайных величин, и включает следующие шаги. На первом шаге производится симуляция количества случаев потерь за один год. На втором шаге генерируются объемы однократных потерь. На третьем шаге вычисляется размер общих годовых потерь.

Проведем имитационное моделирование оценки операционного риска внутреннего мошенничества.

- Используя датчик случайных чисел, сгенерируем 10000 значений случайной величины n1 с пуассоновским законом распределения с параметром $\lambda 1 = 2720$. Содержательно n1 означает количество случаев потерь за один год.
- Используя датчик случайных чисел, сгенерируем 10000 значений случайной величины x1 с нормальным законом распределения с параметрами $\mu 1 = 22775$, $\sigma 1 = 3500$. Содержательно x1 означает объемы однократных потерь.
- Вычислим размер общих годовых потерь X1 = n1· x1.

Графики эмпирических функций распределения сгенерированных случайных величин изображены на рисунке 1.



а) б)

Рисунок 1 – Эмпирические функции распределения случайных величин:
а) количества случаев потерь за один год; б) объемов однократных потерь

По результатам численных экспериментов было получено имитированное распределение общих годовых потерь. Аналогичным образом было получено распределение общих объемов годовых потерь X_2 от внешнего мошенничества. Описательная статистика полученных распределений приведена в таблице 1.

Таблица 1 – Описательная статистика имитированных распределений общих объемов годовых потерь

Показатели	Внутреннее мошенничество	Внешнее мошенничество
Среднее	63168579,9	845746469,1
Стандартная ошибка	98060,98773	1303507,607
Медиана	63106274,15	845626133
Мода	67856645,04	954342366,3
Стандартное отклонение	9806098,773	130350760,7
Дисперсия выборки	9,61596E+13	1,69913E+16
Эксцесс	-0,073960616	-0,002661541
Асимметричность	0,026578749	0,001457937
Интервал	67561861,43	927777758,8
Минимум	30658446,25	357788573,6
Максимум	98220307,68	1285566332
Сумма	6,31686E+11	8,45746E+12
Счет	10000	10000
Уровень надежности(95%)	192219,2667	2555137,187

Полученные результаты являются основой для построения агрегированной модели оценки операционного риска. Выполнив этапы имитационного моделирования по методу Монте-Карло, получили имитированное распределение совокупных годовых потерь. По сгруппированным данным была построена гистограмма (рисунок 2).

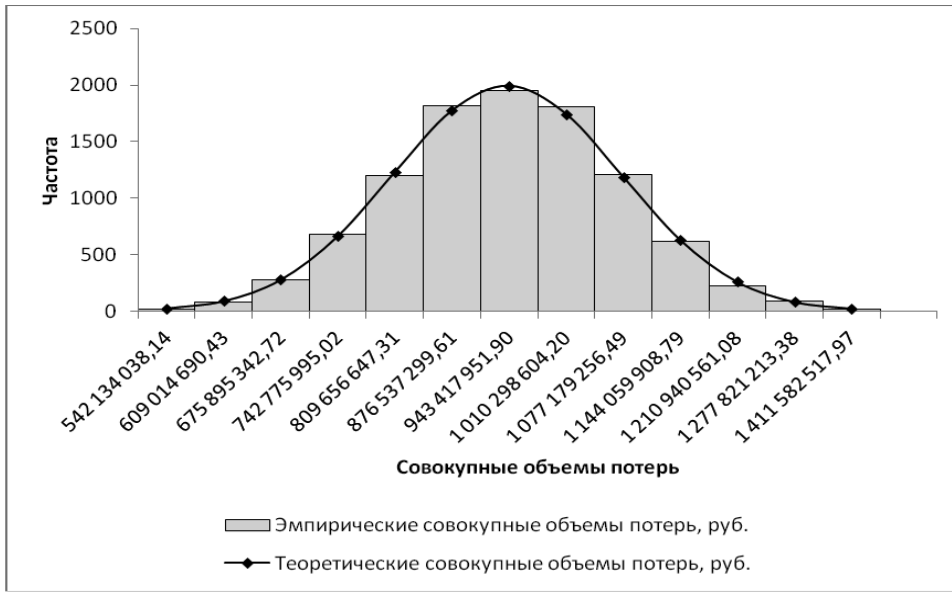


Рисунок 2 – Гистограмма совокупных годовых объемов потерь
от внутреннего и внешнего мошенничества

С помощью критерия согласия Пирсона χ^2 было проверено, согласуется ли нулевая гипотеза о нормальном распределении генеральной совокупности X общих годовых потерь с полученным эмпирическим распределении выборки. При уровне значимости $\alpha = 0,05$ и при уровне значимости $\alpha = 0,01$ выдвинутая гипотеза была принята. Получены следующие основные числовые характеристики случайной величины X совокупных годовых потерь: математическое ожидание $E(X) = 907,650$ млн руб., стандартное отклонение $\sigma(X) = 130,782$ млн руб.

Имитационные эксперименты моделирования показали следующие результаты.

- Величина ожидаемых потерь составляет 907,650 млн руб.;
- 99% квантиль равен 1211,895 млн руб.

Следовательно, размер непредвиденного убытка (непредвиденных потерь), представляющий собой разность между 99% квантилем и величиной ожидаемых потерь, составляет 304,245 млн руб. Коэффициент непредвиденных убытков, равный отношению размера непредвиденного убытка к величине ожидаемых потерь, составляет 0,335. Геометрическая интерпретация полученных результатов представлена на рисунке 3.

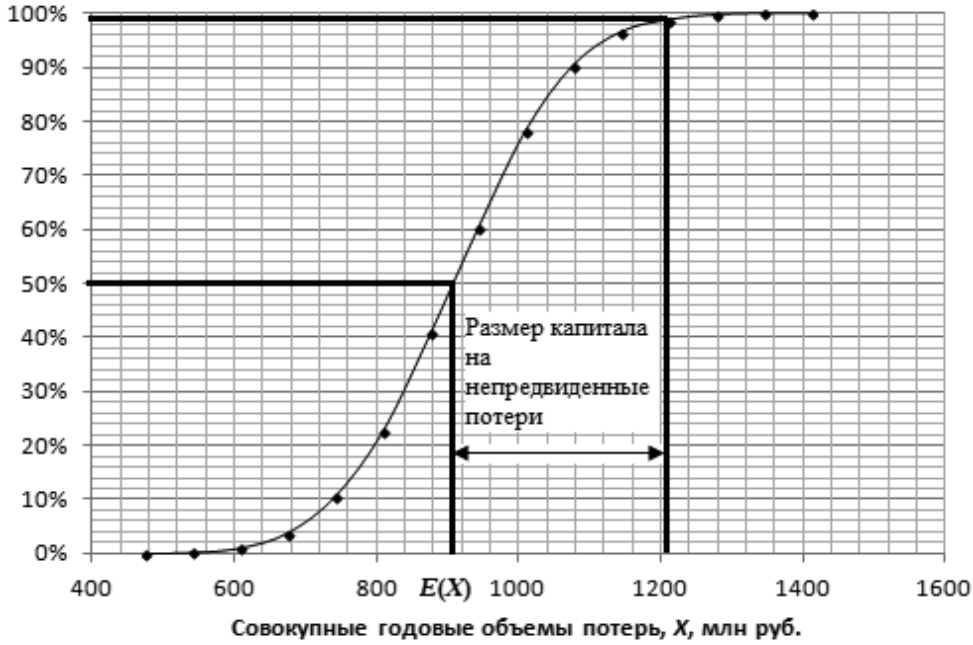


Рисунок 3 – Функция распределения совокупных годовых объемов потерь от внутреннего и внешнего мошенничества

Таким образом, совокупные годовые объемы потерь, связанные с операционным риском внутреннего и внешнего мошенничества составляют 1211,895 млн руб., что составляет 2,3%. от совокупных годовых объемов выданных POS-кредитов. При этом размер капитала, резервируемого на непредвиденные потери, составляет 33,5% от совокупных годовых объемов убытков, включающих ожидаемые и непредвиденные потери банка, связанными с операционным риском внутреннего и внешнего мошенничества по рассматриваемой бизнес-линии «Retail banking».

Заключение

Основным результатом исследования, по мнению авторов, является следующий. Построена агрегированная экономико-математическая модель оценки рисков в розничном экспресс-кредитовании, учитывающая операционный риск внутреннего и внешнего мошенничества. На основе построенной модели разработан алгоритм соответствующей оценки, включающий симуляцию точной параметрической модели для измерения факторов риска.

Результаты имитационного моделирования позволяют получить агрегированную оценку внешнего и внутреннего операционных рисков, соответствующих бизнес-линии «Retail banking» («Банковское обслуживание физических лиц») отделения банка в текущем периоде.

Данный подход может найти применение и для оценки риска других направлений деятельности банка. Это позволит руководству банка принимать решения с определённым временно-пространственным опережением, что, в свою очередь, поможет перейти от стратегического поведения к осмысленному и последовательному стратегическому управлению [11].

Благодарности

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ, проект «Экономико-математическое моделирование системы управления рисками в розничном экспресс-кредитовании», № 17-06-00193.

Список литературы

[1] Распоряжение Правительства Российской Федерации от 28.07.2017г. № 1632-р// Электронный ресурс: Официальный сайт Правительства Российской Федерации URL:http://government.ru/docs/all/112831/

[2] Тихомиров Н.П., Тихомирова Т.М., Хамитов Э.М. Имитационные методы оценки эффективности участия во взаимном страховании// Экономика природопользования. 2016 – № 6. С. 4-17.

[3] Новоселова И.Ю. Имитационное моделирование вероятностного воздействия влияния энергетики на окружающую среду// Экономика природопользования. 2012. – № 4. – С. 52-57.

[4] Власов Д.А., Синчуков А.В. Дидактические особенности применения пакета имитационного моделирования iThink в системе подготовки бакалавров экономики// Современные информационные технологии и IT-образование. Сборник научных трудов. МГУ имени М.В. Ломоносова, ф-т ВМК; Под ред. В.А. Сухомлина. 2015. – С. 295-299.

[5] Мастяева И.Н., Воловатова Е.Г. Особенности управления рисками в розничном экспресс-кредитовании: современные тенденции // Фундаментальные исследования. 2017. – № 12-2. – С. 374-378.

[6] ISO 31000:2009. Международный Стандарт ISO 31000 (Первое издание 2009-11-15) Риск Менеджмент – Принципы и руководства.

[7] «Международная конвергения измерения капитала и стандартов капитала: новые подходы», июнь 2004 г. (Перевод ЦБР рекомендаций Базельского комитета по банковскому надзору «The International Convergence of Capital Measurement and Capital Standards: a Revised Framework», «Basel II Framework»)

[8] International convergence of capital measurement and capital standards. A revised framework comprehensive version. Basel committee on banking supervision. June 2006.

[9] Крупнейшие игроки рынка розничных банковских услуг URL:https://frankrg.com/index.php?new_div_id=145#POS

[10] Горемыкина Г.И., Щукина Н.А. Simulink-моделирование процессов экспресс-кредитования// Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2017. №4(19). URL:https://moit.vivt.ru/wp-content/uploads/2017/10/GoremikinaShukina_4_1_17.pdf

[11] «Концептуальные основы управления рисками организации: интеграция со стратегией и управлением деятельностью» COSO 2017// Электронный ресурс: URL:https://www.coso.org/Pages/erm.aspx.

МОДЕЛЬ КООРДИНАЦИИ ИНВЕСТИЦИЙ В ИЕРАРХИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТЬЮ

Я.Н. Имамвердиев

Институт информационных технологий НАНА
AZ1141, Баку, ул. Б.Вахабзаде, 9А, Азербайджан
yadigar@lan.ab.az
тел: +994 (12) 510-42-53, факс: +994 (12) 539-01-67

Ключевые слова: *information security, hierarchial control system, investment coordination, information security management system*

Abstract

The paper deals with the problem of coordination of investments in information security (IS) in state bodies. The state information security management system in the public sector is presented in the form of a two-level hierarchical system. At the top level of the two-tier IS management system is the Coordinator, and at a low level, individual IS management subsystems. The coordinator assumes the coordination of the activities of the elements of the lower level, including the allocation of the overall information security budget between them. It is assumed that each element of the lower level has a certain independence in the organization of its activities, but they are interrelated, and the level of information security in one system affects the level of information security in other systems that have links to this system. It is also assumed that the level of information security in one system depends in part on the level of the allocated investment, but it is also necessary to take into account the levels of information security in "neighboring" systems. The task of the Coordinator is to allocate investments among the lower-level systems in order to achieve socially optimal investments of the IS, which is formulated as a game-theoretic problem.

Введение

Система обеспечения информационной безопасности (ИБ) государства является сложной многоуровневой системой взаимоувязанных социо-технических систем, и координация играет чрезвычайно важную роль в осуществлении всех функций этой системы. Обеспечение ИБ государства в современных условиях возможно только координацией усилий всех заинтересованных сторон – государства, частного сектора, гражданского общества и отдельных граждан. Контекст координации в области ИБ государства охватывает вопросы совместного предотвращения кибератак, анализа (расследования) инцидентов, разработки соответствующих нормативных правовых актов, централизованной координации планирования и осуществления совместных мероприятий и инициатив, координации инвестиций в области ИБ, координации научных исследований и подготовки кадров и так далее.

Организации значительно увеличивают бюджет по ИБ для борьбы с возрастающими угрозами безопасности. Согласно одному общему мнению, ИБ сводится к техническим мерам. Но следует учитывать, что создаваемая система ИБ должна быть эффективной не только с технической, но и экономической точки зрения [1]. За последние два десятилетия различные вопросы экономического подхода к ИБ привлекают внимание исследователей. Учитывая специфику этой области исследования широко применяется теоретико-игровой подход, и особой популярностью среди исследователей пользуются так называемые игры взаимозависимой безопасности (InterDependent Security games, IDS игры) [2]. В этих играх эгоистичные, но не злоумышленные игроки принимают решения инвестировать в безопасность, или остаться незащищенными. Целью каждого игрока является минимизация своего риска ИБ, который зави-

сит от уровня инвестиций других игроков, а также минимизировать свои затраты на инвестиции ИБ.

В этой статье предлагается модель координации инвестиций в двухуровневых иерархических системах управления ИБ. Такие системы состоят из центра и определенного количества подсистем нижнего уровня, которые самостоятельны в определенной степени. Но эти подсистемы не изолированы друг от друга, между ними существуют различные виды взаимозависимостей (функциональных, ведомственных, информационных), и уровень ИБ одной подсистемы влияет на безопасность других подсистем. Наличие нескольких подсистем управления приводит к противоречию между их частными целями. Это, в свою очередь, приводит к разобщенности действий и мероприятий по ИБ. Устранение этих противоречий – основная задача координации.

1 Анализ литературы

Координация является одной из центральных функций управления сложными системами и заключается в согласовании действий подсистем в соответствии с целями системы, и в поддержании этого согласования на протяжении всего цикла управления. Авторы работы [3] отмечают, что вопросам создания теоретических основ координации посвящено недостаточно исследований. Модели координации разрабатываются в рамках теории принятии решений и мульти-агентных систем [4]. Большинство исследователей ссылаются на классическую книгу М. Месаровича, Д. Мако, И. Такахара “Теория иерархических многоуровневых систем” [5]. В этой книге рассмотрены задачи координации (принятия решений) в двухуровневых системах на примере технологических и организационных процессов, и возможность распространения полученных результатов на многоуровневые иерархические системы. В [6] представлен подход к решению задач координации как локально-оптимизационных задач, элементов многоуровневой иерархической системы и предложены итеративные и безитеративные алгоритмы координации для промышленных систем. В [7] предложены алгоритмы координации, основанные на нечетких множествах. Авторы работы [8] рассматривают модели и методы координации в крупномасштабных экономических системах. Предложенные в [5–8] модели и методы координации узкоспецифичны, и для решения задачи координации требуют наличия адекватных математических моделей подсистем, либо постановки оптимизационной задачи.

Риски, с которыми сталкиваются операторы информационных систем (ИС), определяются не только состоянием их собственной ИБ, но также сильно зависят от решений других сторон по ИБ. Эта взаимозависимость между операторами ИС является фундаментальным свойством, которое формирует эффективность решений по ИБ. Теория игр – наиболее подходящий метод моделирования стратегических взаимодействий между этими участниками, и имеется большое количество работ по играм взаимозависимой безопасности. Подробный обзор исследований по этой теме приводится в работе [9].

Одним из наиболее часто цитируемых работ по экономике ИБ является работа [10], где предлагается экономическая модель, определяющая оптимальный уровень инвестиций для безопасности заданного информационного ресурса. Данная модель дает оценку уменьшения уязвимости системы как результат увеличения инвестиций в информационную безопасность. Модель Гордона-Лоэба показывает, что в целом экономически нецелесообразно инвестировать в мероприятия по ИБ более 37 % ожидаемого ущерба, который может возникнуть в результате нарушения безопасности. Однако Jan Villemson показал, что уровень оптимальных инвестиций может быть выше этой оценки [11].

Çavuşoğlu, используя подход, основанный на теории игр предложил модель оценки инвестиций безопасности и изучения влияний различных факторов на инвестиции [12]. В диссертационной работе Grossklags провел экономический анализ соотношения кибербезопасности и типов инвестиций с помощью игр взаимозависимой безопасности,

состоящих из общего усилия, самого слабого звена, наилучшей защиты и самой слабой цели [13]. Gao и соавторы с использованием теории игр сравнивали модели потребления Cournot и Bertrans для анализа инвестиционных решений по кибербезопасности [14].

Также были предложены многие модели для поддержки лиц, принимающих решения в задачах распределения ресурсов по обеспечению ИБ. В работе [15] разработана макроэкономическая модель вход/выход для оценки чувствительности к кибератакам определенных секторов экономики США. Так как вопрос инвестиций ИБ относится к задачам управления рисками, в некоторых работах предприняты попытки изучения этого поведения с помощью управления рисками и платформы страхования [16, 17].

2 Модель игры взаимозависимой безопасности для координации инвестиций

Система управления ИБ государства относится к сложным многоуровневым системам. Ее можно представить в виде двухуровневой системы, такой подход приемлемым, поскольку в двухуровневых системах проявляются все существенные характеристики многоуровневых систем, и более сложные системы могут быть построены из двухуровневых систем.

На верхнем уровне двухуровневой системы ИБ находится Координатор (C_0), а на нижнем уровне находятся отдельные подсистемы ИБ (C_1, ..., C_n). Координатор выделяет общий бюджет B на обеспечение ИБ всех подсистем. Каждая подсистема i представляет Координатору информацию об уровне своей ИБ (s_i) и запрашивает у Координатора бюджет (инвестицию) на обеспечение и усовершенствование ИБ ($x_i \geq 0$). Уровень ИБ каждой подсистемы удовлетворяет ограничению $0 \leq s_i < 1,\ i = 1, \dots, n$. Чем больше значение s_i, тем выше уровень ИБ. Так как мы не ожидаем обеспечение абсолютной ИБ, поэтому случай $s_i = 1$ исключен. При $s_i = 0$ предполагается, что у подсистемы i отсутствует безопасность. В работе [17] инвестиционные затраты моделируются как функция s_i. Уровень ИБ всей системы определяется как $\bar{s} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} s_i$. Координатор после получения информации из всех подсистем, учитывая уровни ИБ в подсистемах, ограничение на общий бюджет и взаимосвязи подсистем на основе определенных критериев принимает решение о выделении инвестиций $\hat{x}_1, \hat{x}_2, \dots, \hat{x}_n$ подсистемам (Рис. 1). Каждая подсистема действует эгоистично, и заинтересована получить как можно больший уровень инвестиций и минимизировать свой ущерб от инцидентов ИБ. Целью Координатора является минимизировать ущерб от инцидентов ИБ во всей системе, или другими словами максимизировать социальное благосостояние.

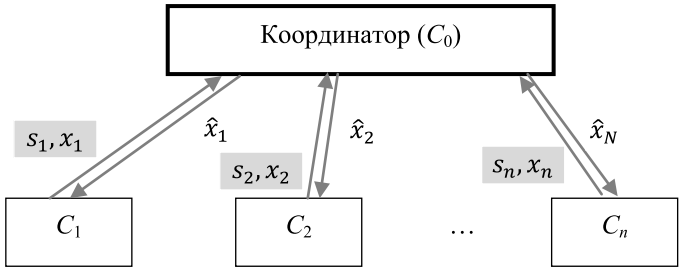


Рисунок 1 – Двухуровневая иерархическая система

Ниже эта задача формулируется как игра взаимозависимой безопасности. Рассмотрим систему, состоящую из n игроков (подсистем ИБ) и одного Координатора. Взаимозависимость игроков представляется ориентированным графом $G = (N, L)$, где $N = \{1, \dots, n\}$ и $L \in R_+^{n \times n}$ обозначают соответственно, множество игроков и множество ориентированных связей между ними. Игрок j может повлиять на состояние безопасности игрока i, только если $l_{ji} > 0$. Обозначим множество соседей игрока i через $N^i = \{j : l_{ji} > 0\}$. В каждый момент времени игрок i

может подвергаться атаке непосредственно из внешнего мира с вероятностью p_i и со стороны любого из своих соседей $j \in N^i$с вероятностью l_{ji}. Топология сети G и вероятность внешней кибератаки p_i остается неизменной по времени.

Каждый игрок i выбирает свой уровень инвестиций безопасности $x_i \geq 0$, что приводит к затратам $C_i > 0$ на каждую единицу инвестиций. Для выяснения этого высказывания отметим, что инвестиция на безопасность может быть как дискретной, так и непрерывной. В большинстве научных статей дискретная инвестиция означает бинарное решение ($x_i = 1$, если игрок инвестирует, и $x_i = 0$, если он не инвестирует). Дискретная инвестиция может моделировать, например, приобретение продукта безопасности, такого как антивирусное программное обеспечение. Примером для непрерывных инвестиционных решений является установление чувствительности систем обнаружения вторжений. В этом случае, более высокая чувствительность системы обнаружения вторжений влечет за собой большое количество аварийных сигналов и предупреждений, которые должны быть обработаны экспертами ИБ. В результате потребуются более высокие затраты.

Пусть $\boldsymbol{x} = \{x_1, x_1, \dots, x_N\}$ обозначает вектор инвестиций. Для определения ожидаемых потерь игрока при нарушениях безопасности вводим понятие функции риска игрока. Риск инцидента ИБ для агента i зависит от его инвестиций, а также от инвестиций других агентов. Значение риска игрока i вычисляется с использованием функции риска f_i:

$$(1) \quad f_i(\boldsymbol{x}) = f_i(x_i, \boldsymbol{x}_{-i}),$$

где $\boldsymbol{x}_{-i}$ вектор инвестиций всех игроков, кроме игрока i. Функция риска f_i часто предполагается как вероятность инцидента безопасности, в этом случае $f_i \in [0,1]$. Точная форма функции риска определяется моделью взаимозависимостей между игроками. В литературе предложены различные модели взаимозависимости. В общей модели взаимозависимости функция риска f_i может быть произвольной функцией, удовлетворяющей множеству предположений. Наиболее распространенное предположение заключается в том, что инвестиции безопасности демонстрируют положительные, но снижающиеся вознаграждения для каждого игрока. Положительные результаты (т. е. строго снижающиеся риски) моделируют положительные внешние эффекты между игроками: если один игрок увеличивает свои инвестиции в систему безопасности, каждый игрок выигрывает. Снижающиеся доходности (т. е. выпуклость функции риска) моделируют уменьшающуюся предельную полезность инвестиций в обеспечение безопасности, что является общепринятым предположением. Формально, определим следующие предположения:

Предположение 1: Функция $f_i(\cdot)$ дифференцируема и убывает по всем x_j: $\frac{\partial f_i(\boldsymbol{x})}{\partial x_j} < 0, \forall i, j.$

Предположение 2: Для каждого i функция $f_i(\cdot)$ строго выпукла по всем x_j: $\frac{\partial^2 f_i(\boldsymbol{x})}{\partial x_j^2} > 0, \forall i, j.$

Цель игрока i – максимизация своей функции полезности u_i, которая определяется следующим образом:

$$(2) \quad u_i(\mathbf{x}) = -L_i x_i + C_i x_i - t_i$$

где L_i L_i– потенциальная потеря игрока i, если инцидент ИБ произойдет, C_i – (удельная) стоимость инвестиций игрока i. Член t_i характеризует штраф/вознаграждение, которому может подвергаться игрок, и в общем случае может зависит от вектора инвестиций $\boldsymbol{x}$.

Мы делаем следующие предположения об игроках:

Предположение 3: Все игроки действуют рационально и выбирают свой уровень инвестиций чтобы максимизировать свою функцию полезности.

Предположение 4: C_i и функция $f_i(\cdot)$ игрока i являются его конфиденциальной информацией.

Игра взаимозависимой безопасности между перечисленными выше n игроками определяется как стратегическая игра $(\{1,\dots,n\},\{x_{i\geq 0}\},\{u_i(\cdot)\})$. В этой игре оптимальный вектор инвестиций безопасности находится как решение следующей задачи, которая максимизирует социальное благосостояние и решается со стороны Координатора:

$$\max_{(x,t)} \sum_{i=1}^{n} u_i(x)$$
$$x \geq 0. \quad (3)$$
$$\sum_{i=1}^{n} C_i x_i \leq B.$$

По предположению 2 существует единственный социально-оптимальный инвестиционный профиль x* для задачи (3). Как уже отмечалось, коэффициенты $L_i,\ C_i$ и функция риска f_i являются конфиденциальной информацией игроков, Координатор не осведомлен об этой информации, и поэтому он не может решить проблему (3). В то же время у игроков также нет достаточной информации для поиска решения x*.

Поэтому, наша цель состоит в том, чтобы найти механизм координации, выполняемый Координатором, так что индуцированная игра взаимозависимой безопасности имела бы в качестве своего равновесия решение проблемы (3). Из-за предположения 4 наша модель является игрой с неполной информацией. Равновесие Нэша в этой игре можно интерпретировать как точку схождения итеративного процесса, в которой каждый пользователь корректирует свое действие на каждой итерации на основе своих наблюдений за действиями других игроков, пока односторонние отклонения перестанут быть более прибыльными [18], [19].

3 Механизм координации для реализации социально-оптимального решения

В этом разделе мы представляем механизм координации, реализующий социально-оптимальное решение (3). Для этого мы ослабим Предположение 4 для Координатора, то есть предположим, что игроки предоставляют эти конфиденциальные данные Координатору с условием не раскрывать эти данные другим участникам игры. Основанием для этого допущения является законодательные требования от государственных органов представления статистических отчетов по ИБ уполномоченному государственному органу [20]. В этом случае, Координатор будет решать задачу с полной информацией и сможет найти равновесие Неша для этой игры.

Механизм координации осуществляется через следующие шаги:

- Каждый игрок сообщает свои конфиденциальные данные Координатору
- Каждый игрок i сообщает Координатору свой текущий уровень безопасности s_i s_i.
- На каждом временном шаге:

1) Координатор решает задачу (3) и находит глобально оптимальный уровень инвестиций $\hat{x}_i, i = 1,2,\dots,n$; Координатор отправляет каждому игроку i общий бюджет его соседей вместе с ним $B_i = \hat{x}_i + \sum_{j\in N^i} \hat{x}_j$, средний уровень безопасности $\bar{s}_i = \frac{1}{|N^i|}\sum_{j\in N^i} s_j$, и средний уровень инвестиций его соседей $\bar{x}_i = \frac{1}{|N^i|}\sum_{j\in N^i} x_j$, а также средний уровень инвестиций всей системы$\bar{x} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i$.
2) Каждый игрок i решает задачу (3) учитывая свой уровень ИБ s_i, общий бюджет его соседстваB_i B_i и осредненные данные своих соседей, сообщает Координатору свой профиль инвестиций $x_i,\ x_j^i, j \in N^i$.

Координатор определяет штрафы и сообщает их игрокам, размер которого равен сумме разностей между профилем инвестиций игрока и соответствующим профилем инвестиций Координатора.

Заключение

В работе для координации инвестиций в информационную безопасность в государственных органах предложена модель в виде игры взаимосвязанной безопасности. Для реализации социально-оптимального решения этой игры разработан соответствующий механизм координации. Участники игры взаимосвязанной безопасности предполагаются эгоистичными, но правдивыми. Они сообщают правдивую информацию о своих параметрах безопасности, включая уровень информационной безопасности. Для случая неправдивых игроков в будущем планируется разработать механизм стимулирования на основе теории аукционов и Марковских процессов принятия решений.

Список литературы

[1] Anderson R., Why information security is hard - an economic perspective // Proc. of the 17th Annual Computer Security Applications Conference, 2001, pp. 358-365.
[2] Kunreuther H., Heal G., Interdependent security // Journal of Risk and Uncertainty, 2003, vol. 26, no. 2-3, pp. 231–249.
[3] Ходаков В. Е., Соколова Н. А., Кирийчук Д. Л., О развитии основ теории координации сложных систем // Проблемы информационных технологий, 2014, № 02 (016), с. 12-21.
[4] Terán J., Aguilar J. L., Cerrada M. Mathematical models of coordination mechanisms in multi-agent systems // CLEI electronic journal, 2013, 16(2), pp. 5-5.
[5] Месарович М. , Мако Д. , Такахара И., “Теория иерархических систем.” М.: Мир, 1973.
[6] Алиев Р. А., Либерзон М. И. Методы и алгоритмы координации в промышленных системах управления. М.: Радио и связь, 1987. — 208 с.
[7] Алтунин, А. Е. Модели и алгоритмы принятия решений в нечетких условиях. Тюмень: Изд-во Тюменского государственного университета, 2000. — 352 с.
[8] Клебанова Т. С. Молдавская Е. В., Чанг Хогван. Х. Модели и методы координации в крупномасштабных экономических системах. – М.: Бизнес Информ, 2002. – 148 с.
[9] Laszka A., Felegyhazi M., and Buttyan L. A survey of interdependent information security games // ACM Computing Surveys (CSUR), 2015, 47(2), Article No. 23.
[10] Gordon, L. and Loeb, M. The economics of information security investment // ACM Transactions on Information and System Security, 2002, vol. 5, no. 4, pp. 438–457.
[11] Willemson J. On the Gordon & Loeb model for information security investment / Proc. of the 5th Workshop on the Economics of Information Security (WEIS), 2006.
[12] Cavuşoglu H., Mishra B., and Raghunathan S. A model for evaluating IT security investment // Communications of the ACM, 2004, vol. 47, no. 7, pp. 87-92.
[13] Grossklags J. Secure or insecure: An economic analysis of security interdependencies and investment types. Universityof Berkeley, California, Ph.D Thesis, 2009.
[14] Gao X., Zhong W., Mei S. A differential game approach to information security investment under hackers’ knowledge dissemination // Operations Research Letters, 2013, Volume 41, Issue 5, pp. 421-425.
[15] Santos J.R., and Haimes Y.Y. Modeling the demand reduction input-output (I-O) inoperability due to terrorism of interconnected infrastructures // Risk Analysis, 2004, vol. 24, no. 6, pp. 1437-51.
[16] Gordon L. A., Loeb M. P., and Sohail T., A framework for using insurance for cyber-risk management // Communications of the ACM, 2003, vol. 46, no. 3, pp. 81-85.
[17] Shetty N., Schwartz G., Felegehazy M., and Walrand J. Competitive cyber-insurance and Internet security / Economics of information security and privacy, 2010, pp. 229-247.
[18] Jiang L., Anantharam V., Walrand J., How bad are selfish investments in network security? // IEEE/ACM Transactions on Networking, 2011, vol. 19, no. 2, pp. 549–560.
[19] Naghizadeh P., Liu M., Closing the price of anarchy gap in the interdependent security game / Information Theory and Applications Workshop (ITA), 2014, pp. 1-8.
[20] Nowell C. Regulatory compliance - the wonderful world of FISMA // Information Systems Security, 2007, vol. 16, no. 5, pp. 278-280.

ПРОТИВОДЕЙСТВИЕ ПРАВОНАРУШЕНИЯМ ПОСРЕДСТВОМ ВНЕДРЕНИЯ ИНТЕРСУБЪЕКТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ В СООБЩЕСТВЕ СОБСТВЕННИКОВ МНОГОКВАРТИРНОГО ДОМА

Т.В. Моисеева, Ю.В. Мятишкин

Институт проблем управления сложными системами РАН
443020, Самара, ул. Садовая, 61, Россия
myat2008@mail.ru
тел: +7 (846) 333-37-70, факс: +7 (846) 333-27-70

***Ключевые слова**: коррупция, коммерческий подкуп, интерсубъективное управление, управление общим, групповое взаимодействие, жилищно-коммунальное хозяйство, самоуправление, гражданское общество.*

Abstract

This article describes dependence of offences related with money and property of the co-owners of apartments from the level of complexity of administration system of the common property of the house management. The report is devoted to the analysis of common property management and the method of its improvement with the help of intersubjective management.

Введение

Согласно законодательству РФ, а также согласно логике хозяйственных отношений за собственность многоквартирного дома (МКД) несет ответственность его владелец, то есть сообщество собственников. В рамках законодательства и по собственному решению совладельцы дома делегируют свои права по управлению общим имуществом управляющей компании (УК) или товариществу собственников жилья (ТСЖ), которое, по существу, является такой же УК, только учрежденной самими собственниками МКД. Поэтому далее по тексту организацию, собирающую квартплату, будем именовать обслуживающей организацией.

Сам по себе сбор средств на содержание домов в подавляющем большинстве случаев носит недобровольный характер (государство установило санкции за неоплату квартплаты), то есть фактически он является принудительным.

Данных денег явно не хватает на содержание многих домов. На этот случай законодательством предусмотрено право самим собственникам увеличивать свои расходы на общедомовые нужды. Однако на практике редко встречается такая ситуация, когда собственники добровольно увеличивают квартплату. Это вызвано многими факторами, одним из ключевых из них является недоверие к обслуживающим организациям, поскольку, как правило, отчужденные средства собственников являются предметом хищений, нецелевого или нерационального использования [1].

Для того чтобы противодействовать злоупотреблениям, необходимо понести дополнительные расходы времени и денег [2]. В нашем обществе широко бытует мнение, что это задача преимущественно государственных структур [3]. Однако, надзорные государственные органы и чиновники для сообщества совладельцев МКД являются сторонними третьими лицами. Напрямую они материально не отвечают за состояние домов как собственники, поэтому для совладельцев дома было бы опрометчиво перекладывать на них ответственность за состояние общего имущества МКД [4].

Некачественное содержание общего имущества понижает качество жизни в доме, ведет к преждевременному обветшанию конструкций, что в итоге снижает цены на квартиры в доме.

К тому же дом, особенно в средних широтах, является средством жизненной необходимости. Поэтому увеличение расходов собственников на прямое общественное управление общими ресурсами экономически оправданно.

Объем расходуемых средств на организацию взаимодействия может различаться. В данной статье рассмотрим зависимость возможностей для злоупотреблений от усложнения системы управления общим имуществом.

1 Интерсубъективное управление общественными ресурсами МКД

Интерсубъективное управление базируется на осознании проблемной ситуации её участниками [5]. Коррупция, нецелевое использование средств являются самостоятельными проблемными ситуациями, помимо прямых хозяйственых проблем. Однако, у них особый статус. Несправедливость сильнее мотивирует людей, чем угроза прямых естественных материальных потерь, так как хищение — это больше, чем убыток или другая потеря. Оно имеет свою дополнительную эмоциональную составляющую.

Таким образом, осознание несправедливости обладает более интенсивным мобилизующим свойством, чем угроза технических или природных хозяйственных потерь [6, 7]. Отсюда следует, что организаторы, опирающиеся на ценностные ориентиры в управлении [8], имеют преимущество при концентрации ресурсов на решение хозяйственных задач.

Основная проблема заключается в готовности лидеров им следовать, ведь чтобы институционально организовывать хозяйство, кроме эмоционального подкрепления акторам необходимо материальное содержание [9].

Проще всего получить оплату от коммерческих структур. Это гармонирует с их логикой ведения хозяйства, так как данные расходы воспринимаются обыденными издержками в продвижении своих товаров. Отсутствие оплаты организационных услуг со стороны заказчиков (то есть совладельцев) ставит акторов в противоречивое положение, ведь они сталкиваются в этом случае с несправедливостью по отношению к себе со стороны собственников МКД. Таким образом, ликвидация коррупции невозможна без прямой оплаты организационных расходов активистов совладельцами.

Рассмотрим далее структуру управления общим имуществом в порядке её усложнения.

Старший по дому — актор, обеспокоенный необходимостью решать общественные и личные проблемы, связанные с общедомовым имуществом.

Совет дома — расширенное представительство совладельцев-акторов.

Общее собрание собственников — высший орган управления общедомовым имуществом. Оно может быть организовано как общественная организация с образованием юридического лица или без его образования. Цель создания — прямое управление общим имуществом. Основной способ — регулярное принятие решений общего собрания совладельцев МКД.

Для упрощения работы общего собрания собственников, его можно решением того же общего собрания разделить по группам из 8...12 квартир (такое количество участников более способно вести коллективные переговоры), закрепив за ними права и сферы ответственности на определенный период времени. Каждая такая группа избирает своего представителя в совет МКД.

2 Нарушение интересов совладельцев МКД

Рассмотрим взаимосвязь между тяжестью экономических правонарушений и сложностью системы управления общим имуществом. На графике схематично приведена данная зависимость (рис. 1).

Описание всех нарушений интересов совладельцев по мере их тяжести размещено на вертикальной оси. На горизонтальной оси размещены организационные формы в зависимости от издержек на их добровольное содержание.

Ниже кривой графика находятся все доступные уровни нарушений интересов совладельцев в зависимости от уровня сложности социальной системы.

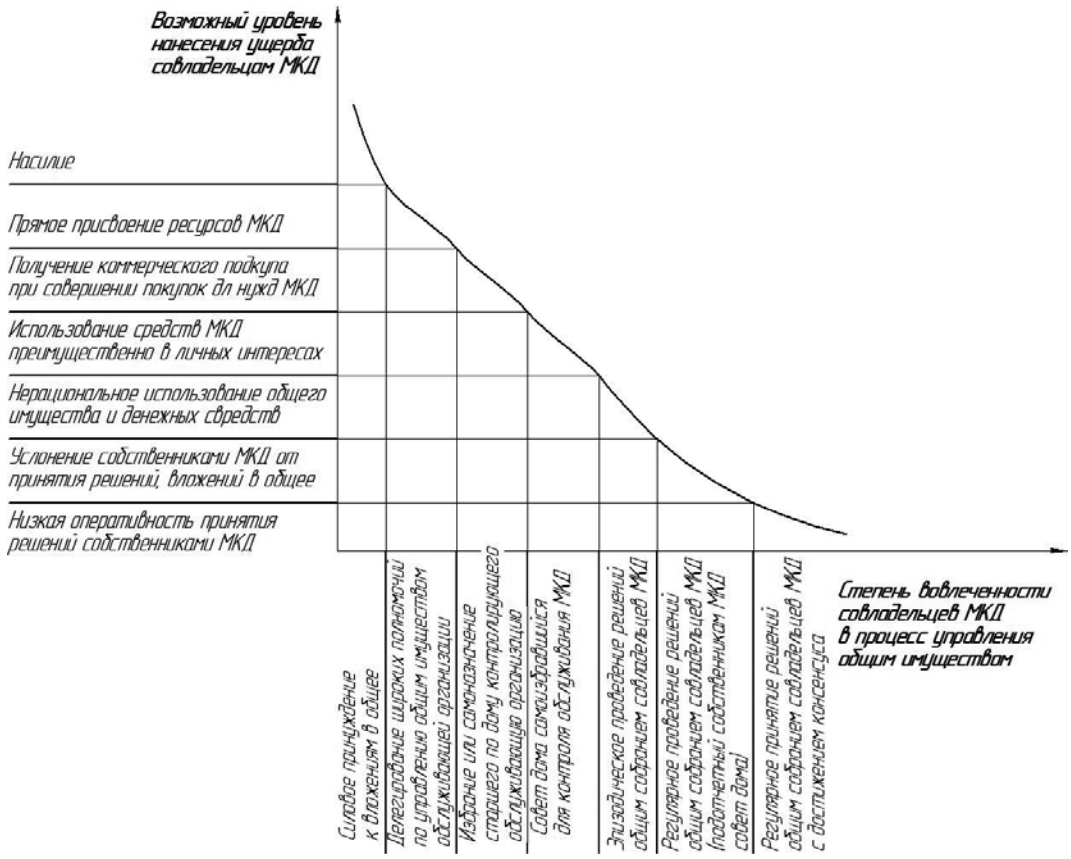


Рисунок 1 - Уровни возможностей для нарушений интересов совладельцев в зависимости от сложности системы управления общим имуществом

3 Структурные изменения в системе управления общим имуществом МКД

В настоящий момент функции держателя кассы дома и исполнителя работ осуществляются тем же субъектом, который осуществляет выдачу заданий и приемку выполненных работ. Это управляющая компания. При этом она является лицом, сторонним по отношению к общему собранию собственников дома.

Если обслуживающая организация работает с нарушениями, то она все равно имеет возможность сама заплатить заработную плату своим сотрудникам. При этом если со стороны собственников отсутствует хотя бы какой-то представитель, способный защитить минимальные интересы совладельцев МКД, то обслуживающая организация может распоряжаться средствами по собственному усмотрению.

Защита интересов совладельцев — трудозатратная деятельность. Если осуществляется оплата работы по организации общественного управления имуществом, то это существенно расширяет возможности для качественного содержания общего имущества с более точным удовлетворением интересов собственников МКД.

Если оплату данной работы проводить через расчетный счет обслуживающей организации, то у неё появляется механизм влияния на организаторов, ведь именно обслуживающая организация будет принимать решение о непосредственном начислении зарплаты. Поэтому целесообразно проводить оплату данной работы через другой расчетный счет.

Наиболее рациональным решением данной задачи было бы заключение договора с организациями, осуществляющими территориальное общественное самоуправление (ТОС). Работа старшего по дому, совета дома и система принятия решения общим собранием совладельцев МКД — это не что иное, как местное самоуправление.

Основной продукт, производимый по этому договору — это решения общего собрания собственников. Сбор сведений о проблемных ситуациях в МКД, подготовка проектов принимаемых решений собственниками, проведение дискуссий по хозяйственным вопросам совладельцев, проверка юридической, моральной, конструктивной и технологической приемлемости принимаемых сообществом решений — это не полный список работ, которые должны производить организаторы, чтобы общее собрание собственников было способно принять консолидированное решение.

Это профессиональная работа, и она является типовой для подавляющего большинства многоквартирных домов. ТОС может содержать на деньги собственников специализирующихся на этом сотрудников. Такая кооперация домов позволит повысить качество принимаемых решений при невысоких материальных затратах.

ТОС, объединяющий целый микрорайон домов и видящий частные проблемные ситуации в отдельных МКД с позиции объединения группы домов, способен помогать жильцам решать их проблемы комплексно.

Роль обслуживающих организаций — выполнение стратегических решений общих собраний МКД.

ТОС через жильцов должен выдавать задание и принимать работу исполнителей.

Работа с обслуживающей организацией сегодня производится по стопроцентной предоплате. Это отрицательно сказывается на качестве и цене производимых услуг. Чтобы отделить кассу дома от исполнителей, необходим еще один дополнительный расчетный счет. Развитие отношений с единым расчетным кассовым центром (ЕРКЦ) позволило бы улучшить деловой климат в системе ЖКХ.

Квартплата — это целевые деньги сообщества совладельцев, жильцов. Назначение их расходования должно приниматься на общем собрании совладельцев. Решения о непосредственной оплате выполненных работ тоже необходимо проводить через решение общего собрания.

Очевидно, что общественное управление ресурсами - это сложная система отношений и достаточно дорогостоящая. Основной ожидаемый эффект от данных преобразований ожидается в существенном повышении качества использования ресурсов, увеличении инвестиционной активности в общее имущество, снижении объема имущественных и прочих правонарушений, возникновении новых инвестиционно привлекательных коммерческих тем на базе изменившегося характера потребления.

4 Оплата организационных расходов

Как уже отмечалось, для решения проблемы некачественного, недобросовестного использования отчужденных денежных средств собственников необходимо усложнение системы управления общим имуществом и ощутимые дополнительные расходы средств собственников.

Неготовность взять на себя данные издержки населением — основная проблема внедрения общественного управления общим имуществом, причем содержание общественников на государственные дотации или коммерческие представительские расходы деформирует принятие решений в пользу тех, кто платит. Это не значит, что такое сотрудничество вредно конеч-

ным потребителям, наоборот, оно повышает качество отношений с властями и предпринимателями. Однако, если сами граждане не вкладывают средства в самоуправление, то их интересы учитываются в меньшей степени.

Повестки встреч задает тот, кто оплачивает общественные мероприятия. Вложения в них всех трех сторон (граждан, предпринимателей и властей) создает условия для наиболее гармоничных социально-экономических отношений в обществе.

В развитии местного самоуправления заинтересованы все три стороны. Для властей это децентрализация принятия решений местного масштаба - делегирование ответственности за локальные ситуативные общественные проблемы. Для бизнеса — это формирование нового спроса, расширение рынков сбыта, усовершенствование работы с потребителями. Для граждан самоуправление — это повышение уважения к их непосредственным интересам.

Заключение

Полноценное противодействие нарушению интересов сообщества совладельцев общего имущества, в частности ЖКХ, невозможно без увеличения расходов денег и личного времени на систему управления общим.

Можно надеяться на появление честных организаторов, но скорее всего это обманутое ожидание, так как если нет возможности остановить нарушителя общественных норм, то практика правонарушений будет только шириться на почве положительного материального подкрепления недобросовестных распорядителей общими ресурсами.

Пока система управления общим имуществом не будет усложнена, общество будет терпеть существенные убытки от злоупотреблений от использования служебного положения. Никакие механические замены администраторов на честных и хозяйственных полноценным образом не решат проблемы коррупции и коммерческого подкупа, так как сохранение системной возможности для данного рода правонарушений будет служить постоянным искушением для действующих организаторов.

Таким образом, преодоление проблемы недобросовестного использования общественных средств сводится к продаже гражданам услуг по организации ими принятия коллективных решений. Усиления контроля со стороны властей не способно полноценно решить проблему нарушения интересов совладельцев при осуществлении управления общественными ресурсами МКД.

Основной механизм снижения объема экономических преступлений, да и прочих тоже, отводится взаимному влиянию людей друг на друга с целью получения совместной общественной выгоды.

Список литературы

[1] Алиева Г. А. Некоторые схемы совершения взяточничества и коммерческого подкупа в сфере ЖКХ // Российский следователь. – 2016. – №1. – С.3-6.

[2] Байтимиров Р.И., Кушубакова Б. К. Развитие общественного контроля в сфере ЖКХ и оценка его возможностей противодействия коррупции. // Правовое поле современной экономики. – 2015. – №1. – с.166-172.

[3] Евенко В. В., Луговая А. Э. Коррупция в сфере ЖКХ и борьба с ней. // Экономическая психология: современные проблемы и перспективы развития: Материалы XV международной конференции (Санкт-Петербург, 24-27 ноября 2015 г). - Санкт-Петербург: Наука Высшей Школы - Санкт-Петербургу – 2015.– С.79-83.

[4] Моисеева Т.В., Мятишкин Ю.В. Разделение ответственности в интерсубъективных сообществах. – Инновации в жизнь. 2018. №1.

[5] Vittikh, V.A. Introduction to the theory of intersubjective management / V.A. Vittikh // Group Decision and Negotiation - 2015. Issue 1, Vol. 24. - P. 67-95.

[6] Моисеева Т.В. Социогумманитарная составляющая интерсубъективного управления инновационным развитием социотехнических объектов. // Труды XIX международной конференции: Проблемы управления и моделирования в сложных системах. (г. Самара 12-15 сентября 2017г). Самара ООО «Офорт» - 2017. - с.332- 337.
[7] Моисеева Т.В. Проблемы интерсубъективного управления инновационным развитием социотехнических объектов. // Вестник СамГТУ. Серия "Технические науки". - 2017. - № 3(55). - С. 16-31.
[8] Виттих В.А. Проблемы эвергетики. // Проблемы управления. - 2014.- №4. - с.69-71.
[9] Мятишкин Ю.В. Средства достижения консенсуса в широких группах людей, объединенных общей проблемной ситуацией. // Труды XIX международной конференции: Проблемы управления и моделирования в сложных системах. (г. Самара 12-15 сентября 2017г). Самара ООО «Офорт» - 2017. - с.338- 345.

ПОИСК СМЫСЛА В ТЕОРИИ ИНТЕРСУБЪЕКТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ

Т.В. Моисеева

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем управления сложными системами Российской академии наук
443020, Самара, ул. Садовая, 61, Россия
mtv-2002@yandex.ru
тел: +7 (846) 332-39-27, факс: +7 (846) 333-27-70

Ключевые слова: *интерсубъективное управление, актор, проблемная ситуация, проблема, смысл проблемной ситуации.*

Abstract

Development of the intersubjective management theory and its practical applications identified necessity of clear understanding what meaning heterogeneous actors enclose in the notion of a problem situation, because their attempts to solve the problem situation may fail if heterogeneous participants intend different sense in the same situation. They would not be allowed to come to a single decision suitable to everyone. Therefore, the purpose of this article is to study how the problem situation in the process of its cognition is transformed into a problem endowed with a single meaning by heterogeneous actors.

Введение

Классический менеджмент традиционно направлен на организацию процессов управления как на предприятиях, так и в регионах и государствах, и является субъектно-инвариантным, объектно- и системно- ориентированным. Обычно менеджмент ассоциируется со средствами, методами и видами управления людьми и производством для достижения поставленных целей, т. е. с координированием и руководством. Несмотря на то что теоретики менеджмента утверждают, что главная роль в этом процессе отводится человеку, подразумеваются руководители и администраторы, обладающие полномочиями для принятия решений и являющиеся субъектами управления. Их деятельность направлена на объекты, нуждающиеся в регулировании, к которым относятся разные виды ресурсов и структурных единиц, среди которых можно выделить и других людей, которым уже не отводится главная роль в процессах принятия решений, т. е. персонал. Модель классического менеджмента переносится и на процессы управления в обществе, игнорируя человеческую субъективность, поскольку принципы классической научной рациональности предполагают оппозицию субъекта и объекта управления, когда исследователь изучает ситуацию, складывающуюся в обществе, «извне», не предполагая включение человека в процессы управления. Подобная бюрократизация управления и манипулирование общественным мнением приводит к отчуждению населения от принятия стратегически важных для него решений.

В отличие от традиционной науки зарождающаяся субъектно - ориентированная наука о процессах управления в обществе (эвергетика) [1, 2, 3] связана с классической принципом дополнительности, предполагая участие людей из повседневной жизни в процессах принятия решений [4].

Традиционный менеджмент имеет в своем арсенале технологии принятия решений, позволяющие эти решения вырабатывать. Люди из повседневной жизни такими технологиями не владеют и вынуждены самостоятельно искать способы урегулирования осознаваемых ими проблемных ситуаций. Теория интерсубъективного управления, лежащая в основе эвергетики, предлагает алгоритм принятия решений, направленных на поиск выхода из проблемных

ситуаций, в которых оказываются люди - объекты управления с точки зрения классической теории. Новый подход наделяет этих людей функцией главной движущей силы в процессах принятия решений в обществе, играющей в них ведущую роль и выступающих в качестве субъектов (contra объектов).

Основные положения нового подхода к управлению - теории интерсубъективного управления - были изложены в [5], результаты его дальнейшего развития - в [3, 6, 7], практическое применение - в [8, 9]. Важность роли, которую играют неоднородные акторы (не просто созерцающие окружающий мир и познающие его, а выполняющие деятельностные функции) в процессах управления в обществе, была определена в [10]. Необходимость построения коммуникативной смысловой модели, интегрирующей взгляды всех акторов на проблемную ситуацию, обоснована в [11], в качестве смысловых моделей предложено использовать онтологические модели ситуаций [12], т.е. формальные онтологии [13, 14], а технологическая платформа для практической реализации положений теории интерсубъективного управления в сообществах, главной особенностью которых является коммуникация акторов, нацеленная на достижение их взаимопонимания, представлена в [11, 12, 14].

Однако в ходе разработки теории интерсубъективного управления и ее практического применения выявилась необходимость четкого понимания, какой смысл вкладывают гетерогенные акторы в понятие проблемной ситуации, поскольку попытки разрешить одну и ту же проблемную ситуацию, в которую разные ее участники вкладывают разный смысл, не позволят им прийти к единому, устраивающему всех решению. Поэтому целью данной статьи является исследование того, как проблемная ситуация в процессе ее познания трансформируется в проблему, наделенную единым смыслом разнородными акторами.

1 Проблемная ситуация

Проблемная ситуация может быть идентифицирована как «возникающее в процессе практической или духовной деятельности противоречие между определенной социальной потребностью и наличными средствами ее адекватного удовлетворения» [15]. В таких ситуациях люди оказываются постоянно и в ходе своей производственной деятельности, и в повседневной жизни. Обычно мы пытаемся разрешить не одну, а сразу несколько проблем, с которыми столкнулись, и не смогли найти из них выход сразу. Осознание проблемы заставляет человека задуматься о том, что нужно делать, как разрешить противоречие между наличием потребности и отсутствием средств ее разрешения, и каким может быть выход из данной проблемной ситуации. Традиционный менеджмент предлагает технологии принятия решений в ситуациях, складывающихся на производстве. При этом субъективные факторы, связанные с личностями конкретных участников событий, не учитываются. Однако поиск выхода из той ситуации, в которой оказался именно этот человек, зависит от личности данного человека, его ценностной ориентации и культуры, сложившихся в данный момент внешних условий. Поэтому решения в сходных на первый взгляд ситуациях окажутся совершенно различными.

Акторы (осуществляющие познавательно-деятельностные функции) могут увидеть проблемную ситуацию только через призму собственного опыта, образования, воспитания, культуры и пр. При этом многие грани данной ситуации остаются им не замеченными. Актор понимает, что, возможно, он и выход в данных обстоятельствах не видит из-за лимитированности своих взглядов. Действительно, суждения одного человека более ограничены, а вероятность принятия неудовлетворительного решения или вовсе его непринятия выше, чем при работе в группе. Групповое решение может оказаться более «богатым», чем индивидуальное, поскольку на его принятие влияют различные феномены восприятия и особенности переработки информации разными людьми [16]. К тому же его

собственные ресурсы могут быть сочтены недостаточными для реализации принятого решения. Рациональный актор откажется от принятия индивидуального решения, испытывая дефицит личных ресурсов (материальных, финансовых, информационных и пр.). В результате возникает необходимость взаимодействия с другими акторами, вовлеченными в проблемную ситуацию, для совместного поиска решения.

Взаимодействие осложняется тем, что гетерогенные акторы могут вкладывать разный смысл в понятие казалось бы одной и той же проблемной ситуации, что не позволяет им прийти к единому, устраивающему всех решению. Поэтому несмотря на одинаковое звучание наименования проблемной ситуации сама ситуация может пониматься разными акторами по разному, и, следовательно, поиск смысла ситуации и приведение его к общему знаменателю всеми акторами необходимо проводить на начальном этапе поиска решения [17] (рис. 1).

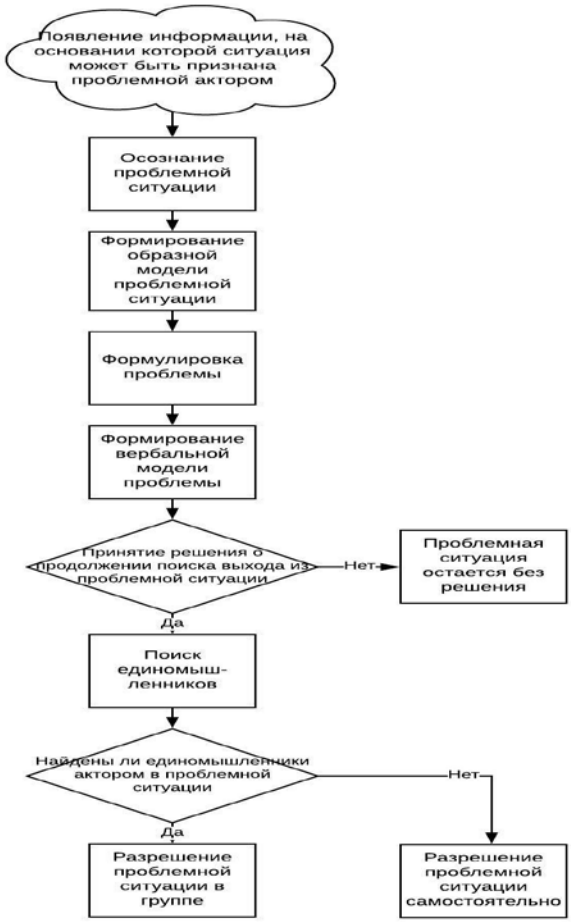


Рисунок 1 – Алгоритм осознания проблемной ситуации и поиска единомышленников

2 От осознания проблемной ситуации – к поиску смысла

Человек, обнаруживший себя в проблемной ситуации, осознавший себя в ней, принявший решение действовать, проявляет себя в роли актора. Он формулирует проблему, которая принимает форму отражения объективного феномена его субъективным сознанием. Отражая

проблемную ситуацию, проблема представляет собой систему высказываний о ней. Решение проблемы непременно содержит вопрос (или вопросы), требующий получения нового знания. Это отличает ее от задачи, для решения которой достаточно имеющихся знаний [15]. Проблема есть исходная форма организации знаний, представляющая собой систему высказываний о проблемной ситуации и совокупность вопросов, решение которых необходимо для ее разрешения.

Например, ситуация «Проведение чемпионата мира по футболу в 2018 году в Самаре» не всеми осознается как проблемная. Проблемной ее могут счесть, например, чиновники, которые отвечают за различные организационные вопросы подготовки города к чемпионату, жители тех районов, в которых проводятся футбольные матчи или попадающие в фан-зону, работающие в этих районах люди, владельцы магазинов, осуществляющих доставку товаров в разные части города, и пр. (рис. 2). Проблемную ситуацию они сформулируют по разному: «Подготовка города к мундиалю», «Изменение привычного образа жизни в связи с проведением чемпионата», «Организация фан-зоны в старой части города» и т.д.

Осознавшие себя в одинаково звучащей проблемной ситуации, связанной с организацией фан-зоны, могут сформулировать разные системы высказываний о ней:

1) нужна пешеходная зона; организация подвозки фанатов к фан-зоне; обеспечение фанатов водой, едой, информацией; наблюдение за порядком;
2) перемещение по району; выезд за его пределы; въезд различных обеспечивающих служб (доставка воды, доставка купленных товаров) и скорой помощи;
3) получение пропуска на въезд личного автомобиля; расположение пунктов проверки пропусков; ограничение парковок; появление новых дорожных знаков «остановка запрещена».

Очевидно, что разные системы высказываний о ситуации приведут к формулированию разных вопросов, требующих разрешения, а результатом ответов на них окажется различное разрешение изначально одинаково сформулированных проблемных ситуаций. Для вышеприведенных высказываний вопросы могут оказаться следующими:

1) как организовать городские коммуникации и работу соответствующих служб?
2) как выжить и удовлетворить свою потребность в пище и безопасности?
3) как сохранить свою возможность использовать личный автомобиль?

Поскольку актор вынужден искать других субъектов, оказавшихся в подобной проблемной ситуации и осознающих аналогичную проблему, и выход из проблемной ситуации интер-субъективно для него важно в ходе коммуникаций правильно ассоциировать себя с нужной группой людей, идентично осознающих проблемную ситуацию, а всей группе необходимо в ходе ведения переговоров образовать ситуативную ассоциацию единомышленников, отсекая инакомыслящих (они могут формировать иные ситуативные ассоциации в соответствии со своим осознанием проблемы).

В опубликованных ранее работах [1, 3, 5] использовалось понятие смысла ситуации в соответствии с [18]. С учетом того, что в «общечеловеческом» понимании слово «смысл» имеет значение, ассоциируемое, например, со смыслом жизни, в контексте теории интерсубъективного управления его значение было понятным специалистам, но при попытках применить основные положения теории на практике такое толкование термина вызывало некоторое недопонимание между акторами. Поэтому следует пояснить, что смысл проблемной ситуации есть ее видение актором, сформулированное в виде вопроса к задаче, требующей разрешения совместно с другими акторами. Отметим, что нравственно-ценностные установки и личный опыт каждого актора уникальны и не могут совпадать с установками и опытом других акторов. Однако для понимания смысла, вкладываемого в разрешение проблемной ситуации разными акторами, в полном совпадении нет необходимости. Достичь полной тождественности понимания невозможно, но поскольку решение вырабатывается акторами совместно, они стремятся получить устраивающее всех решение, преодолевая неполное

непонимание и постигая смысл, вложенный в проблемную ситуацию другими акторами, последовательно и неуклонно повышая степень понимания, применяя технологии достижения консенсуса, увеличивая сходимость мнений «благодаря онтологическому единству мира и, следовательно, определенному единству человеческого опыта, а также благодаря единой системе концептуализации мира – общей для всех людей и инвариантной по отношению к индивидуальному опыту категориальной структуре мышления» [15].



Рисунок 2 – Смысл проблемной ситуации

В процессе формулирования смысла ситуации каждый актор селекционирует из имеющейся совокупности знаний те массивы, которые необходимы ему для осознания проблемной ситуации, а затем ее решения. Учитывая, что любая конкретная проблема является формой перехода от содержательно-конкретного знания к конкретно обрисованной области непознанного, отметим, что проблема (или сформулированный актором смысл ситуации) предопределяет и программирует свое будущее решение. Действительно, формулирование смысла актором содержит определенную схему будущего решения, что может быть вызвано тем, что, во-первых, из-за определенным образом иерархически упорядоченной системы связей между вопросами проблема оказывается своеобразной «пустой структурой» своего будущего решения, а, во-вторых, описание проблемы на естественном языке, средствами которого она формулируется, имплицитно содержит указания на возможные пути решения проблемы. Кроме того, прошлый опыт формулирования и разрешения проблемных ситуаций акторами переносится на последующие и при отсутствии

необходимости в этом [18]. Именно поэтому решение проблемы интерсубъективно обогащает принятое решение.

Заключение

Пытаясь прийти к консенсусу, акторы представляют свое видение проблемной ситуации, причем ее описание может осуществляться в различных формах (вербальной, графической, матричной и пр.) в зависимости от ее характера, культуры акторов, образования и их ценностных установок, времени разрешения проблемы, применяющихся информационных и телекоммуникационных средств. Вербальная форма обычно предшествует и сопутствует всем прочим формам. При вербальном описании весьма важным оказывается то, какими понятийными средствами отображается проблемная ситуация, поскольку для выработки общего решения гетерогенные акторы должны одинаково понимать смысл проблемной ситуации. Поэтому осознание и формулирование проблемы (смысла проблемной ситуации) является важным этапом поиска выхода из проблемной ситуации группой акторов, предшествующим обсуждению возможных вариантов решения.

Список литературы

[1] Виттих В.А. Проблемы эвергетики. // Проблемы управления, № 4, 2014, с.69-71.
[2] Vittikh V.A. Evolution of Ideas on Management Processes in the Society: from Cybernetics to Evergetics. // Group Decision and Negotiation, volume 24, issue 5, September 2015. - P. 825 - 832.
[3] Vittikh V.A.Evergetics: Science of Intersubjective Management Processes in Everyday Life. // International Journal Management Concepts and Philosophy, 2016, vol.9, No.2. - P.63-72.
[4] Виттих В. А. Принцип дополнительности в науке о процессах управления в обществе. // Вестник Самарского государственного технического университета, 2016, № 4 (52). - С. 15-21 .
[5] Vittikh V.A. Introduction to the theory of intersubjective management. // Group Decision and Negotiation, 2015, Issue 1, Vol. 24. - P. 67-95.
[6] Моисеева Т.В. Проблемы интерсубъективного управления инновационным развитием социотехнических объектов // Вестник СамГТУ. Серия "Технические науки", 2017, № 3(55). - С. 16-31.
[7] Моисеева Т.В., Мятишкин Ю.В. Взаимодействие участников проблемной ситуации. // EKONOMICKÉ TRENDY, 2017, No3. - С.38-42.
[8] Виттих В.А., Моисеева Т.В. Интерсубъективное управление: от теории к практике. // Проблемы управления и моделирования в сложных системах: труды XVIII Междунар. конф. Самара: ООО «Офорт», 2016. – С. 53 – 62.
[9] Моисеева Т.В., Поляева Н.Ю. Апробация теории интерсубъективного управления в техническом вузе. // Problems of modern education: materials of the VIII international scientific conference (September 10–11, 2017), Prague: Vědecko vydavatelské centrum «Sociosféra-CZ», 2017. – p. 16-17.
[10] Vittikh V.A. Heterogeneous Actor and Everyday Life as Key Concepts of Evergetics. // Group Decision and Negotiation, November 2015, volume 24, issue 6. – p. 949-956.
[11] Смирнов С.В. Формальный поход к представлению смысла проблемной ситуации в процессах коллективного принятия решений. // Труды XII Всероссийского совещания по проблемам управления (16-19 июня 2014 г., Москва, Россия). – М.: ИПУ РАН, 2014. - С. 6261-6270.
[12] Виттих В.А. Онтологические модели ситуаций в процессах принятия коллегиальных решений. // Проблемы управления и моделирования в сложных системах: Труды XI Международной конференции. – Самара: Самарский научный центр РАН, 2009. - С. 405-410.
[13] Гаврилова Т.А., Муромцев Д.И. Интеллектуальные технологии в менеджменте: инструменты и системы. - СПб.: Изд-во «Высшая школа менеджмента», Изд. дом СПбГУ, 2008. - 488 с.
[14] Смирнов С.В. Онтологии как смысловые модели. // Онтология проектирования, 2013, №2. - С. 12-19.
[15] Никифоров В.Е. Анализ проблемных ситуаций и методы решения проблем. // Курс-конспект лекций и контрольные задания для магистрантов. – Рига, 2008. – 114с.
[16] Briskin A., Erickson S., Ott J., Callanan T. The Power of Collective Wisdom and the Trap of Collective Folly (Large Print 16pt). - Oakland, California: Berrett-Koehler Publishers, 2014. - 264 p.
[17] Моисеева Т.В., Поляева Н.Ю. Моделирование проблемной ситуации в теории интерсубъективного управления. - Вестник ДагТУ, №2, 2018.
[18] Frankl V.E. Man's Search for Meaning: an Introduction to Logotherapy. - New York: Perseus Book Publishing, 2000.

СИНТЕЗ КРИТЕРИЕВ СИСТЕМНОЙ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИННОВАЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ

М.В. Цапенко[1], Е.Н. Кириллова[2]

[1]Институт проблем управления сложными системами РАН
443020 г. Самара, ул. Садовая, 61, Россия
E-mail: mcap@mail.ru
тел./факс: +7 (846) 333-27-70

[2]Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева»
(Самарский университет)
443086 г. Самара, ул. Московское шоссе, 34, Россия
E-mail: en_kirillova@mail.ru
тел./факс: +7 (846) 267-46-21

Ключевые слова: *системная эффективность, инновационный проект, многокритериальное оценивание, метод анализа иерархий Томаса Саати, метод Data Envelopment Analysis*

Abstract

Multi-criterial evaluation method was established during the implementation of the research project «Systemic ranking of innovative projects of the Samara region ecosystem» the possibility of constructive joint use of expert models - the method of analyzing the hierarchies by Thomas Saati and of the formal one - Data Envelopment Analysis.

We consider the application method of these different in substance and methodology evaluation approaches for the synthesis of criteria of innovative projects system effectiveness evaluation and multi-criterial evaluation.

This work was supported by RFBR Grant № 15-46-02135.

Введение

В ходе реализации исследовательского проекта «Системное ранжирование инновационных проектов экосистемы Самарской области» (грант РФФИ 15-46-02135) была обоснована возможности совместного конструктивного использования моделей экспертного – метод анализа иерархий Томаса Саати (далее по тексту статьи – МАИ) и формального – Data Envelopment Analysis (далее по тексту статьи – DEA) методов многокритериального оценивания.

Рассмотрим способ применения этих разных по сути и методологии методов оценивания для синтеза критериев системной оценки эффективности инновационных проектов, проведения многокритериальной оценки и их ранжирования.

1 Экспертное оценивание значимости локальных показателей эффективности инновационных проектов

Алгоритмы и специфика совместного применения методов МАИ [1] и DEA [2-6] подробно рассмотрены в материалах [7, 8, 9].

Первым этапом экспертного оценивания значимости локальных показателей эффективности инновационных проектов является выбор и ранжирование агрегированных групп параметров эффективности, применимых к оценке инновационных проектов.

Выберем следующие агрегированные группы показателей:

1) Показатели, характеризующие деятельность с точки зрения способности наилучшим образом реализовать инновационный проект.
2) Показатели, характеризующие отрасль и отраслевой рынок проекта.
3) Показатели, характеризующие товары или услуги.
4) Показатели, характеризующие маркетинг.
5) Производственные показатели.
6) Финансовые показатели.
7) Социально-экономические показатели.
8) Показатели, характеризующие коммерческую эффективность проекта.
9) Показатели, определяющие риски проекта.

Методом МАИ были определены значимости этих укрупнённых групп [10]. Результаты оценивания представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Значимости агрегированных групп показателей

Агрегированные группы показателей	Значимость группы
1. Показатели, характеризующие деятельность с точки зрения способности наилучшим образом реализовать инновационный проект	3,6%
2. Показатели, характеризующие отрасль и отраслевой рынок проекта	3,4%
3. Показатели, характеризующие товары или услуги	4,1%
4. Показатели, характеризующие маркетинг	6,2%
5. Производственные показатели	13,3%
6. Финансовые показатели	22,6%
7. Социально-экономические показатели	9,6%
8. Показатели, характеризующие коммерческую эффективность проекта	24,7%
9. Показатели, определяющие риски проекта	12,5%

Критерий качества экспертных оценок – отношение согласованности – для процедуры оценки значимости агрегированных групп показателей равен 5,47%, что свидетельствует о высокой степени согласованности (качества) проведённой экспертизы.

Как видно из данных, представленных в таблице 1, наибольшую значимость (более 20%) имеют две укрупнённые группы: «Коммерческая эффективность» – 24,7% и «Финансовые показатели» – 22,6%.

Реализуем процедуру экспертного оценивания значимости частных показателей эффективности в этих лидирующих группах. Группа «Коммерческая эффективность» содержит четыре локальных показателя, группа «Финансовые показатели» – девять.

Матрица парных сравнений локальных показателей и результаты расчётов значимости по методу МАИ для группы «Коммерческая эффективность» представлена в таблице 2.

Оценка качества экспертных суждений – отношение согласованности – составляет 7,77%, что является высоким значением согласованности экспертных суждений.

Как видно из данных, представленных в таблице 2, наибольшую значимость в анализируемой группе получили два локальный показателя: рентабельность проекта – 56% и время окупаемости инвестиций – 24%.

Матрица парных сравнений частных показателей и результаты расчётов их значимости в группе «Финансовые показатели» представлены в таблице 3.

Оценки качества экспертных суждений – отношение согласованности – составляет 11,10%, что является удовлетворительной оценкой качества экспертных суждений.

Как видно из данных, представленных в таблице 3, наибольшую значимость получили два показателя: общий объём финансирования проекта – 32% и займы от третьих лиц – 20%.

Таблица 2 – Матрица парных сравнений и расчёты значимости по группе «Коммерческая эффективность»

Показатели	Чистый дисконтированный доход (NPV)	Время окупаемости инвестиций (PP)	Внутренняя норма прибыли (IRR)	Рентабельность проекта (CP)	Среднее геометрическое	Нормированные оценки	λ_{max}
Чистый дисконтированный доход (NPV)	1	1/5	1/2	1/5	0,38	0,07	0,92
Время окупаемости инвестиций (PP)	5	1	2	1/4	1,26	0,24	1,34
Внутренняя норма прибыли (IRR)	2	1/2	1	1/4	0,71	0,13	0,99
Рентабельность проекта (CP)	5	4	4	1	2,99	0,56	0,95
Сумма	13,00	5,70	7,50	1,70	5,33	1,00	4,21

Таблица 3 – Матрица парных сравнений и расчёты значимости по группе «Финансовые показатели»

Показатели	Приобретение венчурным фондом векселей	Возможность привлечения средств населения	Обеспечение финансовых гарантий	Участие фирмы, представляющей проект, в его финансировании	Вложение в уставной капитал	Возможность привлечения зарубежных инвесторов	Возможность получения кредитов в российских банках	Займы от третьих лиц	Общий объем финансирования проекта	Среднее геометрическое	Нормированные оценки	λ_{max}
Приобретение венчурным фондом векселей	1	1/3	1/4	3	1/2	1	1	1/5	1/3	0,59	0,05	1,02
Возможность привлечения средств населения	3	1	1/2	2	3	1	1	1/4	1/3	0,97	0,08	1,09
Обеспечение финансовых гарантий	4	2	1	2	4	4	4	1/3	1/3	1,69	0,14	1,30
Участие фирмы, представляющей проект, в его финансировании	1/3	1/2	1/2	1	2	1/3	1/3	1/4	1/4	0,47	0,04	0,90
Вложение в уставной капитал	2	1/3	1/4	1/2	1	1	1	1/4	1/6	0,53	0,05	1,02
Возможность привлечения зарубежных инвесторов	1	1	1/4	3	1	1	1	1/4	1/6	0,68	0,06	1,12
Возможность получения кредитов в российских банках	1	1	1/4	3	1	1	1	1/4	1/6	0,68	0,06	1,12
Займы от третьих лиц	5	4	3	4	4	4	4	1	1/6	2,39	0,20	1,79
Общий объем финансирования проекта	3	3	3	4	6	6	6	6	1	3,73	0,32	0,93
Сумма	20,33	13,17	9,00	22,50	22,50	19,33	19,33	8,78	2,92	11,74	1,00	10,29

Проведем свёртку значимости локальных показателей эффективности, учитывая веса двух укрупнённых групп и локальных показателей в каждой из них, таблица 4.

Таблица 4 – Свёртка значимости локальных показателей эффективности

Укрупнённые группы показателей					
Коммерческая эффективность проекта (вес 0,247)			Финансовые показатели (вес 0,226)		
Локальные показатели	Значимости	Взвешенные оценки	Локальные показатели	Значимости	Взвешенные оценки
Чистый дисконтированный доход (NPV)	0,071	0,017	Приобретение венчурным фондом векселей	0,050	0,011
Время окупаемости инвестиций (PP)	0,236	0,058	Возможность привлечения средств населения	0,083	0,019
Внутренняя норма прибыли (IRR)	0,133	0,033	Обеспечение финансовых гарантий	0,144	0,033
Рентабельность проекта (CP)	0,561	0,139	Участие фирмы, представляющей проект, в его финансировании	0,040	0,009
			Вложение в уставной капитал	0,045	0,010
			Возможность привлечения зарубежных инвесторов	0,058	0,013
			Возможность получения кредитов в российских банках	0,058	0,013
			Займы от третьих лиц	0,204	0,046
			Общий объем финансирования проекта	0,318	0,072

В таблице 4 взвешенные оценки определяются как произведение значимости локального показателя на вес укрупнённой группы.

Далее полученные взвешенные оценки всех локальных показателей приведём к единому базису – стопроцентной шкале, проведя нормировку на единицу.

Результаты итоговой нормировки локальных показателей по убыванию их значимости представлены на диаграмме рисунка 1.

Как видно из данных, представленных на диаграмме рисунка 1, можно выделить четыре локальных показателя, имеющих наивысшие оценки значимости – это: рентабельность проекта, общий объем финансирования проекта, время окупаемости инвестиций и займы от третьих лиц. Последний показатель можно трактовать как потребность в инвестиционном ресурсе для реализации проекта.



Рисунок 1 – Итоговые нормированные оценки значимости локальных показателей

2 Синтез критериев системной оценки эффективности

На основе ранее отобранных экспертным методом четырёх локальных показателей:

CP – рентабельность проекта, %;

PV – общий объём финансирования (стоимость проекта), руб.;

PP – срок окупаемости, лет;

IC – займы от третьих лиц (требуемые инвестиции), руб.

сформируем обобщённый критерий оценивания, основанный на базовой гипотезе метода DEA – максимизация результирующих параметров и минимизация характеристик, определяющих затраты ресурсов.

Исходя из этой идеи, в качестве результирующих показателей инновационного проекта выберем рентабельность проекта – *CP*, а в качестве затратных показателей выберем характеристики ресурсов – времени и денег: срок окупаемости – *PP*, общий объём финансирования (стоимость проекта) – *PV* и займы от третьих лиц (требуемые инвестиции) – *IC*.

Таким образом, первый обобщённый критерий имеет следующий вид:

$$(1) \quad f_1 = \frac{CP \cdot v_1}{PP \cdot v_2 + PV \cdot v_3 + IC \cdot v_4} \to \max,$$

где *CP, PP, PV, IC* – соответствующие локальные показатели проекта; $v_1 – v_4$ – весовые коэффициенты, определяющие вклад локального показателя эффективности в обобщённый критерий.

Стоит отметить, что на основе экспертной оценки были выбраны частные показатели, характеризующие только внутренние параметры проекта и не затрагивающие его внешнюю среду. Поэтому в качестве альтернативного варианта обобщённого критерия введём в постановку

(1) в явном виде параметр, характеризующий потенциальный объём товарного рынка, объём целевого рынка в стоимостном выражении – E.

В этом случае второй альтернативный критерий оценивания примет вид:

$$(2) \quad f_2 = \frac{CP \cdot v_1}{PP \cdot v_2 + PV \cdot v_3 + IC \cdot v_4} + E \cdot v_5 \rightarrow \max,$$

где *CP, PP, PV, IC, E* – соответствующие локальные показатели проекта; $v_1 – v_5$ – весовые коэффициенты, определяющие вклад локального показателя эффективности в обобщённый критерий.

Аналогичный подход к конструированию альтернативных обобщённых критериев эффективности был апробирован в работе [11].

3 Многокритериальное оценивание эффективности инновационных проектов

Далее, для апробации полученных критериев необходимо собрать информацию о количественных значениях локальных критериев конкретных инновационных проектов.

Численные значения локальных показателей возьмём из информационной базы по инновационным проектам, представленной на сайте технопарка «Жигулёвская долина» [12].

Результаты многокритериального оценивания – решения DEA-моделей по критериям 1 и 2 для всей совокупности анализируемых проектов представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Оценки системной эффективности инновационных проектов по функционалам f_1, f_2

№	Наименование инновационного проекта	Оценки системной эффективности	
		f_1	f_2
1.	Разработка дополнительного (нового) функционала к системе управления сайтом UMI.CMS (ООО «Брайт Студио» (Bright Studio))	1,0000	1,0000
2.	Облачное электронное предприятие на базе корпоративной информационной системы «ИЛАДА» (ООО «ИЛАДА»)	0,1452	0,1561
3.	Сервис по автоматизации внешнеэкономической деятельности предприятия KUPICHINA (ООО «НЕРУДОПТ»)	1,0000	1,0000
4.	Разработка автоматизированной информационной системы конфиденциального обмена юридически значимыми электронными документами с использованием электронной цифровой подписи «Signatura» («Криптэкс»)	1,0000	0,9962
5.	Разработка мультимедийной интерактивной системы «АвтоАкадемия-ТЛТ» для практико-ориентированного изучения технологии сборки и разборки, ремонта узлов и подсистем легкового автомобиля (ООО «ИН-НОВАТЕХСЕРВИС»)	0,0502	0,0502
6.	Разработка, исследование моделей поведения и алгоритмов управления коллективами транспортных роботов на основе подходов децентрализованного управления; создание программно-аппаратного обеспечения автоматизации транспортной инфраструктуры (ООО «ИННОВА-ТЕХСЕРВИС»)	$4{,}10\times10^{-08}$	0,0126
7.	Разработка и внедрение систем контроля за строительством на основе BIM технологий (ООО «Графика-Инжиниринг»)	0,2927	1,0000
8.	Разработка облачного сервиса для учета розничных продаж MyPoint (ООО «Решение»)	0,2002	0,0918
9.	Интерактивный облачный веб сервис для защиты производителей и потребителей от подделок и противодействия незаконному обороту продукции (ООО «Лаборатория Систем Идентификации»)	$8{,}30\times10^{-08}$	0,0125
10.	Электронный коммуникационно-финансовый сервис АйЖКХ.РФ (ООО «АйЖКХ»)	1,0000	1,0000
11.	Разработка, подготовка производства, экспериментальная апробация оборудования и программного обеспечения для оснащения многопрофильных учебных центров и учреждений образования (ООО «Научный консультационно-технологический центр «Пролог»)	0,0540	0,0555

№	Наименование инновационного проекта	Оценки системной эффективности	
		f_1	f_2
12.	Разработка и постановка на производство грузового малотоннажного электромобиля универсального назначения (ООО «Экомобиль»)	$3{,}13\times10^{-09}$	0,0015
13.	Разработка и создание вторичных химических источников тока с широким спектром возможного применения на основе свинцово-кислотной системы, сочетающих отдельные базовые преимущества стартерных, тяговых батарей и резервных источников тока (ООО «Аккумулятор инноваций»)	$1{,}11\times10^{-08}$	0,0009
14.	Разработка новых видов тары для автокомпонентов на основе уникального способа упаковки (ООО «ТАРА-СТРОЙ»)	0,0568	0,0577
15.	Разработка и запуск в производство кит-комплектов платформы CROSS 2WD, 4WD, обеспечивающих улучшение ходовых качеств автомобиля в широком диапазоне дорожных условий (ООО «Автопродукт»)	0,0129	0,0100
16.	Разработка платформы арктического коммерческого транспорта и конструкции арктического колесного транспортера для перевозок грузов 3-10 тонн (ООО «Ладуга»)	0,1114	0,1115
17.	Разработка, постановка на производство кабельных вводов нового поколения и высокотехнологичного оборудования для опасных производственных объектов (ООО «Энергопром-Инжиниринг»)	0,0628	0,0162
18.	Разработка и организация производства роторно-лопастного компрессора РЛК 4000 (ООО «РУССКИЕ МАШИНЫ»)	0,2002	0,2022
19.	Комплексные модификаторы для бетонных и строительных смесей (ООО «Модификатор»)	0,2206	0,2206
20.	Разработка линейки отечественных кофемашин оригинальной модульной конструкции (ООО «В.И.П.-ПАРТНЕР»)	0,3515	0,0750
21.	Разработка и создание мобильного комплекса для переработки автомобильных покрышек методом непрерывного термолиза (ООО «ЛТР-ЭКО»)	0,1336	0,1368
22.	Разработка системы постоянного мониторинга состояния тепловых сетей и локализации мест утоньшений и утечек в стенках трубопроводов (ООО «АйТи Юниверс»)	0,0872	0,0876
23.	Разработка и организация производства светодиодных фитосветильников для теплиничных хозяйств и оранжерей (ООО «Волжский светотехнический завод Луч»)	$7{,}30\times10^{-8}$	0,0353
24.	Разработка рецептуры и последующее производство на её основе многоцелевых пластичных смазок, обладающих высокими эксплуатационными характеристиками и исключительными противоизносными свойствами (ООО НПФ «ФОР-М-ТРАСТ»)	0,6760	0,3318
25.	Разработка и организация производства антифрикционных и противоизносных добавок к моторным маслам и смазкам «ФОРТОЛ», на основе ультрадисперсного политетрафторэтилена (ООО «ПРОММЕТЭКС»)	0,3601	0,3601
26.	Разработка ортезов на голеностопный сустав с увеличенным временем носки для реабилитации при нейро-ортопедических патологиях опорно-двигательного аппарата (ООО «ОРТОПЕДИЧЕСКАЯ МАСТЕРСКАЯ ПЕРВЫЙ ЛУЧ»)	0,4579	0,4606
27.	Разработка и внедрение уникальной технологии 100% переработки иловых осадков из очистных сооружений коммунальных стоков и производство на ее основе органо-бактериальных удобрений по требованиям ГОСТ Р (ООО «АгроПромСнаб»)	0,1340	0,1340
28.	Разработка и производство инновационных средств для сна и релаксации и материалов для их производства (ООО «САП»)	0,1402	0,1402

Для наглядности отобразим значения f_1, f_2 на графиках – рисунок 2.

Как видно из данных, представленных на графиках рисунка 2, проекты №№: 1, 3, 4 и 10 имеют максимальную оценку системной эффективности по первому функционалу f_1=1. Для проектов №1 и №4 максимальная оценка системной эффективности объясняется отсутствием потребностей в инвестициях, а проекты №3 и №10 имеют очень высокие значения рентабельности – 500% и 1024%, соответственно.

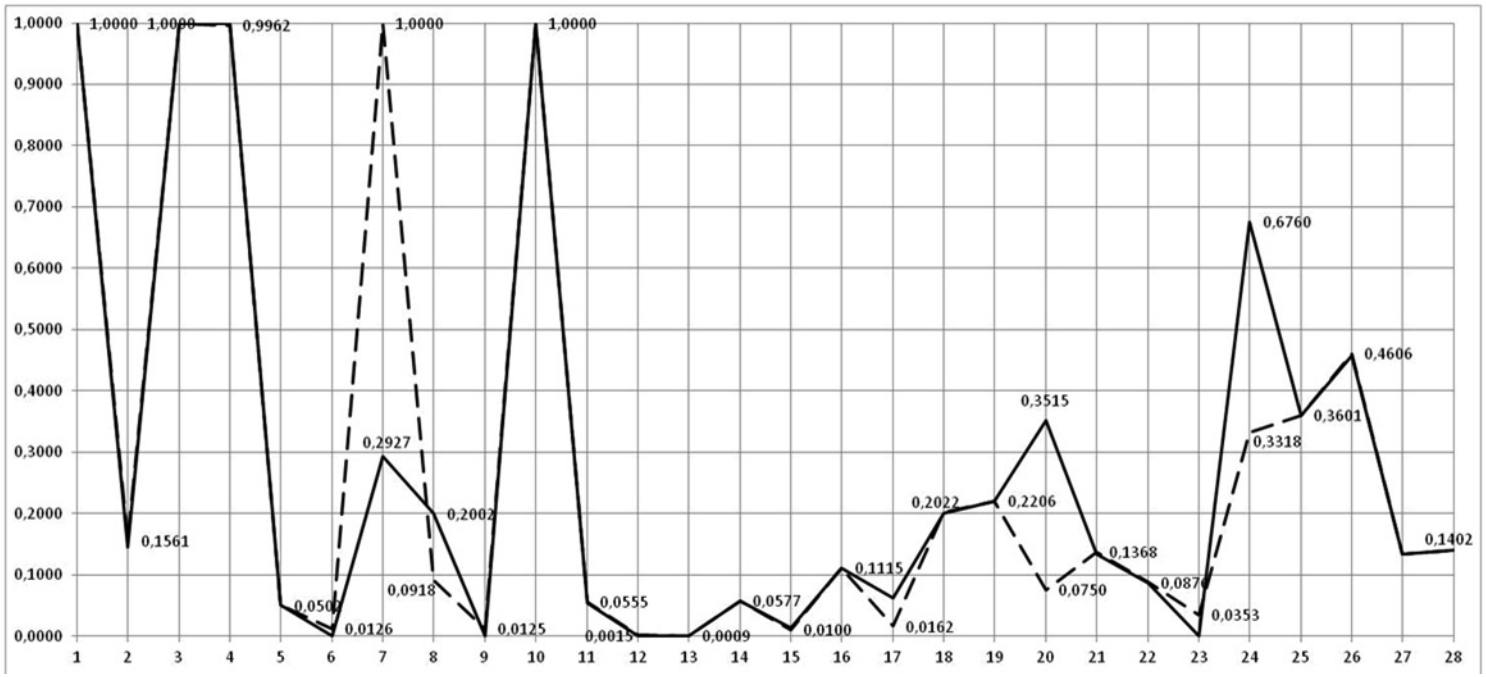


Рисунок 2 – Оценки системной эффективности инновационных проектов по функционалам (f_1 – сплошная линия, f_2 – пунктирная линия)

К средней группе эффективности по первому функционалу можно отнести проекты №№: 8, 18, 19, 7, 20, 25, 26 и 24 значения оценки системной эффективности f_1 находятся в интервале от 0,20 до 0,68, соответственно.

В группу с низкой эффективностью ($f_1 \in (0.05; 0.15)$) попали проекты №№: 5, 11, 14, 17, 22, 16, 21, 27, 28, 2.

Неэффективными можно признать шесть проектов №№: 15, 9, 23, 6, 13, 12 их оценка эффективности менее 1%.

При оценивании по второму функционалу только три проекта получили существенно иные оценки. Это проекты №№: 7, 20 и 24.

Проект № 7 получил максимальную оценку эффективности по второму функционалу, учитывающему внешний фактор – объём целевого рынка, для этого проекта рыночный потенциал оценён в максимальное значение из всей совокупности проектов – 8 трлн рублей, без учёта этого фактора проект обладает средней оценкой эффективности по функционалу f_1.

По функционалу f_2 проект №20 имеет оценку эффективности в 4,7 раза меньше (f_1=0,3515; f_2=0,0750), при относительно высоких объёмах целевого рынка этот проект имеет большой срок окупаемости и высокую первоначальную стоимость.

Проект №24 ухудшил свои оценки в два раза с f_1=0,6760 до f_2=0,3318 за счёт относительно низкого объема целевого рынка.

Следует отметить высокую корреляцию между оценками по критериям f_1 и f_2. Коэффициент корреляции между ними равен 0,89, что соответствует сильной положительной связи.

Для построения итоговой ранжировки проектов будем использовать оценки системной эффективности, полученные по обобщенному критерию f_2, так как он учитывает фактор внешней среды – рыночный потенциал.

На диаграмме, представленной на рисунке 3, отображено итоговое ранжирование проектов по убыванию оценок с выделением трёх групп эффективности.

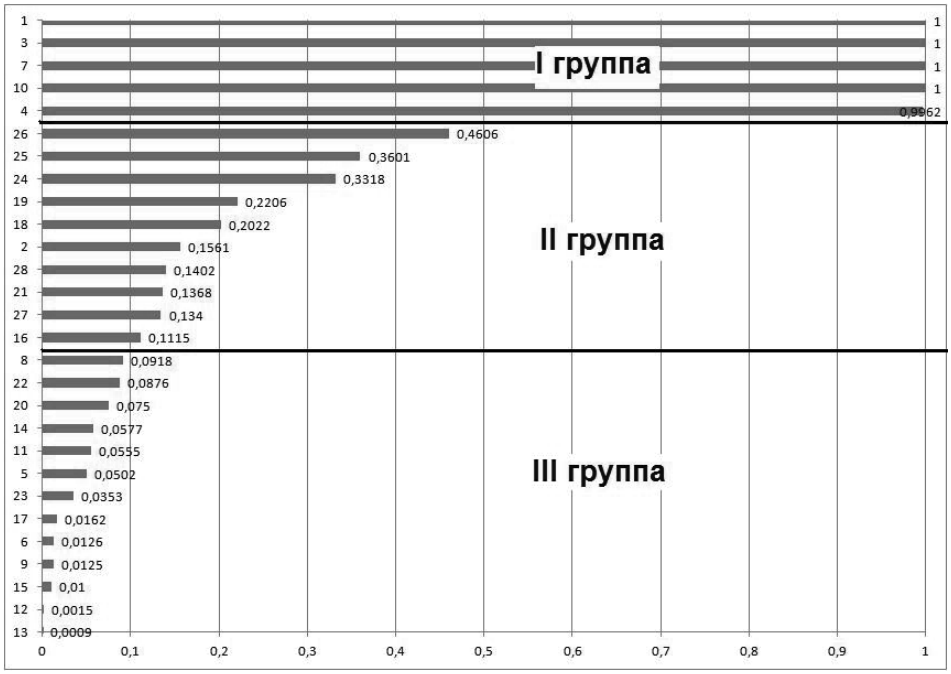


Рисунок 3 – Ранжировка проектов по значению системной эффективности функционала f_2

Как видно из данных, представленных на диаграмме рисунка 3, все анализируемые проекты можно разделить на три группы:

- в первую группу лидеров входят пять проектов №№: 1, 3, 7, 10, 4;
- вторую группу эффективности составляют 10 проектов №№: 26, 25, 24, 19, 18, 2, 28. 21, 27, 16 их оценки эффективности находятся в интервале от 0,46 до 0,11;
- третью неэффективную группу составляют 13 проектов №№: 8, 22, 20, 14, 11, 5, 23, 17, 6, 9, 15, 12, 13 их оценки эффективности менее 0,1.

Таким образом, решена задача синтеза критериев системной оценки эффективности инновационных проектов и их ранжирования. Получены конструктивные оценки значимости инновационных проектов экосистемы Самарской области, позволяющие определить приоритеты их реализации.

Заключение

Получив конструктивные результаты синтеза критериев и оценки системной эффективности инновационных проектов можно сформулировать основные выводы о принципах совместного использования методов экспертного и формального оценивания.

1) Использование экспертного метода оценки целесообразно на этапе синтеза альтернативных обобщённых критериев оценивания для отбора состава локальных показателей эффективности.
2) Для этих целей рационально применение метода анализа иерархий Томаса Саати, сильной стороной которого является возможность оценить качество работы экспертов – предложенных ими оценок значимости парных сравнений.
3) Возможно конструирование альтернативных обобщённых критериев, различающихся по виду и составу локальных показателей и отражающих разные качественные явления в инновационных проектах и экосистеме в целом.
4) Формальный метод многокритериального оценивания DEA позволяет реализовать процедуру свёртки локальных показателей эффективности для всего множества анализируемых проектов в соответствии с заданной структурой обобщённого критерия.
5) В методе DEA процедура свёртки локальных показателей основана на формировании выпуклого множества потенциально-оптимальных решений многокритериальной задачи в пространстве весов параметров для всего множества оцениваемых проектов.
6) Полученные на основе метода DEA оценки эффективности являются сравнительными характеристиками, показывающими приоритет конкретного проекта в общем множестве анализируемых проектов.
7) При проведении оценивания по различным функционалам на основе метода DEA важен рациональный подход к конструированию обобщённых критериев и анализ сопоставимости полученных результатов, например, на основе корреляционных зависимостей.
8) DEA-оценки эффективности позволяют ранжировать проекты по группам эффективности с целью определения их приоритетности.
9) Совместное применение экспертного и формального метода оценивания существенно увеличивает адекватность процедуры системной оценки эффективности.
10) Численная реализация алгоритмов этих методов в достаточной степени формализована и реализуема современными вычислительными средствами.

Список литературы

[1] Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий [Текст]. - М.: Радио и связь, 1993.

[2] Фаррел М. Измерение эффективности производства [Текст] // Журнал Королевского статистического общества, 1957, серия А, том 120, ч. III, – с. 253–281.

[3] Банкер Р., Чарнс А., Купер В. Некоторые модели для оценки технической и масштабной эффективности в Data Envelopment Analysis [Текст] // Менеджмент, 1984, том 30, № 9, – с. 1078–1092.

[4] Кривоножко В.Е., Пропой А.И., Сеньков Р.В., Родченков И.В., Анохин П.М. Анализ эффективности функционирования сложных систем // Автоматизация проектирования, №1, 1999. [Электронный ресурс]. [Режим доступа: http://www.osp.ru/ap/1999/01/02.htm].

[5] Цапенко М.В. Математическое моделирование и многокритериальное оценивание эффективности функционирования региональных производственно-экономических комплексов [Текст] // Диссертация на соискание учёной степени кандидата экономических наук, Самара, 2002.

[6] Цапенко М.В. Анализ решений модели многокритериальной оценки сравнительной эффективности [Текст] // Известия СНЦ РАН. Специальный выпуск «Управление организационно-экономическими системами: моделирование взаимодействий, принятие решений». – Самара: Изд-во. СНЦ РАН, 2006. – с. 97–103.

[7] Дилигенский Н.В., Цапенко М.В. Согласованное применение методов математического программирования и экспертного многокритериального оценивания эффективности // Стратегическое планирование и развитие предприятий. Секция 2. / Материалы Одиннадцатого всероссийского симпозиума. Москва, 13-14 апреля 2010 г. Под ред. чл.-корр. РАН Г.Б. Клейнера. – М.: ЦЭМИ РАН, 2010. – с. 73 – 74.

[8] Цапенко М.В., Боровик С.Ю., Кузнецов С.В., Кириллова Е.Н. Отчёт о научно-исследовательской работе «Системное ранжирование инновационных проектов экосистемы Самарской области» (промежуточный, первый этап – 2015 г., грант РФФИ 15-46-02135, договор с ассоциацией вузов «Самарский региональный научно-образовательный комплекс» №68/2015 от 9 октября 2015 г.) [Текст], Самара, 2015. – 53 с.

[9] Цапенко М.В., Боровик С.Ю., Кузнецов С.В., Кириллова Е.Н. Отчёт о научно-исследовательской работе «Системное ранжирование инновационных проектов экосистемы Самарской области» (промежуточный, второй этап – 2016 г., грант РФФИ 15-46-02135, договор с ассоциацией вузов «Самарский региональный научно-образовательный комплекс» №35/2016-РФФИ от 01 июня 2016 г.) [Текст], Самара, 2016. – 50 с.

[10] Цапенко М.В. Многокритериальное оценивание значимости показателей эффективности инновационных проектов [Текст] // РАН, СНЦ РАН, ИПУСС Труды XVIII Международной конференции «Проблемы управления и моделирования в сложных системах». Самара, 20 – 25 сентября 2016 г. (с. 72 – 84).

[11] Цапенко М.В., Кириллова Е.Н. Альтернативные обобщённые показатели оценки эффективности инновационных проектов в регионах России // Урал – XXI век: регион инновационного развития [Текст]: материалы II Междунар. науч.-практ. конф (Екатеринбург, 29−30 ноября 2017 г.) : [в 2 т.] / [отв. за вып. : Я. П. Силин, Е. Б. Дворядкина]; М-во образования и науки Рос. Федерации, Урал. гос. экон. ун-т. – Екатеринбург: Изд-во Урал. гос. экон. ун-та, 2017. – Т.1. (с. 219 – 224).

[12] Официальный сайт технопарка «Жигулёвская долина» [Электронный ресурс]. [Режим доступа: http://z-valley.cik63.ru/participants/projects].



Intellectual Technologies in Complex Systems

Интеллектуальные технологии в сложных системах

КОНЦЕПТУАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОСНОВНЫХ КОМПОНЕНТОВ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ УПРАВЛЕНИИ СЛОЖНЫМИ ОБЪЕКТАМИ НА ВСЕХ ЭТАПАХ ИХ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА

А.Д. Бахмут[1], В. Н. Коромысличенко[2], А.В. Крылов[3], М.Ю. Охтилев[3], П.А. Охтилев[3], Б.В. Соколов[3], А.В. Устинов[1], А.Э. Зянчурин[3]

[1]Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, 190000, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская 67, Россия
adbakhmut@gmail.com
[2]АО «НИО ЦИТ «Петрокомета», 190000, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская 67, Россия
koromislichenko@petrocometa.ru
[3]Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации РАН
199178, Санкт-Петербург, 14 линия, 39, Россия
pavel.oxt@mail.ru

Ключевые слова: *системы поддержки принятия решений, теория искусственного интеллекта, CASE-технологии, проектирование прикладного программного обеспечения.*

Abstract

Complex methods for conceptual modeling of the main components of intelligent decision support systems such as: models and methods for the integration and analysis of data and applications, a complex of distributed databases and data and knowledge warehouses, the development of user interfaces and organization of distributed computing as part of an intelligent informational and analytical platform are proposed in the article. The detailed substantiation of application of a new intellectual informational technology and its methods for informational modeling of functioning of complex objects in various subject areas for state and industrial purposes is given.

Введение

Опыт внедрения различных автоматизированных систем (АС) за последние десятилетия показывает, что корректное управление информационными потоками посредством автоматизации процессов в организациях и предприятиях позволяет существенно повысить эффективность их функционирования и обеспечить соответствие предъявляемым им требованиям. К таким АС можно отнести различные системы мониторинга состояния, поддержки принятия решений (СППР), управления, информационно-аналитические (ИАС), информационно-справочные системы (ИСС) и др., а также их иностранные аналоги - SCADA, ERP, MES, CAD, CALS, PLM, OLAP и др. [1]. При этом специфика многих предметных областей (ПрО) предполагает закреплять конечные решения за человеком - лицом, принимающим решения (ЛПР). В связи с этим, в настоящее время особую роль в таких ПрО играют именно СППР как системы, осуществляющие информационную и аналитическую поддержку ЛПР, а также предлагающие альтернативы решений. Однако, на сегодняшний день отсутствуют единые требования, единый подход к проектированию и не определен строго жизненный цикл (ЖЦ) разработки СППР, а также состав основных компонентов. Известно, что эмпирического неформализованного опыта специалистов ПрО зачастую достаточно, чтобы обеспечить требуемый уровень качества функционирования организаций. Эта особенность, с точки зрения научного метода, определяет возможность применения эвристических моделей и методов, ограниченных сферой своего применения и в то же время являющихся сравнительно простыми в проектировании по отношению к своим аналитическим "аналогам". В связи с этим, авторы данной работы пред-

полагают, что в СППР должны быть положены принципы и методы, позволяющие за счет формализации моделей осуществлять извлечение и представление знаний специалистов (экспертов ПрО), а также организовывать вычислительный процесс в ЭВМ на основе этих знаний. Иначе говоря, разработка современных СППР лежит в поле теории искусственного интеллекта (экспертных систем) и касается вопросов формирования баз знаний (БЗ) и данных (БД), решателя и систем общения для специалиста-проектировщика (инженера по знаниям) и конечного пользователя (КП).

1 ЖЦ разработки и предлагаемая методология проектирования СППР

Так как, в конечном счете, СППР представляет собой ППО, важным вопросом является формирование строго упорядоченной последовательности этапов ЖЦ разработки (проектирования) ППО для повышения эффективности этого процесса и качества его результата [4]. При этом, повышение требований к функционированию организаций и предприятий, многоаспектное усложнение СОТО требует в свою очередь наличия более сложных программных комплексов (ПК) СППР, которые необходимо поддерживать, масштабировать, модифицировать. В этих условиях наибольшего эффекта можно добиться, если каждый этап ЖЦ проектирования ППО и переходы между ними будут автоматизированы таким образом, чтобы на каждом из них можно было выделить формализованные в явном виде знания на машинно-интерпретируемых языках различной степени абстракции, начиная от формализации целей, задач, требований и описания ПрО и вплоть до схем организации вычислительного процесса. В настоящее время при разработке программного обеспечения зачастую используется международный стандарт программной инженерии ISO/IEC 12207, основанный на стандарте SWEBOK комитета Software Engineering Coordinating Committee [5, 6]. Согласно этому стандарту, технический этап разработки представлен в левом столбце таблицы 1.

На основе сформулированных выше положений авторами предлагается методология проектирования СППР, в основу которой положена система взаимосвязанных МПЗ и интегрированный решатель, реализация которых может быть названа интеллектуальной системой автоматизированного проектирования (ИСАП) ППО. Эта система ориентирована на автоматизацию разработки ППО на всех этапах его ЖЦ для повышения эффективности процесса разработки, обеспечения прогнозируемого уровня качества ППО и результатов его функционирования, обеспечения возможности проектирования и тиражирования комплексных БЗ без специальных навыков в программировании на языках высокого уровня, приближения ЯПЗ к естественным языкам для проектирования в терминах ПрО, автоматического синтеза ППО на основе сформированных для ПрО БЗ. Основные компоненты ИСАП ППО и их связь с ЖЦ разработки ППО, а также с требованиями к СППР и процессу их проектирования представлены в таблице 1.

Рассмотрим более подробно компоненты ИСАП ППО, связанные с концептуальным моделированием вычислительных задач, БД и запросов манипулирования данными, интерфейсов и распределения вычислений.

Таблица 1 – Соотношение этапов ЖЦ разработки ППО СППР, компонентов ИСАП ППО и требований, предъявляемых к ИСАП ППО

Этапы жизненного цикла разработки ППО и задачи в их рамках	Компоненты ИСАП ППО	Требования, предъявляемые к ИСАП ППО при проектировании СППР
Идентификация требований: Формулирование цели; Оценка требований; Согласование требований;	Онтологическая система: • Метаонтология (онтология проектирования информационно-аналитических систем), • Предметная онтология,	Обеспечение наличия формализованного общего специального словаря (тезауруса) ПрО, ориентированного на однозначно интерпретируемую систему взаимосвязанных понятий в рассматриваемой ПрО. Обеспечение наличия в явном виде дерева целей и задач, связанных с проектированием ППО.

Регистрация требований.	• Онтология задач, • Прикладная онтология ППО. МПЗ о составе и структуре информационных сущностей и акторов (автоматизируемых процессов, интеллектуальных агентов) ПрО;	
Спецификация требований: Выделение функциональных требований; Выделение требований к интерфейсам; Выделение требований по ограничениям; Выделение требований к моделям данных.	МПЗ бизнес-процессов; МПЗ вычислительных задач; Модель классной доски взаимодействия интеллектуальных агентов; МПЗ визуализации (интерфейсов); МПЗ сценариев поведения интерфейса; МПЗ онтологических запросов манипулирования данными; Алгоритм синтеза онтологии по существующей концептуальной схеме БД; МПЗ о составе и структуре технических средств; Модель управления распределением вычислительных процессов.	Рассмотрение СОТО как динамической системы в силу необходимости оценивания состояния СОТО по протекающим во времени процессам на протяжении всего его ЖЦ; Использование модельно-ориентированного подхода к проектированию ППО; Полимодельное представление СОТО в силу его децентрализованности, неоднородности процессов и информации; Использование методов имитационно-аналитического, структурно-функционального моделирования вычислительных задач в силу невозможности их решения строго аналитически; Использование известных нотаций при проектировании моделей ППО в целях облегчения процесса извлечения и представления знаний экспертов ПрО; Обеспечение ИСАП ППО языковыми средствами с визуальной нотацией, позволяющими проектировать модели интерфейсов и витрины данных, ориентированные на представление когнитивного образа объекта ПрО с учетом информационного контекста.
Создание архитектуры системы: Определение технических средств; Определение программных средств; Распределение (декомпозиция) компонентов и распределение требований по этим компонентам; Верификация архитектуры.		Возможность создания интегрированной БЗ для последующего тиражирования знаний в задачи других ПрО; Учет характеристик технических компонентов аппаратно-программного комплекса СППР на уровне проектирования моделей вычислительных задач; Возможность проектирования распределенной системы программных компонентов на основе единого модельного представления для децентрализованных СОТО; Возможность взаимодействия ППО с распределенной системой БД; Обеспечение явно определенного порядка взаимодействия программ интерфейса и программ, решающих вычислительные задачи.
Реализация: Определение функций; Определение интерфейсов; Определение ограничений; Определение моделей данных.	Интегрированный решатель, основанный на применении формальных грамматик для синтеза схем программ вычислительных задач, сценариев поведения интерфейсов, запросов манипулирования данными, распределения вычислений с формализмами раскрашенных сетей Петри; Интегрированная БЗ.	Возможность синтеза схем БД, схем программ решения вычислительных задач, интерфейсов, запросов манипулирования данными, распределения вычислений; Использование принципа "программирование без программирования" для автоматического синтеза схем программ ППО; Обеспечение получения результата функционирования в условиях недоопределенной и неполной информации; Нахождение результата анализа состояния СОТО за прогнозируемое время (функционирование исполнительной системы ИСАП в режиме реального времени); Использование принципа управления по данным, потоковых и параллельных вычислений для обеспечения инвариантности состояния объекта анализа в ПрО, характеризуемого естественным параллелизмом, и состояния вычислительного процесса.

Интеграция (комплексирование): Объединение реализованных компонентов в единую систему; Верификация интегрированной системы.	Обеспечивается сформированными на предыдущих этапах концептуальными моделями в соответствие с: МПЗ о составе и структуре информационных сущностей и акторов (автоматизируемых процессов); МПЗ онтологических запросов манипулирования данными; Алгоритмом синтеза онтологии по существующей концептуальной схеме БД; Моделью управления распределением вычислительных процессов.	Возможность формирования ЕИП на основе взаимосвязанного комплекса структурно-функциональных моделей со свойством интероперабельности, взаимосвязанных понятий словаря ПрО и единой среды проектирования; Возможность моделирования децентрализованных СОТО в едином представлении; Возможность динамического распределения вычислительных процессов по техническим компонентам аппаратно-программного комплекса в соответствие с семантикой задач в ПрО. Обеспечение единого представления гетерогенных информационных ресурсов в ПрО, в частности данных из выполненных по различным технологиям БД; На этапе исполнения возможность адаптации витрин данных под категории ЛПР и условия решаемых задач в соответствие с принципом управления по данным для упрощения процесса разработки многообразных витрин данных, характеризующих состояния подсистем и результатов решения задач, связанных с СОТО.
Тестирование: Верификация; Валидация.	Табло-алгоритмы проверки на полноту и непротиворечивость формируемых онтологий; Алгоритмы проверки на онтологическую выразительность концептуальных моделей информационных сущностей и акторов ПрО, бизнес-процессов. Алгоритмы проверки на полноту, замкнутость и непротиворечивость схем программ вычислительных задач, сценариев поведения интерфейсов, запросов манипулирования данными, распределения вычислений.	Ограничение языков представления знаний проектируемых концептуальных моделей понятиями, введенными в словаре ПрО; Обеспечение корректности и однозначности понятий словаря ПрО; Обеспечение автоматизации проверки моделей на полноту, замкнутость и непротиворечивость в целях автоматизации и упрощения этапа тестирования ППО СППР.
Документирование: Описание результатов процесса разработки на каждом из этапов ЖЦ.	Частично обеспечивается сформированными на предыдущих этапах концептуальными моделями с помощью ЯПЗ с визуальной нотацией.	Обеспечение возможности автоматического формирования части документации (технических заданий, программ и методик испытаний), связанной с демонстрацией схем архитектуры ППО, моделей взаимодействия с конечным пользователем, моделей решения вычислительных задач, моделей декомпозиции системы технических и программных средств.
Инсталляция: Установка ППО на автоматизированных рабочих местах.	Исполнительная система ИСАП ППО на автоматизированном рабочем месте.	Установкапрограммного продукта, удовлетворяющего заданным требованиям, в целевую среду применения.
Сопровождение ППО	Обеспечивается сформированной на предыдущих этапах системой взаимосвязанных концептуальных моделей и наличием интегрированной БЗ.	При необходимости масштабирования или модификации ППО (и аппаратных средств) методология проектирования должна позволять осуществлять перепроектирование без потери производительности и без привлечения дополнительных кадровых ресурсов.
Прекращение применения ППО	-	-

2 Моделирование предметной области (спецификация требований и архитектуры)

В основе этапа моделирования ПрО лежит положение о том, что ЖЦ разработки ППО начинается с формирования словаря ПрО [7]. В связи с этим в состав ИСАП ППО включены онтологии, как средство концептуализации ПрО. Онтологии позволяют аннотировать концептуальные модели ПрО, т.е. задавать ограничения на создаваемые сущности и их отношения. Это свойство позволяет верифицировать модели в автоматическом режиме с точки зрения их онтологической выразительности [8, 9]. В ИСАП ППО используется онтологическая система, позволяющая создавать взаимосвязанную расширяемую систему моделей, описывающих различные аспекты ПрО [10]. В качестве онтологии верхнего уровня была разработана модификация онтологии Бунге-Ванда-Вебера (БВВ-онтология, [9]) проектирования информационно-аналитических систем, в которой определены понятия, связанные с формированием концептуальных моделей:

- информационных сущностей и акторов (модели ПрО верхнего уровня). МПЗ, ориентированная на проектирование этих моделей, использует в рамках единой модификации нотации UML формализмы проектирования концептуальных схем БД ("сущность-связь"), а также представление мультиагентной системы (МАС), в основе которой лежит модель интеллектуального агента (ИА) К. Цетноровича, позже развитая Г.В. Рыбиной [11]. Проектирование модели информационных сущностей и акторов позволяет в едином представлении явно выделить структуру сущностей в ПрО, автоматизируемые процессы, цели и задачи на основе информации об акторах;
- бизнес-процессов. Использование нотации BPMN позволяет описывать потоковые параллельные асинхронные процессы, представляемые с помощью событий, задач и их взаимосвязей [12]. Каждая дорожка BPMN-модели является описанием функционирования интеллектуального агента.
- вычислительных задач. Используются при заданном ограничении в предположении, что любая задача в BPMN-модели является вычислительной в том смысле, что может быть представлена вычислительной моделью в терминах Тыугу Э.Х. В качестве МПЗ вычислительных задач использованы G-модели.

Таким образом, подобная система взаимосвязанных МПЗ позволяет извлечь и формализовать разнообразные знания экспертов ПрО на всех этапах ЖЦ проектирования ППО, что существенно облегчает процесс разработки, масштабирования и модификации ППО, повышает его качество, точность и достоверность результатов функционирования.

3 Концептуальное моделирование взаимодействия СППР с распределенным комплексом баз данных

Современные СОТО зачастую имеют в своём составе ряд информационных систем (ИС), каждая из которых связана с наличием своей БД. Совокупность таких БД хранит информацию, характеризующую состояние СОТО. В связи с этим, поскольку при проектировании СППР необходимо учитывать всю эту информацию для формирования альтернатив решений, модельно-алгоритмический комплекс ИСАП ППО должен включать в себя некоторую МПЗ, позволяющую проектировщику СППР решать задачу взаимодействия ППО с упомянутыми БД, т.е. задачу манипулирования данными. Для решения этой задачи методами концептуального моделирования необходимо предложить такой ЯПЗ о запросах к БД, который бы позволил в зависимости от особенностей ПрО, технологий доступа к БД и используемых моделей данных проектировать запросы к БД в терминах, доступных эксперту ПрО.

С учетом постановки задачи, использование таких традиционных подходов к решению данной задачи как ORM, ODBC и т.п.[13, 14] невозможно. В связи с этим, для решения указанной задачи авторы предлагают использовать онтологии, как средство аннотирования концептуальных моделей ПрО [15]. Важным свойством онтологического моделирования является

возможность формирования ЕИП, в рамках которого представляется реализуемой возможность обеспечить ИСАП ППО единым представлением при формировании запросов к БД. Для реализации указанного подхода должны быть реализованы алгоритмы, позволяющие в соответствие с известными моделями данных (реляционными, сетевыми, иерархическими и т.д.) по имеющимся концептуальным схемам БД сформировать их онтологии. Разработка языка онтологических запросов (ЯОЗ) позволит решить задачу проектирования концептуальных моделей манипулирования данными. ЯОЗ обеспечивает возможность формулировать декларативные запросы к онтологии в виде набора терминов ПрО и задаваемых ограничений к запрашиваемым данным, автоматически верифицировать модель посредством оценивания непротиворечивости заданной системы ограничений. Кроме того, должна быть обеспечена возможность автоматического синтеза схемы программы выполнения запроса [14, 16].

Таким образом, на основе использования МПЗ для формирования запросов и онтологического моделирования может быть задана методология проектирования онтолого-управляемых БД и запросов к ним.

4 Концептуальное моделирование процессов распределения вычислений в СППР

Современные СОТО, как правило, децентрализованы, а ЛПР в таких СОТО сталкиваются с необходимостью декомпозиции решаемых задач по их подсистемам, а также их перераспределением. Складывается ситуация, когда в процессе автоматизации оказывается, что задачи связаны, с одной стороны, в смысле порядка их решения в ПрО, а с другой, - что они должны быть разделены по компонентам аппаратно-программного комплекса. Эта противоречивая ситуация требует разработки компонента ИСАП ППО, обеспечивающего возможность проектирования распределенной системы программных компонентов на основе единого модельного представления с возможностью динамического распределения вычислительных процессов по техническим компонентам аппаратно-программного комплекса в соответствие с семантикой задач в ПрО. В основу этого компонента положена модель управления распределением вычислительных процессов (УРВП).

Модель УРВП описывает зависимость технических компонентов аппаратно-программного комплекса от моделей вычислительных задач. Для реализации такого описания в состав ИСАП ППО должна быть включена модель описания структуры и характеристик технических компонентов аппаратно-программного комплекса. Данная модель позволяет эксперту ПрО на этапе проектирования ППО задавать характеристики, описывающие логическую структуру, а также технические характеристики компонентов (вычислительная мощность, пропускная способность каналов связи и т.д.). На основе описания структуры и характеристик технических компонентов и метрических характеристик схем программ, синтезируемых из моделей вычислительных задач, необходимо выполнять поиск минимального разбиения графов схем программ с учётом структуры задач ПрО [17].

Введение указанных моделей в состав ИСАП ППО позволит на основе единого представления распределять и синхронизировать вычислительные процессы по решению задач в соответствие с их вычислительной сложностью, тем самым обеспечивая более эффективное функционирование распределенной СППР.

5 Концептуальное моделирование пользовательских интерфейсов СППР

Одной из актуальных задач в проектировании СППР является разработка пользовательских интерфейсов (ПИ), отражающих результаты оценивания состояния СОТО и сформированных для ЛПР рекомендаций. В связи со спецификой современных СОТО, состояние которых характеризуется большими объемами разнородной информации и, как следствие, трудно воспринимаемо ЛПР, возникает задача формирования инструментальных средств представления (визуализации) обобщенной, существенной и актуальной информации о состоянии СОТО

с целью повышения качества принимаемых ЛПР решений по сложившейся обстановке. В решении задачи проектирования ПИ предлагается взять за основу модельно-ориентированный подход, преимущества которого были обозначены выше.

В основу модельно-ориентированного подхода к проектированию ПИ должны быть положены ЯПЗ с визуальной нотацией, ориентированные на формирование моделей интерфейсов и сценарии поведения интерфейса, с помощью которых достигается возможность проектирования ПИ экспертом ПрО, а также возможность адаптации ПИ на этапе функционирования СППР под конечное множество ВД.

В целях адаптации состояния ПИ к различным задачам КП и появляющимся в потоковом режиме значениям параметров необходимо предоставить возможность проектирования сценарной БЗ, в которой определены схемы программ реконфигурации ПИ на основе заданного множества алгоритмов математических преобразований, ориентированных на программирование интерфейсов. Сценарии описываются «состояниями» и «действиями», где «состояние» в рассматриваемом случае связано с графическими элементами и представлено набором параметров, а действия представлены операторами, отражающими связи между параметрами. Разработка сценариев должна реализовываться на ЯПЗ, приближенным к естественным языкам [18, 19].

Необходимо осуществлять синтез схем программ ПИ, для чего за основу может быть взят формальный аппарат G-моделей в части использования формальных грамматик и в рассматриваемом случае реализации принципа инвариантности состояния вычислений задач и состояния ПИ [11].

Заключение

Таким образом, в статье рассмотрена проблема проектирования СППР и моделирования её основных компонентов. Вследствие отсутствия единых требований, единого подхода к проектированию СППР и её строго определенного ЖЦ предложена новая методология проектирования СППР, основанная на системе взаимосвязанных МПЗ, позволяющих проектировать концептуальные модели ПрО верхнего уровня, задающие структуру информационных сущностей, целей и задач, модели бизнес-процессов, вычислительных задач, интерфейсов, манипулирования данными и распределения вычислений. Набор моделей определен в соответствие с требованиями, предъявляемыми к СППР в современных СОТО. Использование разнородных МПЗ определило возможность формирования интегрированной БЗ, содержащей знания о различных аспектах функционирования СОТО и формирования альтернатив решений.

Благодарности

Исследования, выполненные по данной тематике, проводились при финансовой поддержке ведущих университетов Российской Федерации: СПб ГПУ (мероприятие 6.1.1), ИТМО (субсидия 074–U01), грантов РФФИ (№№ 18-29-03188, 16-07-00779, 16-08-00510, 16-08-01277, 16-29-09482-офи-м, 17-08-00797, 17-06-00108, 17-01-00139, 17-20-01214, 17-29-07073- офи-м, 18-07-01272, 18-08-01505), госзадания Министерства образования и науки РФ №2.3135.2017/4.6, в рамках бюджетной темы №№0073–2018–0003, Международного проекта ERASMUS +, Capacity building in higher education, № 73751-EPP-1-2016-1-DE-EPPKA2-CBHE-JP, Новые стратегии обучения инженеров с использованием сред визуального моделирования и открытых учебных платформ.

Список литературы

[1] Погорелов В.И. Система и её жизненный цикл: введение в CALS-технологии: учебное пособие / В.И. Погорелов; Балт. Гос. Техн. Ун-т. – СПб., 2010. -182 с. ISBN 978-5-855-46-581-5

[2] Соловьев И.В. Общие принципы управления сложной организационно-технической системой // Перспективы науки и образования. 2014 г. №2 (8). https://pnojournal.wordpress.com. С. 21 – 27. ISSN 2307-2447

[3] М. Ю. Охтилев, Н. Г. Мустафин, В. Е. Миллер, Б. В. Соколов. Теоретические основы проактивного управления сложными объектами // ИЗВ. ВУЗОВ. ПРИБОРОСТРОЕНИЕ. 2014. Т. 57, № 11. С.7-15.

[4] Орлов С. А., Цилькер Б. Я. Технологии разработки программного обеспечения: Учебник для вузов. 4.е изд. Стандарт третьего поколения. - СПб.: Питер, 2012. ¬ 608 С.: ил.ISBN 978-5-459-011 01-2

[5] ГОСТ Р ИСО/МЭК 12207-2010. Информационная технология (ИТ). Системная и прикладная инженерия. Процессы жизненного цикла программных средств.

[6] ISO/IEC 12207:2008. System and software engeneering - Software life cycle processes.

[7] Когаловский М.Р. Системы доступа к данным, основанные на онтологиях // Программирование. Институт проблем рынка РАН, 2012, №4. с. 55–77

[8] Федоров И.Г. Адаптация онтологии Бунге–Ванда–Вебера к описанию исполняемых моделей бизнес-процессов // Прикладная информатика, Том 10, №4 (58), 2015. С.82-92

[9] Gehlert A., Pfeiffer D., Becker J. The BWW-Model as Method Engineering Theory // Americas Conference on Information Systems (AMCIS). AMCIS 2007 Proceedings, 83, 2007. Интернет-ресурс: http://aisel.aisnet.org (дата обращения: 29.01.2018)

[10] Гаврилова Т. А., Кудрявцев Д. В., Муромцев Д. И. Инженерия знаний. Модели и методы: Учебник. — СПб.: Издательство «Лань», 2016. — 324 с.: ил. — (Учебники для вузов. Специальная литература). ISBN 978-5-8114-2128-2

[11] Рыбина Г.В., Паронджанов С.С. Моделирование процессов взаимодействия интеллектуальных агентов в многоагентных системах // Искусственный интеллект и принятие решений, №3, 2008. С.3-15.

[12] Business Process Model and Notation (BPMN). Version 2.0.2. OMGDocumentNumber: for-mal/2013-12-09[Электронныйресурс]. URL: www.omg.org/spec/BPMN (датаобращения 31.10.2017) С. 532

[13] Halpin T. Information Modeling and Relational Databases: From Conceptual Analysis toLogical Design. MorganKaufmann, 2001. 792 p.

[14] Дейт К. Дж.Введение в системы баз данных, 8-е издание.: Пер. с англ. — М.: Издатель-скийдом "Вильяме", 2005. — 1328 с.: ил.ISBN 5-8459-0788-8

[15] Боргест, Н.М. Онтология проектирования: теоретические основы. Часть 1. Понятия и принципы. Учеб. пособие. / Н.М. Боргест - Самара: Изд-во СГАУ, 2010. — 92 с.

[16] Грей П. Логика, алгебра и базы данных / Пер. с англ. Х. И. Килова, Г.Е. Минца; Под. Редю Г.В. Орловского, А.О. Слисенко. – М.: Машиностроение, 1989. – 368 с.: ил. ISBN 5-217-00178-X

[17] Schloegel K. Graph Partitioninng for High Performance Scientific Simulations. Minneapolis, Minnesota: Dept. of Computer Science and Engineering, University of Minnesota, 2000. 39p.

[18] Малышев А. В., Городецкий В. И., Карсаев О. В., Самойлов В. В., Тихомиров В. В., Маньков Е. В.Многоагентная система для разрешения конфликтных ситуаций в воздушном пространстве // Труды СПИИРАН. Вып. 3, т. 1. — СПб.: Наука, 2006.

[19] Городецкий В. И., Троицкий Д. В. Сценарная модель и язык описания знаний для оценки и прогнозирования ситуаций // Труды СПИИРАН. –СПб: ФГБУ СПИИРАН, №8, 2009. С.93-127.

ОБЗОР СОСТОЯНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ ЗАДАЧ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ УПРАВЛЕНИИ СЛОЖНЫМИ ОБЪЕКТАМИ НА ВСЕХ ЭТАПАХ ИХ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА

А.Д. Бахмут[1], В. Н. Коромысличенко[2], А.В. Крылов[3], М.Ю. Охтилев[3], П.А. Охтилев[3], Б.В. Соколов[3], А.В. Устинов[1], А.Э. Зянчурин[3]

[1]Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, 190000, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская 67, Россия
adbakhmut@gmail.com
[2]АО «НИО ЦИТ «Петрокомета», 190000, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская 67, Россия
koromislichenko@petrocometa.ru
[3]Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации РАН
199178, Санкт-Петербург, 14 линия, 39, Россия
pavel.oxt@mail.ru

Ключевые слова: *системный анализ, системы поддержки принятия решений, теория искусственного интеллекта, CASE-технологии, проектирование прикладного программного обеспечения.*

Abstract
The problem of complex automation of collecting, integrating, processing and analysis of different information about processes in distributed complex objects at all stages of its life cycle is considered in the article. The analysis has shown that existing approaches, methods and technologies of integration and analysis of data and applications, distributed databases and data and knowledge warehouses, the development of user interfaces and the organization of distributed computing do not fully meet the modern requirements of organizations and enterprises in the task of introducing advanced information technologies with the purpose of increasing the efficiency of their functioning and the quality of manufactured products. Also, conclusions of the problem are given, which allow to talk about the need of the development of new approaches, methods and technologies for the automated development of intelligent decision support systems for managing complex objects at all stages of its life cycle.

Введение

Необходимость использования и внедрения информационно-аналитической платформы для решения задач проектирования и эксплуатации систем поддержки принятия решений (СППР) продиктована неудовлетворительным состоянием внедрения передовых информационных технологий в областях государственного и промышленного управления по следующим основным причинам: отсутствие единого подхода к информационному моделированию сложных организационно-технических объектов (СОТО); отсутствие единого информационного пространства существующих в современных СОТО автоматизированных систем, единых форматов и технологий обработки информации, единой сети передачи данных, единых корпоративных хранилищ данных; наличие разнородных, несовместимых информационных систем, функционирующих на различных программно-аппаратных платформах; отсутствие единых механизмов контроля за полнотой, достоверностью, целостностью используемой при СОТО разнородной информации; отсутствие регламентов информационного взаимодействия информационных систем, систем мониторинга и управления; недостаточный уровень использования современных информационных технологий.

1 Интеграция и анализ данных в СППР

На современном уровне развития промышленной и государственной кооперации отсутствие единого комплекса стандартов «электронного описания» различных этапов жизненного цикла (ЖЦ), обеспечивающих информационное взаимодействие электронных технологий (в рамках одной организации или «виртуального» объединения организаций), приводит к значительным издержкам в процессах проектирования, подготовки производства, изготовления и эксплуатации продукции. Эти издержки западными аналитиками оцениваются, например, в масштабах промышленности США, в десятки миллиардов долларов в год [1].

Наличие подобных издержек связано с тем, что поведение систем организационно-технического управления зачастую не согласовано с точки зрения лиц, принимающих решения, на уровне автоматизированного информационного обмена, результаты обработки информации на различных этапах ЖЦ несопоставимы, а также отсутствуют общие принципы и правила, затрудняющие возможность тиражировать обобщенный опыт экспертов предметной области в виде соответствующих баз данных и знаний, что, в частности, приводит к необходимости подготовки и содержания узкоспециализированных специалистов, ориентированных на решение задач в рамках частных информационных систем. Таким образом, можно говорить об отсутствии согласованного функционирования различных автоматизированных систем, существующих в рамках организаций и предприятий.

Вопрос интеграции и анализа данных подобных систем рассматривается в области исследований, называемой Business Intelligence (BI) [2, 3,4, 5]. В рамках данного направления также разрабатываются системы оперативной аналитической обработки (OLAP-системы), системы оперативной обработки транзакций (OLTP), а также системы управления ЖЦ изделий (PLM-системы), выступающие как интегрирующие платформы для существующих в СОТО автоматизированных систем. Лидерами на рынке PLM являются Teamcenter (SiemensPLMSoftware), AgilePLM (Oracle), решения от DassaultSystemes. Данные решения являются дорогостоящими и сложно адаптируемыми, поэтому область их внедрения ограничивается на сегодняшний день крупными предприятиями и концернами. Следует отметить, что указанные системы являются проприетарными программными продуктами, технологические и методологические решения которых (модели, методы, алгоритмы) не раскрываются. Кроме того, внедрение указанных систем связано с необходимостью регулярных выплат лицензионных отчислений зарубежным компаниям за использование, техническую поддержку, расширение и адаптацию функционального наполнения прикладных решений под задачи отечественных организаций и предприятий.

Важным элементом создания СППР, ориентированных на информационно-аналитическую поддержку ЖЦ организаций и их изделий, являются CALS-технологии. CALS-технологии представляют собой современную организацию процессов разработки, производства, послепродажного сервиса, эксплуатации изделий путем информационной поддержки процессов их ЖЦ на основе стандартизации методов представления данных на каждой стадии ЖЦ и безбумажного электронного обмена данными [6]. При этом программные продукты, основанные на CALS-технологиях, являются комплексными автоматизированными системами в соответствие с ГОСТ 34.003-90 и должны предоставлять лингвистическое, информационное, математическое, программное, методическое и техническое обеспечение. Предполагается, что достижение существенных результатов от внедрения CALS возможно благодаря системе стандартов, к которым относятся стандарты функционального моделирования IDEF, стандарт структур, конфигурации изделий STEP, стандарт форматов данных PLIB и др. Важным элементом CALS является электронное описание изделия EPD (являющееся в перспективе «цифровым двойником», инвариантным по своему состоянию реальному объекту) [7]. В соответствие с международным стандартом STEP, описание информационных моделей подсистем и их взаимодействия в организациях и предприятиях предлагается проводить с помощью визуального языка Express [8]. Отметим, что описание функционального взаимодействия на языке

Express по синтаксису находится близко к языкам программирования высокого уровня, что снижает возможности проектирования таких систем прикладными специалистами (экспертами) предметной области.

2 Взаимодействие СППР с комплексом распределенных БД

Другим важным вопросом является проектирование комплекса распределенных баз и банков данных для множества информационных систем в составе организаций. Использование баз и банков данных позволяют хранить в структурированном виде большие объемы информации, характеризующие состояние СОТО на всех этапах их ЖЦ, а также осуществлять контроль целостности, избыточности и непротиворечивости хранимой информации. При этом, в составе системы интеграции могу присутствовать различные по своей структуре модели данных. Современные подходы к проектированию распределённых баз данных предполагают, что проектирование начинается с синтеза концептуальной схемы базы данных. Важным свойством концептуальных схем является возможность описания структуры сущностей предметной области независимо от используемых моделей данных и конкретных технологических решений. При этом проектирование баз и банков данных на основе концептуальных схем не обеспечивает возможность проектировать, наполнять и взаимодействовать с базами данных в терминах предметной области, что обеспечило бы возможность проектирования систем непосредственно экспертами на доступном им тезаурусе.

Взаимодействие с комплексом баз и банков банных неразрывно связано с задачей разработки методов манипулирования данными, т.е. моделированием процессов получения, записи, удаления и изменения данных в комплексе распределенных баз данных для интеграции информации из них. При этом необходимо учитывать, что модели данных, задействованные в информационном поле организаций, могут отличаться. Эта задача предполагает использование соответствующих требованиям проектов языков манипулирования данными.

Для унификации доступа к базам данных компанией Microsoft была разработана технология ODBC (OpenDatabaseConnectivity) [9]. ODBC позволяет обеспечить доступ к данным из различных источников на основе стандартизованных протоколов: базы данных, файловые хранилища, электронные таблицы, электронная почта, системы документооборота и др. С одной стороны, это является значительным преимуществом в рамках задачи моделирования процессов манипулирования данными из гетерогенных источников, с другой - применение технологии ODBC ограничено только терминами языков программирования высокого уровня, что значительно затрудняет использование данной технологии экспертами.

Для унификации проектирования и представления в единой терминологической системе понятий предметной области, задействованных в различных информационных системах, используемых в организациях, могут быть использованы онтологии для формирования концептуальных моделей предметной области. При этом под онтологией понимается точная спецификация концептуализации, т.е. структуры реальности, рассматриваемой независимо от словаря предметной области конкретной ситуации [10]. Применение онтологического подхода позволяет повысить уровень гносеологического представления знаний о предметной области, что обеспечивает возможность проектирования и наполнения баз данных и знаний в терминах, понятных эксперту. При этом появляется возможность автоматизированной верификации закладываемых экспертом знаний. Применение данного подхода позволяет значительно снизить когнитивные искажения, появляющиеся вследствие необходимости передачи знаний от эксперта к программисту при использовании современных подходов к разработке информационных систем [11, 12]. Отметим, что применение онтологического подхода на сегодняшний день ориентировано на описание предметной области только в задачах проектирования баз данных, при этом принципиально возможно использование онтологий для моделирования функциональных отношений между сущностями предметной области. Известно, что онтологии позволяют решать проблему моделирования распределённых информационных ресурсов в цифровом пространстве предметной области благодаря возможности представления их в рамках единой системы понятий, что принципиально обеспечивает возможность создания единого информационного пространства [13]. Применение онтологических языков запросов позволяют эксперту описывать процессы манипулирования данными в терминах предметной области.

Широкое распространение получили следующие языки описания онтологий: Ontolingua, CycL, OKBC, OCML, F-Logic, RDF, OWL, OIL [14, 15, 16].

Таким образом, существующие подходы и методы проектирования систем интеграции гетерогенной информации из распределённых источников затрудняют решение задачи автоматизированного проектирования интегрированных моделей распределенных баз и банков данных, а также моделей процессов манипулирования данными в терминах предметной области непосредственно экспертами. Ввиду этого, необходимо разработать принципиально новую технологию, основанную на методах теории искусственного интеллекта с применением онтологического подхода, моделей представления знаний, языков концептуального моделирования, ориентированных на задачу интеграции данных.

Также получила широкое распространение в рамках задачи моделирования интеллектуальных систем интеграции и анализа информации из распределённых источников данных теория мультиагентных систем [17, 18]. Важно, что суть теории мультиагентных систем сводится к взаимодействию распределенных интеллектуальных автономных агентов, решающих частные задачи и обладающих лишь нужной частью информации о состоянии объектов, явлений и процессов в предметной области. Это свойство отвечает требованиям моделирования и унифицированного представления разнородных информационных ресурсов, данные из которых составляют цифровое пространство организаций и их изделий. Таким образом, применение мультиагентных систем и их моделирование может существенно повысить удобство проектирования прикладного программного обеспечения рассматриваемых СППР с опорой на сервис-ориентированную архитектуру.

3 Проектирование пользовательских интерфейсов СППР

Одним из важных аспектов проектирования автоматизированной СППР является проектирование пользовательского интерфейса, поскольку именно интерфейс является средством взаимодействия конечного пользователя с автоматизированной системой. Таким образом, состав, структура, информационное содержание и функциональное наполнение пользовательского интерфейса определяют степень эффективности взаимодействия и полезность всей системы в целом для лиц, принимающих решения. Как известно, состояние организаций и их изделий характеризуется большими объемами информации. Большие объемы разнородной, быстроизменяющейся информации, достаточно трудно представить в формате целостного образа, по которому можно оценить состояние СОТО. Современные подходы к проектированию пользовательских интерфейсов затрудняют возможность отображения целостного информационного облика СОТО (процессов и явлений в нем) из-за их ориентации на непосредственное связывание значений параметров в вычислительном процессе и элементов интерфейса, что приводит к необходимости компоновать множество элементов пользовательского интерфейса в единую сложную структуру из-за большого количества параметров. Лицу, принимающему решение, сложно ориентироваться в множестве таблиц, диаграмм, графиков и многих других сложно структурированных перегруженных информацией элементах пользовательского интерфейса в условиях ограниченного времени на принятие решения по управлению, что сказывается на качестве и последствиях, принимаемых этим лицом решений. Учитывая, что объемы обрабатываемой информации в организациях будут и далее увеличиваться, необходимо предъявлять новые требования и разрабатывать новые подходы к проектированию пользовательских интерфейсов [19].

Одной из современных проблем пользовательских интерфейсов является отсутствие единых методов, подходов и недостаточная проработанность единых стандартов к их проектированию. Кроме вопросов стандартизации проектирования пользовательских интерфейсов существуют проблемы, связанные с отсутствием соответствующего модельно-алгоритмического, информационного, технического и технологического обеспечения по разработке пользовательских интерфейсов. В последнее время наблюдается рост числа работ на тему реализации принципа адаптивности пользовательских интерфейсов. Под адаптивностью пользовательского интерфейса будем понимать процесс целенаправленного изменения формы и содержания пользовательского интерфейса, происходящий по определенным правилам обработки информации [20]. Например, в работе [21] предлагается подход к реализации принципа адаптивности пользовательского интерфейса на основе информации, хранящейся в реляционной базе

данных. Согласно [22] адаптация пользовательского интерфейса визуальных схем баз данных происходит на основе предыдущих запросов конечного пользователя, что значительно ограничивает набор поведенческих шаблонов пользовательского интерфейса. В отечественной науке также наблюдается интерес к реализации принципов адаптивности пользовательских интерфейсов [23]. Однако, представленные научные методы актуальны для другой предметной области и требуют проведения дополнительных исследований на предмет возможности применения для рассматриваемой задачи.

Таким образом, рассмотренные подходы позволяют заключить, что существующие подходы к проектированию пользовательских интерфейсов автоматизированных СППР имеют ряд недостатков относительно предъявляемых требований. Во-первых, существующие стандарты по проектированию пользовательских интерфейсов не отвечают современным тенденциям развития цифровой экономики («цифровые двойники», 3D-модели, динамические витрины данных и др.). Во-вторых, традиционные технологии, используемые в разработке пользовательских интерфейсов, требуют привлечения нескольких специалистов, что приводит к усложнению процесса проектирования, к временным и финансовым издержкам. В-третьих, недостаточно исследован процесс формирования средствами пользовательского интерфейса целостного образа состояния СОТО для лиц, принимающих решений. В связи с этим, решение задачи проектирования пользовательских интерфейсов автоматизированных СППР должно предполагать разработку новых моделей, алгоритмов и требований, которые будут направлены на упрощение процесса проектирования пользовательских интерфейсов, что позволит эксперту в конкретной предметной области разработать пользовательский интерфейс на концептуальном языке в понятных для него терминах. Данный подход позволит точнее сформировать целостный образ СОТО и более наглядно представить его средствами пользовательского интерфейса, что повысит эффективность взаимодействия автоматизированных систем с лицами, принимающими решения.

4 Организация распределенных вычислений в СППР

При проектировании СППР, связанным с СОТО, необходимо уделять внимание моделям и методам организации распределенных вычислений. Это связано с территориальной удаленностью источников информации и/или большого объёма данных, анализ которых невозможен при централизованном подходе. При этом важным моментом является обеспечение доступного и наглядного метода проектирования прикладного программного обеспечения СППР для распределенных информационных систем, существующих в организациях, предоставляющего возможности организации распределенных вычислительных процессов, изменения архитектурных решений хода вычислений с целью оптимального использования вычислительных ресурсов.

Обзор существующих технологических решений в задачах организации распределенных вычислений [24] показывает, что перспективным является направление, связанное с применением технологий распределенных вычислений для решения ресурсоемких задач в различных предметных областях: управлении и оценивании состояний СОТО в сфере промышленного и государственного управления, в ракетно-космической отрасли, в медицине, инженерном проектировании, нанотехнологиях, прогнозировании климата и др. Вычислительные задачи в этих предметных областях зачастую предполагают необходимость наличия потоковой структуры вычислений и могут быть описаны с помощью моделей потоков работ, в соответствии с которыми вычислительные процессы представляются в виде ориентированного ациклического графа, узлами которого являются частные задачи, а дуги соответствуют потокам данных, передаваемым между узлами. При этом набор задач является конечным и считается предопределенным. Проблемно-ориентированная специфика потоков работ в подобных сложных приложениях выражается в том, что в подавляющем большинстве случаев еще до исполнения вычислительных процессов для каждой задачи могут быть получены оценки таких качественных характеристик, как время выполнения задачи на одном процессорном ядре, пределы масштабируемости и объем генерируемых данных. Использование подобных знаний о специфике задач в конкретной проблемно-ориентированной области может существенно повысить эффективность управления вычислительными ресурсами [25]. Такой подход позволяет решать задачи обработки данных в реальном масштабе времени и, соответственно, обеспечивать по-

лучение решений задач за прогнозируемое время, что может быть существенно для некоторых предметных областей. Большое внимание уделяется развитию стандартов для обмена данными в распределенной вычислительной сети [26]. В то же время широкое развитие получили инструментальные средства с открытым исходным кодом, позволяющие организовать как распределенное хранение, так и распределенную обработку данных. Среди них можно выделить различные NoSQL базы данных [27], такие как Tarantool [28], Cassandra [29], программный комплекс распределенного выполнения программ Hadoop [30], программный комплекс потоковой обработки данных Spark [31] и многие др. Многие из них широко применяются при создании информационно-аналитических систем.

Исходя из анализа существующих подходов к организации распределенных вычислений, можно сделать вывод о наличии разнообразных моделей, методов и технологий организации распределенных вычислений, позволяющих объединять, анализировать и хранить в едином информационном пространстве данные из различных источников. Однако, на сегодняшний день не представлено комплексных решений, методов и алгоритмов, позволяющих экспертам предметной области эффективно разрабатывать прикладное программное обеспечение, которое могло бы функционировать в распределенной вычислительной сети, без привлечения дополнительных специалистов к решению задач организации распределенных вычислений. Исходя из текущего состояния исследований в этой области, можно сделать вывод о необходимости разработки моделей и методов организации распределенных вычислений для использования в проектировании архитектур вычислительных процессов в интеллектуальных информационно-аналитических системах, обеспечивающих обработку и анализ информации о состоянии СОТО.

Заключение

Можно отметить, что существующие подходы, платформы и инструментальные средства не предоставляют комплексных интеграционных решений оперативной информационно-аналитической поддержки организаций и их изделий, поддержки принятия решений в цифровом пространстве, ориентированных на возможность автоматизированного проектирования прикладного программного обеспечения непосредственно экспертами предметной области без привлечения профессиональных программистов.

Благодарности

Исследования, выполненные по данной тематике, проводились при финансовой поддержке ведущих университетов Российской Федерации: СПб ГПУ (мероприятие 6.1.1), ИТМО (субсидия 074–U01), грантов РФФИ (№№ 18-29-03188, 16-07-00779, 16-08-00510, 16-08-01277, 16-29-09482-офи-м, 17-08-00797, 17-06-00108, 17-01-00139, 17-20-01214, 17-29-07073- офи-м, 18-07-01272, 18-08-01505), госзадания Министерства образования и науки РФ №2.3135.2017/4.6, в рамках бюджетной темы №№0073–2018–0003, Международного проекта ERASMUS +, Capacity building in higher education, № 73751-EPP-1-2016-1-DE-EPPKA2-CBHE-JP, Новые стратегии обучения инженеров с использованием сред визуального моделирования и открытых учебных платформ

Список литературы

[1] Попов О.Р., Увайсов С.У. CALS Современные технологии управления жизненным циклом продукта // Труды международного симпозиума «Надежность и качество», 2012
[2] J.Calof, G. Richards, J.Smith Foresight, Competitive Intelligence and Business Analytics — Tools for Making Industrial Programmes More Efficient // Forsite, Vol.9 №1, 2015. pp.68-81.
[3] RasmeyHeangandRaghulMohan. Literature review of business intelligence. P.1-10
[4] Wixom, B. andWatson, H. 2010. The BI-Based Organization. International Journal of Business Intelligence Research, Vol. 1(1), pp.12-24.
[5] Дмитриева Е.О. // Инструменты bi для поддержки принятия решений для руководителей высшего и среднего уровней с помощью решения SAS (опыт ВТБ24) // Вестник университета, №6. – М.: ГУУ, 2017. С.10-14

[6] Погорелов В.И. Система и её жизненный цикл: введение в CALS-технологии. Балт. гос. техн. ун-т. – СПб., 2010. 182 с.
[7] Бурлуцкий С.Г., В.В. Езерский, И.А. Хахаев Электронный паспорт как снова информационного обеспечения автоматизированных систем поддержки приятия решений // Информационно-управляющие системы, №1, 2015. С.100-104
[8] ISO 10303-11:2004. The EXPRESS language reference manual. Internet resource: www.iso.org. Date of access: 22.03.2018
[9] Шибанов С.В., Горин А.А. Программные интерфейсы баз данных: от пассивных запросов к активному взаимодействию // Надежность и качество: тр. Междунар. симп.: в 2 т. -Пенза: Изд-во ПГУ, 2011. -Т. 1. -С. 266-267
[10] Боргест, Н.М. Онтология проектирования: теоретические основы. Часть 1. Понятия и принципы. Учеб. пособие. / Н.М. Боргест - Самара: Изд-во СГАУ, 2010. — 92 с.
[11] VicenteGarcíaDíazProgressionsandInnovationsinModel-DrivenSoftwareEngineering 1 edition. IGIGlobalpubl. 2013. 388p.
[12] Когаловский М.Р. Системы доступа к данным, основанные на онтологиях // Программирование. 2012. Т. 38. № 4. С. 55-77.
[13] Бездушный А. Н. и др. Интегрированная система информационных ресурсов РАН и технология разработки цифровых библиотек / А.Н. Бездушный, А.Б. Жижченко, М.В. Кулагин, В.А. Серебряков / Программирование. ¬ 2000. ¬ №4. ¬ С. 3¬14.
[14] OWLWebOntologyLanguage.Overview. W3CRecommendation, 27 October 2009, Internetresource: www.w3.org
[15] Resourcedescriptionframework: conceptsandabstractsyntax. W3C Recommendation, 25 February 2014, Internet resource: www.w3.org
[16] D Fensel, F Van Harmelen, I Horrocks OIL: An ontology infrastructure for the semantic web. IEEEintelligentsystems 16 (2), pp. 38-45
[17] Скобелев П.О. Онтологии деятельности для ситуационного управления предприятиями в реальном времени // Онтология проектирования. 2012. № 1 (3). С. 6-38.
[18] Маслобоев А.В., Шишаев М.Г. Мультиагентная система интеграции распределенных информационных ресурсов инноваций // Программные продукты и системы. 2007. №4. С. 30-32
[19] Добрынин А. П., Черных К.Ю., Куприяновский В.П., Куприяновский П.В., Синягов С.А. Цифровая экономика - различные пути к эффективному применению технологии (BIM, PLM, CAD, IOT, SmartCity, BIGDATA и другие) //InternationalJournalofOpenInformationTechnologies. - 2016. - Т. 4. - №. 1. - С. 4-11.
[20] Сергеев С.Ф Эргономика и инженерная психология техногенного мира: вопросы методологии и теории / Труды Международной научно-практической конференции «Психология труда, инженерная психология и эргономика 2014» (Эрго 2014) (Санкт-Петербург, Россия, 3–5 июля 2014) / Под ред. А. Н. Анохина, П. И. Падерно, С. Ф. Сергеева. – СПб.: Межрегиональная эргономическая ассоциация, 2014. С.35-42.
[21] ElhadiM. Shakshukia, MalcolmReida, TarekR. Sheltami. AnAdaptiveUserInterfaceinHealthcare / ProcediaComputerScience 56 (2015) 49 – 58 p.
[22] Catarci T., Francesca M., Levialdi S., Batini C. Visual query systems for databases: A survey. Journ. ofVisualLanguagesandComputing, v.8(2), p.215-260, 1997.
[23] Ронжин А.Л., Юсупов Р.М. Многомодальные интерфейсы автономных мобильных робототехнических комплексов // Известия ЮФУ. Технические науки. 2015. № 1(162). С. 195–206
[24] Шамакина А.В. Обзор технологий распределенных вычислений. Вестник ЮУрГУ. Серия: Вычислительная математика и информатика, том 3, вып. 3, 2014 г., стр. 51-85.
[25] Самарев Р.С. Обзор состояния области потоковой обработки данных. Труды ИСП РАН, том 29, вып. 1, 2017 г., стр. 231-260.
[26] Воронцов Ю.А. Козинец А.В. Стандарты веб-сервисов для создания распределенных информационных систем. Электронный научный журнал «Век качества». 2015. №3. С. 55-72. Режим доступа: http://www.agequal.ru/pdf/2015/315005.pdf (доступ свободный), (дата обращения: 24.03.2018)
[27] Фаулер М., Садаладж. П. Дж. NoSQL: новая методология разработки не реляционных баз данных— М.: «Вильямс», 2013. — 192 с. — ISBN 978-5-8459-1829-1
[28] Tarantool [сайт]. Internet resource: tarantool.io (дата обращения: 24.03.2018)
[29] ApacheCassandra [сайт]. Internet resource: cassandra.apache.org (дата обращения: 24.03.2018)
[30] ApacheHadoop [сайт]. Internet resource: hadoop.apache.org (дата обращения: 24.03.2018)
[31] ApacheSpark [сайт]. Internetresource: spark.apache.org (датаобращения: 24.03.2018)

К ВОПРОСУ О СИНТЕЗЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЕКТАМИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

А.С. Боровский, Н.А. Шумилина

Оренбургский государственный университет
460018, Оренбург, пр. Победы, 13, Россия
borovski@mail.ru, shumilina_na@mail.ru
тел.:+7(903) 367-92-33

Ключевые слова: *управление проектом, риск отказа оборудования, информационно-управляющая система, качество управления*

Abstract

In the projects of development and restoration of industrial enterprises, a special place today is occupied by investments in production assets. The main goal of investment is the replacement of worn out machinery and equipment. The process of making managerial decisions must take into account the incomplete and inaccurate information about the internal and external environment of the project. Therefore, a tool is needed that integrates the methods of managing production assets, project management and intellectual support for decision-making by project managers.

Введение

Вопросы совершенствования качества разработки и управления реализацией проектов промышленных предприятий всегда актуальны, так как от эффективности проектов, реализуемых на отдельных предприятиях, зависит не только устойчивость развития данного предприятия, но региона в целом. Каждый проект – это открытая система, которой свойственны процессы самоорганизации, саморегуляции и эволюционирования во времени. Очевидно, что неполнота априорной информации и неопределенность результатов выполнения многих процессов неизбежна [1,2].

Учитывая данный факт, в определении требований к качеству системы управления проектами предлагается рассматривать следующие характеристики:1) устойчивость; 2) управляемость; 3) наблюдаемость; 4) адаптивность; 5) робастность [3].

Устойчивость проекта – гарантия в обеспечении результативности проекта даже в том случае, если произойдут нежелательные изменения в основных и вспомогательных процессах проекта. Управляемость проекта – гарантия в обеспечении организационно-технологических мероприятий по выводу проекта на требуемый уровень качества. Наблюдаемость проекта – гарантия в обеспечении полной и достоверной информацией по результатам проекта, которая определяет эффективность реализации проекта. Адаптивность проекта – гарантия возможности получения информации, которая ранее не была определена, в процессе функционирования проекта и использование этой информации для повышения качества управления. Робастность проекта – гарантия обеспечения устойчивости и удовлетворение требованиям, предъявляемым к эффективности проекта в достаточно большом диапазоне изменения параметров.

Наиболее перспективным направлением развития идеи совершенствования системы управления проектами по данным характеристикам является разработка инструментария для принятия управленческих решений в проектах промышленных предприятий с учетом риска отказа оборудования. В предлагаемом решении состояние проекта рассматривается в зависимости от основного технологического процесса. Технологический процесс напрямую зависит от текущего состояния оборудования, интенсивности его эксплуатации, а также от эффективности организации работ по его техническому обслуживанию и ремонту (ТО и Р), что в свою

очередь влияет на соблюдение сроков, бюджета и ресурсов проекта [4]. Следовательно, стратегии загрузки, обслуживания и ремонта оборудования представляют собой множество управленческих решений, обеспечивающих определенный уровень качества проекта в зависимости от риска отказа оборудования.

1 Постановка задачи синтеза системы управления проектом промышленного предприятия

Формально качество проекта фиксируется некоторой траекторией, отражающей динамику проекта по фазам (прединвестиционной, инвестиционной и эксплуатационной).

Траектория динамики проекта – это процесс ввода и освоение проектных мощностей $P(t)$, то есть процесс подготовки и выпуска продукции (или объем переработки сырья) в номенклатуре и ассортименте при условии наиболее полного использования оборудования и производственных площадей, применения прогрессивной технологии и организации производства.

Цель управления – обеспечить требования к качеству $Q(r_{об})$ процесса ввода и освоения мощностей проекта $P(t)$ с учетом риска отказа оборудования $r_{об}$. При анализе траектории динамики проекта и принятии управленческих решений определяем влияние риска отказа оборудования на развитие динамики проекта. Траектория динамики проекта рассматривается как фактическая $P_ф(t)$ и оптимальная $P_0(t)$.

$$P_0(t)=arg(Q_{уст}(r_{об}),Q_т(r_{об}),\ Q_б(r_{об}),P_ф(t)),$$

где $Q_{уст}(r_{об})$ – устойчивость проекта;
$Q_т(r_{об})$ – точность реакций на управленческие решения;
$Q_б(r_{об})$ – быстродействие системы управления проектом.

Требуется найти $P_0(t) \in P(t)$ при ограничениях $G_0(t) \le G_{доп}(t)$. Здесь $P(t)$ – область возможных изменений траектории, которая характеризует варианты динамики проекта (реализации проектных решений) на конкретном промышленном предприятии, причем под реализацией понимается техническое оснащение и комплекс организационных мероприятий по выводу проекта на требуемый уровень качества; $P_0(t)$ – оптимальная траектория динамики проекта; $G_{доп}(t)$ – допустимые инвестиционные вложения в проект на закупку нового или приведение в соответствие с требованиями проекта уже имеющего оборудования предприятия.

Обобщенная функциональная схема управления проектом (освоение проектных мощностей) с учетом производственного риска отказа оборудования представлена на рисунке 1 [4].



P’(t) - скорость ввода и освоения производственных мощностей; Zn(t) - планируемые затраты на техническое обслуживание и ремонт оборудования; Zф(t) - фактические затраты на техническое обслуживание и ремонт оборудования; ΔZ(t) - отклонение фактических затрат на ТОиР оборудования от планируемых затрат; ΔP(t) - отклонение фактической мощности проекта от практической; εz, εp, εr - допустимые нормы отклонений по затратам, проектной мощности и производственному риску соответственно.

Рисунок 1 – Обобщенная функциональная схема адаптивной системы управления процессом освоения проектных мощностей

Необходимо, чтобы в системе управления проектом были реализованы следующие подсистемы:

- эксплуатационного управления;
- траекторного управления;
- определения оптимального уровня качества реализации проекта (ПОО).

2 Структура и функции проектируемой системы управления

Процесс выработки управленческих решений обеспечивается интеллектуальной поддержкой информационно-управляющей системы (ИУС). ИУС объединяет функции ERP-систем и MES-систем управления производством [5]. Данные для подготовки информации в управленческие решения формируются системами следующего уровня:

1) система диспетчерского управления для сбора данных о параметрах технологических процессов и состоянии оборудования;
2) система управления информацией, используемая для сбора, хранения и анализа производственных данных;
3) система планирования проектов и генерации отчетов.

ИУС – это инструмент анализа траекторий развития проекта и повышения качества управления проектом.

Параметры состояния объекта управления – уровень и скорость ввода и освоения производственных мощностей $P(t)$ и $P'(t)$ соответственно. Алгоритм функционирования системы учитывает, что на процесс освоения и ввода проектных мощностей влияют возмущения $F(t)$. Управляющее воздействие $U(t)$, вырабатываемое регулирующей частью представляет собой некоторую стратегию, которая корректирует поток капиталовложений $G_0(t)$ и затрат на эксплуатацию и ТО и Р оборудования $Z(t)$, тем самым обеспечивая доход $D(t)$, то есть динамику проекта на инвестиционной и эксплуатационной фазах.

Структура информационно-управляющей системы, функционирование которой основано на ситуационном подходе представлена на рисунке 2.

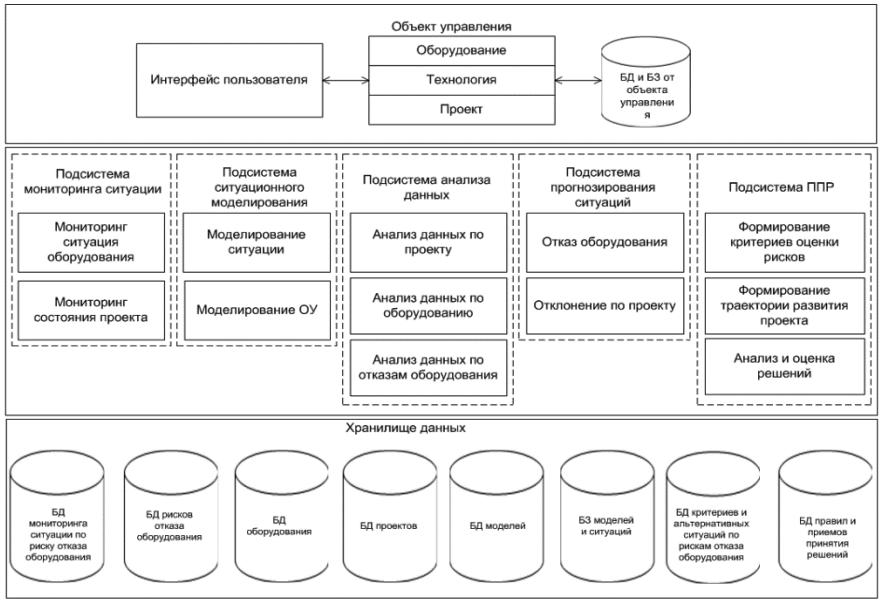


Рисунок 2 – Структура информационно-управляющей системы

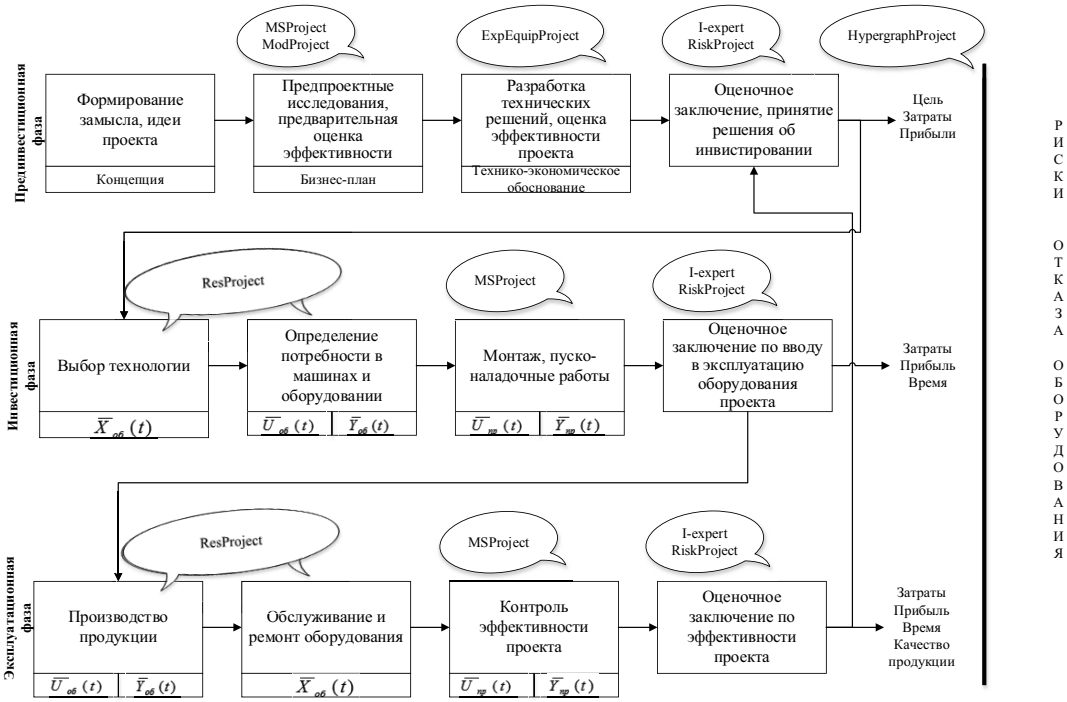
Структура представлена следующими подсистемами:

- подсистема мониторинга ситуаций обеспечивает мониторинг состояния оборудования, через эксплуатационные, ресурсные, стоимостные показатели оборудования. Мониторинг проекта осуществляется по денежным потокам и показателям эффективности проекта на инвестиционной и эксплуатационной фазе проекта. Обобщающий показатель мониторинга – риск отказа оборудования в проекте;
- подсистема поддержки принятия решений формирует критерии оценки рисков отказа оборудования в проекте, формирует оптимальные и действительные траектории развития по фазам проекта, анализирует варианты решений с учетом риска отказа оборудования;
- подсистема ситуационного моделирования формирует модели ситуаций в проекте, характеризующиеся риском отказа оборудования. Модель состояния оборудования формируется в зависимости от фазы проекта;
- подсистема прогнозирования формирует прогнозы по рискам отказа оборудования и возможным отклонениям проекта от намеченных траекторий по фазам проекта;
- подсистема анализа данных обеспечивает подготовку необходимой информации. Упорядочивает данные в соответствии с фазой проекта для подсистем ситуационного моделирования и подсистемы прогнозирования;
- хранилище данных объединяет следующие базы данных: «Мониторинг ситуаций по риску отказа оборудования в проекте», «Оборудование», «Проекты», «Риски отказа оборудования», «Модели ситуаций», «Критерии и альтернативные ситуации по рискам отказа оборудования», а так же базы знаний: «Модели и ситуации», «Правила и приемы принятия решений».

Принятие решений в этом случае является цикличной процедурой. По уровню риска отказа оборудования определяются потенциальные или текущие отклонения от желаемых, предполагаемых или планируемых показателей состояния оборудования и бюджета проекта. Управленческие решения формируются исходя из текущей ситуации. С этой точки зрения выработка управленческих воздействий происходит на основе ситуационного подхода. Варианты состояния оборудования и состояния проекта описываются набором типовых ситуаций, каждая из которых представляет собой совокупность лингвистических значений признаков. При необходимости определения значения лингвистических переменных привлекаются эксперты. Обработка данных и их преобразование в системе управления подразумевает использование аппарата нечеткой логики [6].

Информационно-управляющая система по фазам жизненного цикла реализует следующие функции по управлению проектом, которые представлены на рисунке 3:

- определяет модель инвестиционного проекта;
- определяет экспертную оценку состояния оборудования в проекте;
- определяет производительность оборудования и эффективность проекта;
- определяет уровень риска отказа оборудования, учитывая важность его влияния на бюджет, время и качество продукции;
- определяет стратегию управления проектом с учетом риска отказа оборудования.



$\overline{X}_{об}(t)$ - параметры состояния оборудования в проекте; $\overline{U}_{об}(t)$ - входные данные для оценки состояния оборудования; $\overline{Y}_{об}(t)$- выходные данные оценки состояния оборудования; $\overline{U}_{пр}(t)$ - данные для оценки эффективности проекта; $\overline{Y}_{пр}(t)$ - результаты оценки эффективности проекта

Рисунок 3 - Схема функционирования информационно-управляющей системы по фазам жизненного цикла проекта

Функции информационно-управляющей системы реализованы в следующих прикладных программах:

- ModProject. Система моделирования инвестиционных проектов (работает в двух режимах: в режиме разработки проектов и в режиме моделирования. Благодаря наличию блока выбора модели, блока моделирования и базы данных, система моделирования инвестиционных проектов существенно отличается от других программных продуктов предназначенных для планирования и оценки проектов. Разработанная методика позволяет выбирать математическую модель для инвестиционного планирования в зависимости от типа проекта. Данное программное средство может быть использовано при ведении переговоров между разработчиком проекта, заказчиком и инвестором) [7];
- ExpEquipProject. Экспертная система оценки состояния технологического оборудования проектов промышленных предприятий (позволяет произвести расчеты показателей, оценивающих физический износ технологического оборудования и чувствительность инвестиционного проекта, в зависимости от полученных результатов расчета. Экспертная система формирует необходимый для выполнения перечень рекомендаций [8];
- I-expert. Программа для расчетно-аналитической работы экспертных групп (представляет собой средство обработки экспертной информации для определения количественного и качественного состава экспертной группы, построение многоуровневой структуры показателей с привлечением экспертной группы, определение диапазона и значения нечетких переменных) [9];

- RiskProject. Программа «Оценка проектного риска отказа оборудования на основе теории нечетких множеств» (поддерживает процесс принятия решений по каждому виду технологического оборудования о его замене/продолжении эксплуатации в течении жизненного цикла рассматриваемого проекта по значениям KPI (ключевые показатели производительности оборудования проекта) и показателям эффективности проекта [10];
- ResProject. Программа для определения KPI. При наличии существующих систем контроля, из которых можно получать оперативные данные о работе оборудования определяется значение показателей эффективности работы оборудования, качества продукции.
- HypergraphProject. Программа разрабатывает нечеткую ситуационную сеть для определения последовательности действий или путей перехода между любой исходной и целевой ситуацией, то есть разрабатывает стратегию управления проектом на основе риска отказа оборудования.

Заключение

Предлагаемая идея синтеза системы управления проектами позволяет планировать и реализовывать проект за счет возможности оценивать результаты проекта с учетом стратегии загрузки оборудования, стратегии обслуживания и ремонта оборудования, а также стратегии формирования резервного фонда проекта в зависимости от риска отказа оборудования. Разработанные структура и функции системы управления позволяют реализовать требования: устойчивости, управляемости, наблюдаемости, адаптивности и робастности.

Список литературы

[1] Marian Andrei Gurau, LuciaVioleta Melnic Management of risk in industrial projects evaluation [Электронный ресурс] // International journal of Academic Researchin Management (IJARM) – 2014. Vol. 3. No. 2. – p. 167-175. URL: http://elvedit.com/journals/IJARM/wp-content/uploads/2014/03/Management-of-Risk-in-Industrial-Projects.pdf (дата обращения: 07.05.l8).

[2] Корниенко О.Ю., Макарова В.А. Актуальные вопросы оценки эффективности корпоративного риск менеджмента [Электронный ресурс]: монография – 2-е изд., дополненное. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2015.-279 с. URL: https://www.hse.ru/pubs/share/direct/document/175936493 (дата обращения: 07.05.l8).

[3] Афанасьев В.Н., Колмановский В.Б., Носов В.Р. Математическая теория конструирования систем управления: Учеб. для вузов. М.: Высш. шк., 1998. 574 с.

[4] Гаибова Т.В., Шумилина Н.А. Адаптивное управление процессом освоения проектных мощностей с учетом производственного риска отказа оборудования [Электронный ресурс] // Интернет–журнал Науковедение, 2015 г., Т. 7. № 3 (28). – С. 96.

[5] Кац Б.А., Антоненко И.Н., Молчанов А.Ю. Информационные системы управления производственными активами. История, состояние и перспективы [Электронный ресурс] // Автоматизация и новые технологи. – 2015 г., ТПА 3 (78) – URL: http://trim.ru/sites/default/files/files/pdf/information_systems_asset_management.pdf (дата обращения: 07.05.18).

[6] Боровский А.С. Нечеткая ситуационная сеть для оценки проектного риска отказа оборудования /А.С. Боровский, Н.А. Шумилина// Труды ИСА РАН, 2018.- Т.68. -№1.- С.87-93

[7] Прикладная программа «Система моделирования инвестиционных проектов», свидетельство о регистрации программ для ЭВМ № 2018610463 (Роспатент) / Н.А Шумилина., Т.В Гаибова., Е.Н.Грищин, правообладатель Федер. гос. бюджет. образоват. учреждение высш. образования «Оренбург. гос. ун-т». заявка № 2017661595, дата поступления 13.11.2017, дата регистрации 11.01.2018 г.

[8] Прикладная программа «Оценка состояния технологического оборудования проектов промышленных предприятий» свидетельство о регистрации программ для ЭВМ № 2018610487 (Роспатент) /Н.А. Шумилина, Т.В. Гаибова, А.В. Васильев, правообладатель Федер. гос. бюджет. образоват. учреждение высш. образования «Оренбург. гос. ун-т». заявка № 2017661502, дата поступления 13.11.2017, дата регистрации 11.01.2018 г.

[9] Прикладная программа «Расчетно-аналитическая работа экспертных групп (I-expert)», свидетельство о регистрации программ для ЭВМ № 2017663457 (Роспатент), /Н.А. Шумилина, А.В. Арефьева, О.В. Дружаев, правообладатель Федер. гос. бюджет. образоват. учреждение высш. образования «Оренбург. гос. ун-т». заявка №2017660246 дата поступления 12.10.2017, дата регистрации 04.12.2017 г.

[10] Гаибова Т.В., Шумилина Н.А. Оценка проектного риска отказа оборудования на основе теории нечетких множеств // Интеллект. Инновации. Инвестиции. Оренбург: Изд. – во ОГИМ. 2013. № 2. С.10 – 16.

Biography

Borovsky Alexander Sergeevich. Orenburg State University, Department of Management and Informatics in Technical Systems, Orenburg, Russia.

Head of the department, doctor of technical sciences, associate professor.

He graduated from the Tula Higher Artillery Engineering School in 1984, the number of printed works more than 50 (including 2 monographs). Area of scientific interests: system analysis and management, information security systems, information security.

Shumilina Natalia Alexandrovna. Orenburg State University, Department of Management and Informatics in Technical Systems, Orenburg, Russia.

Senior Lecturer.

She graduated from the Orenburg State University in 1996, the number of printed works is more than 30 (including participation in a collective monograph). Area of scientific interests: system analysis and control.

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МУЛЬТИАГЕНТНЫХ СИСТЕМ НА ПРИМЕРЕ ИННОВАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ САМАРСКОЙ ОБЛАСТИ

К.П. Брянцева

Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики
43010, г. Самара, ул, Л.Толстого, д. 23, Россия
k_bryanceva@mail.ru
тел.: +79277485806, +7 (846) 228-00-36

Ключевые слова: *имитационное моделирование, программное обеспечение, системная динамики, агентное моделирование, дискретно-событийное моделирование, системы имитационного моделирования инновации, инновационная система, модель региона*

Abstract

Currently, there is a wide variety of complex socio-economic multi-agent systems, one of which is the innovative system of the Samara region. In this article, we considered the features of the simulation model construction, as well as the most known software products with parameters, information output capabilities and priorities, which allow to build a model for the development of the innovation system of the Samara region, and carried out their comparative analysis. In addition, the evaluation of the instruments, based on system dynamics and agent-based approach, was carried out to assess the economic realities.

Введение

На данный момент имитационное моделирование является наиболее удобным и практичным способом анализа и прогнозирования сложной социально-экономической системы, которой, в частности, является инновационная инфраструктура Самарской области.

При разработке системы управления необходимо придерживаться следующих положений: управление инновациями неразрывно связано с управлением региональной экономикой в целом, общая система управления создается с целью дополнения отраслевой, система должна быть развивающейся, совершенствующейся, система управления должна охватывать основные направления НТП и ведущие отрасли экономики Самарской области.

1 Основные положения

Для определения методики управления региональной инновационной экосистемой необходимо построить имитационную модель данной сложной социально-экономической мультиагентной системы с целью выявления наиболее значимых взаимосвязей между ее частями [2].

При разработке системы управления необходимо придерживаться следующих положений: управление инновациями неразрывно связано с управлением хозяйственным комплексом в целом, региональная система управления создается с целью дополнения отраслевой, система должна быть развивающейся, совершенствующейся, система управления должна охватывать основные направления НТП и ведущие отрасли хозяйства региона.

Следует отметить, что в региональную инновационную экосистему входят следующие субъекты-агенты: государство (Министерство экономического развития, инвестиций и торговли Самарской области), физические лица как инициаторы проектов, компании, потребители инновационных продуктов, которые могут быть как юридические, так и физические лица, а также инновационная инфраструктура (Инновационный фонд Самарской области, Региональ-

ный центр инноваций, Технопарк в сфере высоких технологий «Жигулёвская долина», Нанотехнологический центр Самарской области).

На рисунке 1 представлено описание инновационной системы Самарской области, ее можно описать с помощью определенного набора целевых функций, отражающих цель развития системы (увеличение доли объема инновационной продукции в валовом региональном продукте, росте инновационного производства), а также набора ограничений.

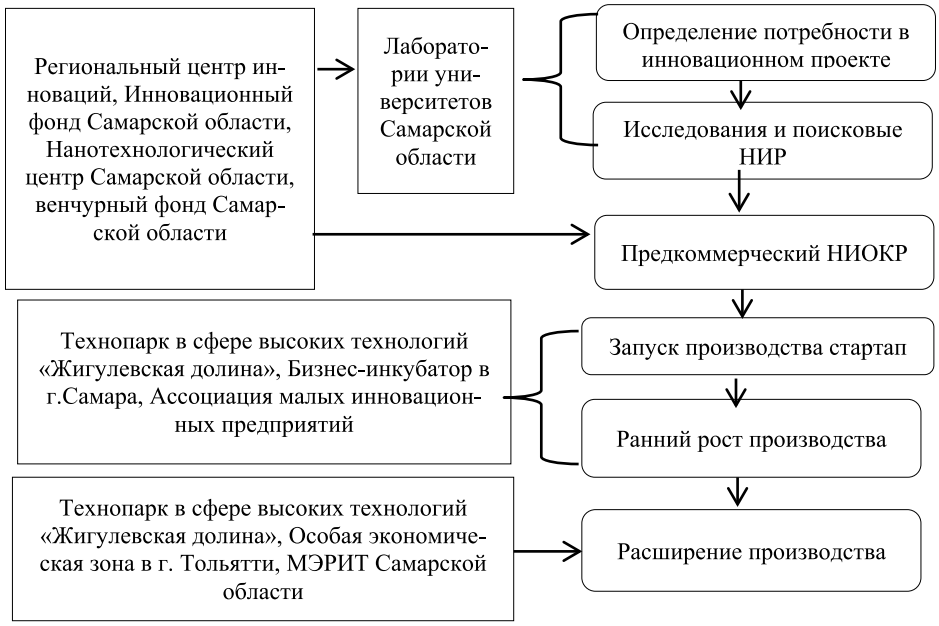


Рисунок 1 Модель инновационной деятельности с объектами инновационной системы Самарской области

В рамках реализации мероприятий региональной политики в долгосрочном периоде для оценки влияния инновационной активности на развитие экономики региона на среднесрочную и долгосрочную перспективу планируется построить региональную имитационную модель, которая позволяет оценить эффективность инновационной активности различных управленческих решений на территории и выбрать оптимальный вариант сценарного подхода. Для описания инновационной деятельности используем следующие данные из Федеральной службы государственной статистики: внутренние затраты на научные исследования и разработки; затраты на технологические инновации; численность персонала, занятого научными исследованиями и разработками; число поданных заявок на выдачу патентов; число созданных и используемых передовых производственных технологий; валовой региональный продукт.

Для объяснения механизма функционирования региональной инновационной системы и оценки влияния характеристик инновационной системы на региональное развитие необходимо построить системно-динамическую модель.

Для описания процессов инновационной системы можно использовать следующие методы: метод экспертных оценок (основывается на экспертной информации, накопленном опыте и исходит из предположения о том, что на базе мнений экспертов возможно построение образов будущего развития), модель с кривой роста (наибольшее количество работ, моделирующих инновационные процессы, посвящено явлению диффузии инноваций, в которых используются S- образные кривые (логистическая, Гомпертца, модифицированная, экспоненциальная и др.) и уравнений типа Лоттки-Волтера для моделирования процессов технологического раз-

вития), кривая Гомпертца (кривая роста: F(t) = L_e^(⟦-be⟧^(-kt)), где L- верхний предел, b,k-параметры модели), диффузия нововведения в отрасли (модель, в которой скорость диффузии нововведения в какой-либо отрасли зависит от некоторых объективно измеримых показателей), экстраполяция временных рядов (позволяет получить количественные оценки. Обычно используются стандартные функции - линейная, полиномиальная, степенная, экспоненциальная, логистическая, иногда - более сложные функции с гибкой структурой).

Программные средства имитационного моделирования Представленную модель можно оптимизировать с помощью наиболее известных программных средств имитационного моделирования, таких как AnyLogic, Business studio, Bizagi Process modeler.

2 Программная среда моделирования AnyLogic

Уникальность, гибкость и мощность языка моделирования, предоставляемого AnyLogic, позволяет учесть любой аспект моделируемой системы с любым уровнем детализации. Графический интерфейс AnyLogic, инструменты и библиотеки позволяют быстро создавать модели для широкого спектра задач от моделирования производства, логистики, бизнес-процессов до стратегических моделей развития компании и рынков.

AnyLogic - единственный инструмент имитационного моделирования (ИМ), который поддерживает все подходы к созданию имитационных моделей: процессно-ориентированный (дискретно-событийный), системно-динамический и агентный, а также любую их комбинацию.

Системная динамика, заменяя индивидуальные объекты их агрегатами, предполагает наивысший уровень абстракции. Дискретно-событийное моделирование работает в низком и среднем диапазоне. Агентное моделирование может использоваться практически на любом уровне и в любых масштабах. Следует отметить, что дискретно-событийное и агентное моделирование относятся к дискретным моделям, а системная динамика к непрерывным. Агенты могут представлять проекты в физическом пространстве, предприятия и их клиенты на среднем уровне, или же конкурирующие компании на высоком уровне.

Для моделирования бизнес-процессов в AnyLogic можно использовать любой из подходов имитацинного моделирования. Рассмотрим, как протекает бизнес-процесс на примере системы массового обслуживания в дискретно-событийном моделировании.

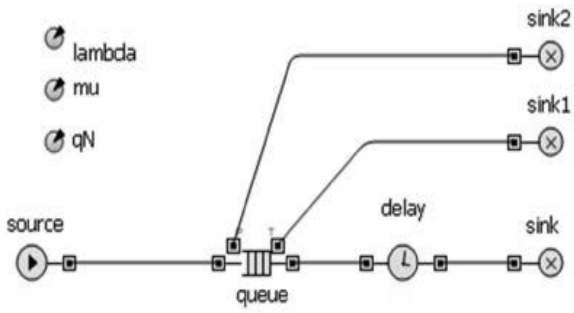


Рисунок 2 - Модель системы массового обслуживания

Построение модели системы массового обслуживания выполняется с помощью элементов библиотеки Enterprise Library. Для построения СМО используются элементы:

- Source – источник заявок;
- Queue – очередь ожидающих обслуживания заявок;
- Delay – элемент моделирующий узел обслуживания;
- Sink – элемент, принимающий отработанные заявки.

3 Программная среда бизнес моделирования Business studio

Система бизнес моделирования Business Studio разработана специально для создания бизнес-архитектуры. Помимо этого, она обеспечивает решение смежных задач, необходимых для обеспечения непрерывного развития компании. Таким образом, Business Studio поддерживает полный цикл создания эффективной системы управления компанией – «Проектирование - Внедрение – Контроль – Анализ», где проектирование включает в себя разработку или внесение изменений в бизнес-архитектуру, внедрение – непосредственно изменение процессов компании, контроль – фиксирование результатов текущей деятельности организации, анализ позволяет рассмотреть отклонения и предложения сотрудников с целью выработки идей о совершенствовании бизнес-архитектуры.

В функциональные возможности имитационного моделирования и функционально стоимостного анализа в Business studio входит:

1) Определения стоимости продуктов бизнес-процессов.
2) Оценки эффективности бизнес-процессов.
3) Расчета необходимого количества персонала.
4) Поиска узких мест.

Комплексная модель в business studio содержит следующие элементы: стратегия (Система целей и показателей их достижения), модель бизнес-процессов и их KPI, организационная структура, ресурсы и документы, информационные системы.

Кроме того, в отличие от AnyLogic у Business studio нет собственной графической среды моделирования, в ней используется пакет Microsoft Office Visio.

4 Программная среда моделирования бизнес процессов Bizagi Process modeler

Bizagi Process Modeler - это программная среда, специализирующаяся на разработке диаграмм или цепей бизнес-процессов.

Программный продукт Bizagi позволяет строить модели бизнес деятельности, выполнять и совершенствовать бизнес-процессы, используя графическую среду, без необходимости программирования.

Имитационное моделирование в Bizagi Process Modeler осуществляется с помощью диаграмм с небольшим числом графических элементов. Это помогает пользователям быстро понимать логику процесса. Выделяют четыре основные категории элементов:

- объекты потока управления: события, действия и логические операторы;
- соединяющие объекты: поток управления, поток сообщений и ассоциации;
- роли: пулы и дорожки;
- артефакты: данные, группы и текстовые аннотации.

Элементы этих четырёх категорий позволяют строить простейшие диаграммы бизнес-процессов, что является очень удобным даже для начинающих пользователей.

Для повышения выразительности модели спецификация разрешает создавать новые типы объектов потока управления и артефактов.

Основная идея заключается в простоте и удобстве пользования для различных категорий пользователей (архитекторов, аналитиков, BPMN-разработчиков, тестировщиков).

5 Сравнение систем моделирования бизнес-процессов

По результатам исследование следует вывод, что для бизнес моделирования лучше остальных подходит программная среда AnyLogic.

В таблице 1 представлена краткая информация по характеристикам программных сред.

Таблица 1 – Сравнение систем моделирования бизнес-процессов

Программное обеспечение	Методики и технологии	Требования к исполнителю	Отличительные особенности
Anylogic	Дискретно-событийное, агентное моделирование, системная динамика	Теоритические знания в области теории моделирования, знание языка программирования Java, знание принципов объектно-ориентированного программирования	Построение модели из любой предметной отрасли, построение модели с различным уровнем абстракции (использование различных подходов), 3D-визуализация процесса моделирования, постановка различных экспериментов над моделью.
Business Studio	Моделирование бизнес-процессов, функционально-стоимостной анализ, поддержка СМ.К	Работа в Microsoft Office Visio, поддержка стандартов IDEFO, поддержка графической среды	Разработка стратегических карт, разработка модели организационной структуры, формирование регламентирующих документов, поддержка создания системы менеджмента качества в соответствии со стандартами ISO.
Bizagi Process Modeler	Диаграмма потока, функциональная блок-схема потока, диаграмма Ганта, управление	Работа в графической среде, понимание методологии моделирования бизнес-процессов, работа в Microsoft Office.	Интеграция бизнес-процессов, управление ими, реинжиниринг бизнес-процессов, модели бизнес-процессов в нотации.

Заключение

Рассмотрев перечисленные выше среды моделирования для построения имитационной модели инновационной системы Самарской области необходимо выделить AnyLogic ввиду следующих ключевых преимуществ, принципиально отличающие ее от других средств имитационного моделирования.

1) Простота, удобство и высокая скорость освоения специалистами.
2) Сильная экспериментальная база, встроенная поддержка моделирований Монте Карло и передовых форм оптимизации дает большое разнообразие подходов моделирования.
3) AnyLogic может быть легко интегрирован с текущей базой данных (например, MS SQL, Oracle), также он предоставляет доступ к данным в текстовых и Excel-файлах.
4) Официальный сайт AnyLogic, предоставляющий сотрудникам необходимую для работы информацию, и вовлекающий их в процесс улучшения компании.
5) Мощный Мастер отчетов, позволяющий формировать отчеты с использованием всех возможностей форматирования Microsoft Word и поддерживающий сложные выборки данных.
6) Возможность расширения структуры данных с помощью модуля MetaEdit: создание собственных параметров (в т.ч. списков) и справочников.
7) Использование собственного графического редактора диаграмм, ставшего стандартом в области деловой графики.

8) Объектно-ориентированная промышленная платформа, определяющая уникальные возможности системы по построению сложных фильтров и работе с большими объемами данных.
9) Возможность построения бесшовной системы управления благодаря тесной интеграции с ECM-системой DIRECTUM. Поддержка стандарта XPDL для экспорта схем процессов в BPM-системы.

Список литературы

[1] Димов Э.М., Маслов О.Н., Трошин Ю.В., Халимов Р.Р. Динамика разработки имитационной модели бизнес-процесса. // Инфокоммуникационные технологии. Т. 11, №1, 2013. – С. 63-64.
[2] Садовникова Н.П., Киктев А.С. Применение агентного моделирования для построения сценариев стратегического развития // Известия Волгоградского государственного технического университета. № 13.том 4.2012.
[3] Куценко Е.И. Формирование стратегической карты инновационных процессов региональной системы // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2014. № 4 (48). С. 200-203.
[4] Голубцов А.Н., Батрак В.С. Инновационная политики как инструмент социального и экономического развития [электронный ресурс] // Управление экономическими системами. 2012. № 11. URL: http://uecs.ru/marketing/item/1694-2012, (дата обращения 15.05.2016).
[5] Механизм взаимообусловленности инноваций и экономического роста [электронный ресурс]. URL: http://kapital-rus.ru/articles/article/183191/ (дата обращения 15.05.2016).
[6] Безручко Б.П., Короновский А.А., Трубецков Д.И., Храмов А.Е. Путь в сенергетику: Экскурс в десяти лекциях. № 24. Изд.3, испр. М., 2015. 304 с.

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ АЛГОРИТМ ПОСТРОЕНИЯ ОБОБЩЁННОЙ РАНЖИРОВКИ

Г. Р. Валиуллина, Д. Н. Демьянов, Р. В. Хаматьянов
Набережночелнинский институт (филиал) ФГАОУ ВО КФУ
423812, Набережные Челны, пр. Мира, 68/19, Россия
anticamper@mail.ru

Ключевые слова: *экспертные оценки, анализ результатов, ранжировка, интеллектуальный алгоритм*

Abstract
In this article the most known existing methods for expert evaluations processing were analyzed. On their basis, the intelligent algorithm for calculating a generalized ranking using methods of fuzzy logic has been provided. Based on the proposed algorithm, a client-server mobile application to automate the process of collecting and processing expert estimates was designed and developed

Введение

Разнообразные конкурсы стали неотъемлемой частью нашей жизни. При их проведении возникает задача ранжирования рассматриваемых объектов, т.е. расстановки их в определённом порядке на основе какого-либо признака. Как правило, оценка этого признака производится группой экспертов, на основе мнений которых получают обобщённые данные для принятия решения. При этом отдельной проблемой является построение обобщённой ранжировки, позволяющей расставить приоритеты с учётом консолидированного мнения всех экспертов.

Существуют различные методы и алгоритмы построения ранжировок, которые, в общем случае, могут давать отличающиеся результаты. Поэтому, чаще всего, ранжировку оцениваемых объектов проводят несколькими различными методами, а затем объединяют получаемые результаты. При этом общепринятого подхода к построению обобщённой ранжировки в настоящее время также не существует, что приводит к существенным сложностям при попытке объективно оценить рассматриваемые альтернативы.

Для решения описанной проблемы предлагается интеллектуальный алгоритм построения обобщённой ранжировки на основе результатов классических методов обработки экспертных оценок. Приведена программная реализация разработанного алгоритма в виде клиент-серверного мобильного приложения, позволяющего автоматизировать процессы сбора и первичной обработки экспертных оценок, а также формирования обобщённой ранжировки с учётом консолидированного мнения всех экспертов.

1 Существующие методы обработки экспертных оценок

После проведения опроса группы экспертов осуществляется обработка полученных результатов. Целью обработки является получение обобщённых данных и новой информации, содержащейся в скрытой форме в экспертных оценках.

Как правило, экспертные мнения о характеристиках рассматриваемых объектов формализуются с помощью выставления баллов или определения рангов. Ранг – это номер объекта экспертизы в упорядоченном ряду. Использование рангов для анализа обосновано тем, что, в отличии от балльных оценок, ранговые менее подвержены влиянию отдельных резко выделяющихся экспертных мнений [1].

Определение обобщённой оценки исследуемых объектов осуществляется при групповой экспертной оценке на основе применения методов осреднения индивидуальных оценок экспертов, с учетом предположения о том, что они являются достаточно точными «измерителями». Алгоритмы получения обобщённой оценки зависят от применяемых разновидностей методов субъективного измерения экспертами предпочтительности оцениваемых объектов или их свойств. Если результаты применяемых методов субъективных измерений представляют собой числа или баллы, то построение групповой оценки заключается в определении среднего значения (математического ожидания) или медианы (наиболее вероятной оценки). В другом случае, если результаты представляют собой ранги, то задачей обработки является построение обобщённой ранжировки объектов на основании наилучшего способа согласования индивидуальных ранжировок экспертов в виде медианы [2].

Наиболее популярные методы, основанные на анализе числовых (балльных) показателей:

1) Метод средних арифметических – для каждого объекта вычисляется среднее значение его оценок, выставленных всеми экспертами. Приоритеты объектов определяются величиной полученного значения.
2) Метод среднего геометрического – для каждого объекта вычисляется среднее геометрическое его оценок, выставленных всеми экспертами. Приоритеты объектов также определяются величиной полученного значения.

Наиболее популярные методы, основанные на анализе ранговых показателей:

1) Метод сумм рангов – для каждого объекта вычисляется сумма рангов по всем экспертам (наибольший приоритет имеет объект с минимальным значением получившейся суммы).
2) Метод медиан рангов – для каждого объекта находится медианное значение ранга по всем экспертам. Далее объекты упорядочиваются по медианным значениям рангов.
3) Метод парных сравнений. Парное сравнение — это установление предпочтения объектов при сравнении всех возможных пар. При использовании метода чаще всего составляется матрица размером m на m, где m – количество сравниваемых объектов. Элемент матрицы парных сравнений равен 1, если объект в строке предпочтительнее объекта в столбце, и равен 0, если объект в столбце предпочтительнее либо установлено равенство. Матрицы парных сравнений, полученные для всех экспертов, поэлементно суммируются, после чего проводится бинаризация: значения меньше порогового уровня приравнивают к нулю, больше или равные пороговому уровню – к единице. Полученная результирующая матрица парных сравнений показывает сравнительную предпочтительность рассматриваемых объектов.

Все описанные выше методы имеют свои особенности, при этом результаты их использования могут весьма существенно отличаться. В связи с этим актуальной проблемой является разработка алгоритма, обобщающего различные методы ранжировки и позволяющего проводить наиболее адекватное упорядочивание рассматриваемых альтернатив.

2 Построение обобщённой ранжировки

Общенаучная концепция устойчивости [3] рекомендует применять различные методы для обработки одних и тех же данных, чтобы выделить выводы, получаемые одновременно при всех методах. Такие выводы больше соответствуют реальной действительности.

В качестве исходных данных выступают ранжировки, получаемые с использованием описанных выше классических способов обработки экспертных мнений.

Сам алгоритм включает в себя следующую последовательность шагов:

1) Находится элемент (элементы), обладающий наивысшим приоритетом по всем ранжировкам (подробное описание алгоритма поиска такого элемента будет приведено далее).
2) Элемент (элементы) с наивысшим приоритетом записывается в обобщённую ранжировку и удаляется из всех исходных ранжировок.

3) Производится пересчёт рангов элементов во всех исходных ранжировках. Если выбранный на шаге 1 элемент не входил в состав кластера (т. е. в ранжировке не имеется других элементов с таким же рангом), то все ранги старше ранга удалённого элемента уменьшаются на 1, а ранги меньше – остаются неизменными. Если элемент входил в состав кластера, то ранги оставшихся элементов не изменяются.
4) Если после выполнения предыдущих шагов во всех исходных ранжировках не осталось больше элементов, то алгоритм заканчивается.
5) Если после выполнения предыдущих шагов во всех исходных ранжировках остаётся только один элемент, то он записывается в обобщённую ранжировку самым последним, после чего алгоритм заканчивается.
6) Если после выполнения предыдущих шагов во всех исходных ранжировках остаётся только 2 элемента, определяется приоритет каждого из них (подробное описание алгоритма определения приоритета будет приведено далее), после чего алгоритм заканчивается.
7) Если после выполнения предыдущих шагов во всех исходных ранжировках остаётся 3 и более элемента, то осуществляется возврат к шагу 1.

Алгоритм определения приоритета для случая двух элементов включает в себя следующие шаги:

1) Подсчитывается по всем исходным ранжировкам, сколько раз каждый из элементов оказался на первом месте.
2) Если для обоих элементов этот показатель совпадает, то элементы обладают одинаковым приоритетов. В противном случае наивысший приоритет имеет тот элемент, который чаще оказывался на первом месте.

Алгоритм определения приоритета для случая трёх и более элементов включает в себя следующие шаги:

1) В каждой ранжировке выбирается 3 элемента или кластера с наибольшим приоритетом.
2) Для каждого элемента определяется, сколько раз он оказался на первом, на втором и на третьем местах.
3) Определяются относительные частоты нахождения элемента на первом, на втором и на третьем местах путём деления результатов, полученных на шаге 2, на общее количество ранжировок.
4) С помощью алгоритма нечёткого логического вывода находятся значения приоритета для каждого из элементов, выбранных на шаге 1. Исходные данные для алгоритма – относительные частоты нахождения на первом, на втором и на третьем местах для каждого элемента. Выходные данные – величина приоритета для каждого из выбранных элементов.
5) Выбирается элемент (элементы), у которого величина приоритета является наибольшей.

В качестве входных лингвистические переменных были выбраны следующие понятия: «первое место», «второе место», «третье место». Каждая входная лингвистическая переменная содержит три терма (значения): встречается «редко», встречается «средне», встречается «часто». Выходная переменная «приоритет» содержит пять термов: «низкий», «ниже среднего», «средний», «выше среднего», «высокий». Для каждого терма строится функция принадлежности, которая имеет треугольный вид (рисунок 1).

Нечёткий логический вывод в данном случае реализуется с помощью алгоритма Мамдани и включает в себя следующие основные этапы:

1) Формирование базы правил. Разработанная база включает в себя 27 правил, имеющих вид: «ЕСЛИ объект встречался на первом месте редко, на втором – редко, на третьем – редко, ТО приоритет – низкий».
2) Фаззификация. Исходные чёткие значения относительных частот нахождения элементов на первом, на втором и на третьем местах преобразуются в лингвистические переменные.
3) Агрегирование подусловий. Происходит определение степени истинности условий для каждого правила системы нечёткого вывода.

4) Активизация подзаключений. Для каждого подзаключения определяется степень истинности с помощью min-активизации.
5) Аккумулирование заключений. Для каждой из выходных переменных формируется соответствующее нечёткое множество.
6) Дефаззификация. Полученные лингвистические значения приоритетов переводятся в числовые значения с помощью метода центра тяжести.

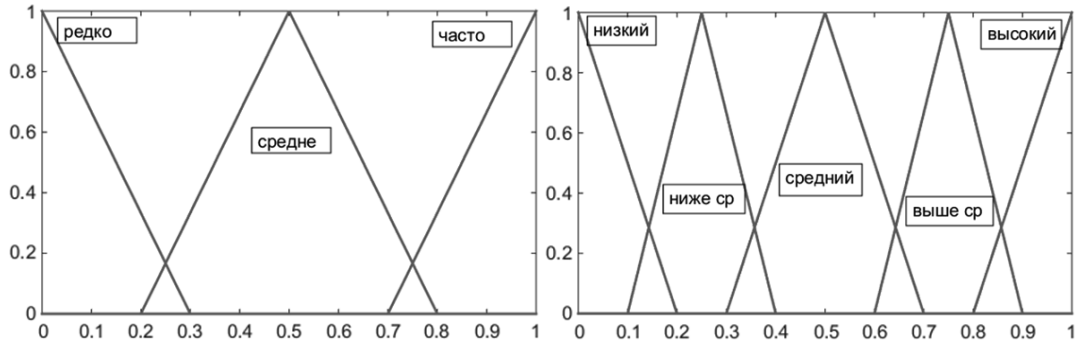


Рисунок 1 – График функций принадлежности термов входных (слева) и выходных (справа) переменных

Настройка параметров подсистемы нечёткого логического вывода проводилась путём обобщения знаний экспертов и анализом адекватности результатов для тестовой выборки.

3 Программная реализация

Для автоматизации процесса сбора и обработки экспертных оценок было разработано клиент-серверное приложение, состоящее из двух частей: непосредственно серверная часть и клиентское мобильное приложение. Главные экраны этих приложений представлены на рисунке 2.

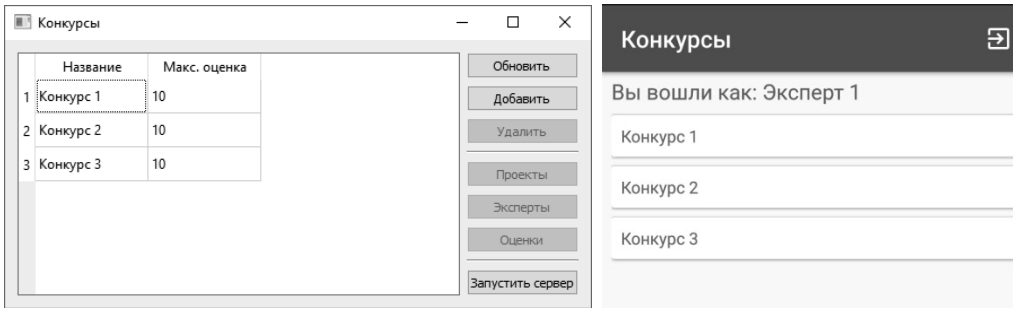
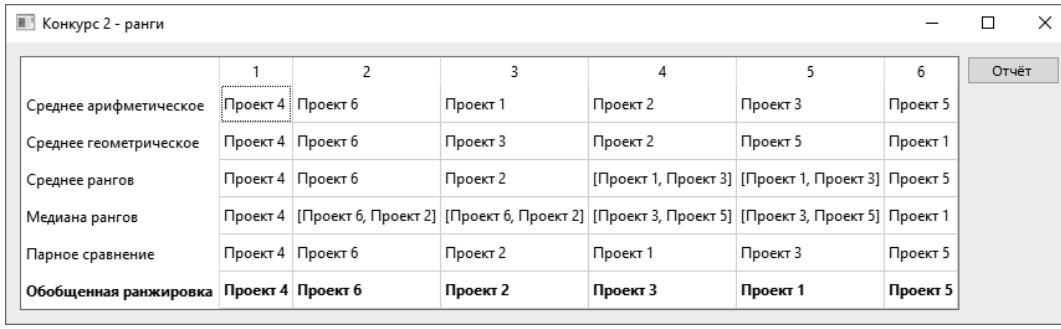


Рисунок 2 – Главные экраны серверного (слева) и мобильного (справа) приложений

Клиентская часть устанавливается на смартфонах экспертов и позволяет автоматизировать процесс сбора исходных данных. Серверная часть устанавливается на компьютере администратора и служит для анализа поступающих данных. На рисунке 3 приведён пример окна с отчётом об итогах конкурса.

Основной функционал мобильной части:

- разграничение доступа к приложению (для входа в приложение эксперт должен ввести логин и пароль);
- просмотр сведений об объекте, включая подробную информацию и изображение (если оно есть);
- отображение списка конкурсов, на которые назначен текущий эксперт;
- выставление оценки объекту.



	1	2	3	4	5	6
Среднее арифметическое	Проект 4	Проект 6	Проект 1	Проект 2	Проект 3	Проект 5
Среднее геометрическое	Проект 4	Проект 6	Проект 3	Проект 2	Проект 5	Проект 1
Среднее рангов	Проект 4	Проект 6	Проект 2	[Проект 1, Проект 3]	[Проект 1, Проект 3]	Проект 5
Медиана рангов	Проект 4	[Проект 6, Проект 2]	[Проект 6, Проект 2]	[Проект 3, Проект 5]	[Проект 3, Проект 5]	Проект 1
Парное сравнение	Проект 4	Проект 6	Проект 2	Проект 1	Проект 3	Проект 5
Обобщенная ранжировка	**Проект 4**	**Проект 6**	**Проект 2**	**Проект 3**	**Проект 1**	**Проект 5**

Рисунок 3 – Отчёт о результатах работы

Основной функционал серверной части:

- создание множества конкурсов с возможностью параллельной работы с ними;
- добавление эксперта для разных конкурсов (т.е. один эксперт может оценивать множество конкурсов);
- ручной ввод оценок в случае невозможности применения мобильного приложения;
- вывод отчёта на экран и в виде файла с результатами построения ранжировки.

Разработанное приложение было протестировано на ряде выборок и показало высокую адекватность получаемых результатов.

В настоящее время разработано две модификации приложения. Первая (Light-версия) имеет только функции сбора и первичного анализа данных. Вторая (Premium-версия) содержит также модуль интеллектуального анализа данных, реализующий описанный выше интеллектуальный алгоритм построения обобщённой ранжировки. Первая модификация будет распространяться бесплатно, вторая модификация будет распространяться на платной основе (бизнес-модель будет сформирована позже по итогам маркетингового анализа).

Заключение

В представленной работе предложен интеллектуальный алгоритм построения обобщённой ранжировки, основанный на применении нечёткой логики и использующий результаты классических методов определения приоритета.

На основе разработанного алгоритма было создано клиент-серверное приложение, позволяющее автоматизировать процесс сбора и анализа экспертных мнений. Проведённый анализ тестовых выборок показал высокую адекватность результатов работы созданного приложения.

В дальнейшем планируется улучшение самого алгоритма: корректировка базы правил и функций принадлежности. Так же планируется подача заявки на государственную регистрацию программы для ЭВМ и коммерческое распространение разработанного приложения.

Благодарности

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ (грант № 17-08-00516).

Список литературы

[1] Толстова Ю.Н. Измерение в социологии. – М.: Инфра-М, 1998. – 224с.
[2] Карданская Н.Л. Принятие управленческого решения. – М.: ЮНИТИ, 1999. – 408с.
[3] Орлов А.И. Устойчивость в социально-экономических моделях. – М.: Наука, 1979. – 296с.

МЕТОД КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ НАДЕЖНОСТИ БАЗОВЫХ СТРУКТУРНЫХ КОМПОНЕНТОВ GRID-СИСТЕМ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТРЕБОВАНИЙ К СТАТИСТИЧЕСКИМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ НАДЕЖНОСТИ СОСТАВЛЯЮЩИХ ИХ ЭЛЕМЕНТОВ

В.Е. Гвоздев, Д.В. Блинова, Д.Р. Ахметова, Р.А. Насырова

Уфимский государственный авиационный технический университет
450008, Уфа, ул. К.Маркса, 12, Россия
kaf_apris@mail.ru
тел: +7 (347) 272-74-65

Ключевые слова: *GRID-системы, надежность, базовые структурные компоненты, инфо-коммуникационные системы*

Abstract

GRID-systems are one of the perspective directions of development of the distributed information-communication systems intended for the solution of a wide class of tasks within creation of artificial intelligence. This paper describes an approach to the construction of a reliability model of basic topological structures based on parallel-sequential schemes of reliability analysis. Approaches to the solution of the direct problem are proposed: quantitative assessment of reliability of components of basic topological structures, on the basis of data on reliability of components and the content of the concept of "system failure". The inverse problem of reliability is also considered: the definition of requirements for statistical characteristics of reliability of elements at interval estimates of requirements to reliability of typical structural components of GRID-systems.

Введение

GRID-системы являются одним из перспективных направлений развития распределенных инфо-коммуникационных систем, предназначенных для решения широкого класса задач в рамках создания искусственного интеллекта.

Известные подходы к оценке надежности на ранних стадиях проектирования GRID-систем основаны на анализе связности графа (оценке работоспособности GRID-системы) при удалении (выходе из строя) узлов (компьютеров, рабочих станций) и ребер (каналов связи). При этом исходят из того, что базовым топологическим архитектурам GRID-сетей соответствуют топологии: линейная; звезда; кольцевая, полная ячеистая [1].

В настоящей работе описывается подход к построению модели надежности базовых топологических структур на основе параллельно-последовательных схем анализа надежности. Предлагаются подходы к решению прямой задачи: количественной оценки надежности компонентов базовых топологических структур, на основе данных надежности компонентов и содержания понятия «отказ системы». Также рассмотрена обратная задача надежности: определение требований к статистическим характеристикам надежности элементов при интервальных оценках требований к надежности типовых структурных компонентов GRID-систем.

При решении задач надежности системы и ее элементов были рассмотрены три базовые топологические структуры: линейная, звезда и кольцевая. Полная ячеистая топология GRID-систем не рассмотрена, так как ее реализация на практике в большинстве ситуаций непрактична, а в некоторых случаях невозможна.

1 Оценивание надежности базовых топологических структур в зависимости от содержания понятия «безотказной работы системы»

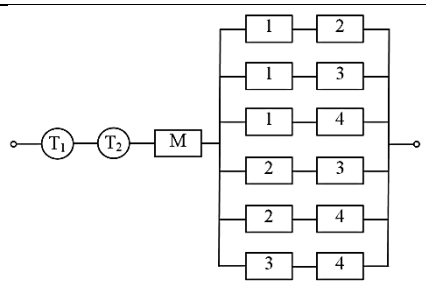
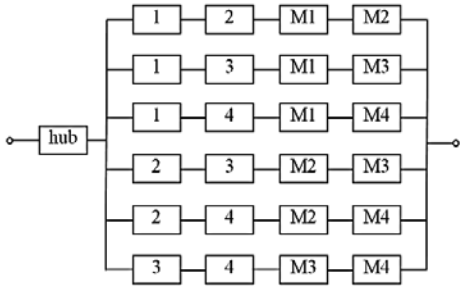
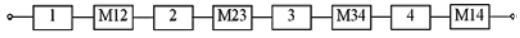
В зависимости от содержания понятия «безотказной работы системы» были выделены три способа оценивания надежности системы.

1) Оценка надежности по критерию наличия связи между любыми двумя узлами сети

В соответствии с данной трактовкой построены последовательно-параллельные схемы для оценки надежности линейной, кольцевой топологии, топологии «звезда», состоящих из 4 узлов (всем блокам на приведенных структурно-логических схемах соответствует одно и то же значение вероятности p).

Получены соотношения для расчета надежности работы системы и ее элементов, где $P_{\text{сист}}$ - вероятность безотказной работы системы; $p_{\text{т}}$ - вероятность безотказной работы терминатора; $p_{\text{м}}$ - вероятность безотказной работы магистрали; $p_{\text{н}}$ - вероятность безотказной работы концентратора; p - вероятность безотказной работы узла системы.

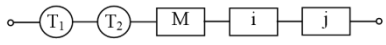
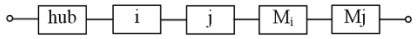
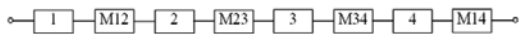
Таблица 1 – Структурно-логические схемы и соотношения надежности работы системы и элементов для базовых топологических структур

Тип топологии	Структурно-логическая схема	Соотношение для расчета надежности работы системы
Линейная		$P_{\text{сист}} = p_{\text{т}}^2 * p_{\text{м}} * (1 - (1 - p^2)^6)$
«Звезда»		$P_{\text{сист}} = p_{\text{н}} * (1 - (1 - p^2 * p_{\text{м}}^2)^6)$
Кольцо		$P_{\text{сист}} = p^4 * p_{\text{м}}^4$

2) Оценка надежности по критерию наличия связи между двумя конкретными узлами сети

Построенные в соответствии с данной трактовкой последовательно-параллельные схемы для оценки надежности представлены в таблице 2.

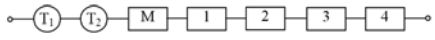
Таблица 2 – Структурно-логические схемы и соотношения надежности работы системы для базовых топологических структур

Тип топологии	Структурно-логическая схема	Соотношение для расчета надежности работы системы
Линейная		$P_{сист} = p_т^2 * p_м * p^2$
«Звезда»		$P_{сист} = p_н * p^2 * p_м^2$
Кольцо		$P_{сист} = p^4 * p_м^4$

3) Оценка надежности по критерию доступности каждого узла системы

Последовательно-параллельные схемы для оценки надежности безотказной работы системы представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Структурно-логические схемы и соотношения надежности работы системы для базовых топологических структур

Тип топологии	Структурно-логическая схема	Соотношение для расчета надежности работы системы
Линейная		$P_{сист} = p_т^2 * p_м * p^4$
«Звезда»		$P_{сист} = p_н * p^4 * p_м^4$
Кольцо		$P_{сист} = p^4 * p_м^4$

2 Определение требований к статистическим характеристикам надежности составляющих их элементов

Исходя из требований к надежности системы в целом, необходимо определить требования к характеристикам надежности комплектующих элементов. Основу решения этой задачи в случае, если имеют место точечные оценки характеристик надежности, составляет концепция равнопрочности элементов и соотношения, связывающие надежность системы с надежностью комплектующих элементов, учитывая особенности параллельно-последовательной логической схемы. Однако в литературе не рассмотрен случай распределения требований к надежности комплектующих элементов, когда характеристики надежности представлены интервальными оценками параметров.

В случае если заданы интервальные оценки статистических характеристик системы, необходимо, исходя из этого, сформировать требования к статистическим характеристикам ее элементов. При равномерном распределении надежности системы, в зависимости от вида структурно-логической схемы, требования к статистическом характеристикам элементов будут различаться.

Рассмотрим простейший пример. Пусть имеются два равнонадежных элемента, которые:

а) соединены последовательно;

б) соединены параллельно.

Если оценка надежности системы задана точечно, то решение задачи основывается на использовании аналитических соотношений. При последовательном соединении вероятность

безотказной работы элементов рассчитывается по формуле: $p_{эл} = \sqrt{P_{сист}}$, а вероятность безотказной работы элементов при параллельном соединении: $p_{эл} = 1 - \sqrt{1 - P_{сист}}$.

Однако в случае интервальных оценок надежности такой подход не допустим, и основу исследования статистических характеристик составляет вычислительный эксперимент (таблица 4), результаты которого представлены на рис. 1.



а) б)

Рис. 1 – Гистограммы плотности распределения надежности элементов

Допустим, что оценка надежности системы задана интервалом [0,9; 1), тогда:

1) Границы интервалов надежности элементов системы:

В первом варианте [0,949;1), т.е. границы сужаются относительно интервала надежности системы.

Во втором варианте [0,648;1), границы расширяются относительно интервала надежности системы.

2) При последовательном соединении наблюдается отрицательная асимметрия (рис. 1, (а)), а в случае параллельного соединения – положительная (рис. 1, (б)).

Таблица 4 – Статистические моменты распределений, соответствующих разным типам соединений

Тип соединения элементов	Математическое ожидание	Среднеквадратическое отклонение	Асимметрия	Эксцесс
последовательное	0,975	0,053	-0,649	-0,512
параллельное	0,788	0,061	0,647	-0,357

Далее перейдем к базовым структурам GRID-систем. Пусть определение понятия «безотказной работы системы» формулируется следующим образом: система работоспособна, если хотя бы два узла системы могут обмениваться ресурсами, а оценка надежности системы задана интервалом [0,9; 1) и все элементы в системе равнонадежны. Аналогичный эксперимент был проведен для линейной топологии и топологии «звезда», состоящих из четырех узлов (таблица 5).

Таблица 5 – Статистические моменты распределений, соответствующих разным типам топологий

Тип топологии	Математическое ожидание	Среднеквадратическое отклонение	Асимметрия	Эксцесс
линейная	0,716	0,040	1,106	1,341
«звезда»	0,829	0,024	0,928	0,447

Тогда плотность распределения надежности элементов для линейной топологии примет вид, представленный на рис. 2.

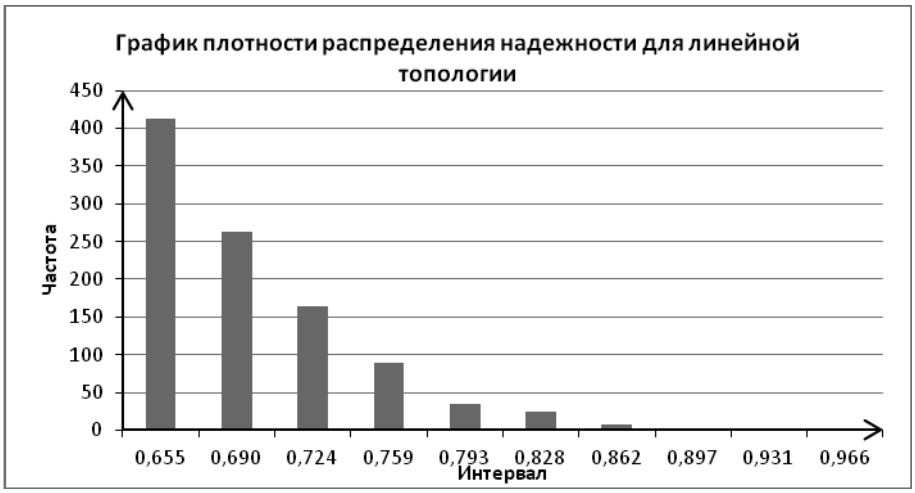


Рис. 2 – Плотность распределения надежности элементов для линейной топологии

Плотность распределения надежности элементов для топологии «звезда» представлена на рис. 3.



Рис. 3 – Плотность распределения надежности элементов для топологии «звезда»

В обоих случаях наблюдается расширение границ интервалов надежности элементов относительно интервалов надежности системы и положительная асимметрия.

Заключение

В зависимости от трактовки понятия «безотказная работа системы» различаются результаты построения параллельно-последовательных схем, что, в свою очередь, приводит к получению различных расчетных формул оценки надежности базовых топологических структур и различному влиянию надежности элементов на надежность агрегата.

В случае работы с интервальными оценками оказывается, что статистические свойства элементов существенно отличаются, например, в случае последовательного соединения асимметрия отрицательная, параллельного – положительная. Учет интервальных оценок надежности выражается в различных требованиях к статистическим характеристикам надежности комплектующих элементов.

Благодарности

Поддержана грантом 16-08-00442 Управление функциональной безопасностью аппаратно-программных комплексов в составе сложных технических систем.

Список литературы

[1] Тимофеев А.В. Адаптивное управление и интеллектуальный анализ информационных потоков в компьютерных сетях. – М: "Анатолия". 2016. – 280 с.
[2] Липаев В.В. Функциональная безопасность программных средств. – М.: СИНТЕГ. 2004. – 348 с.
[3] Капур К., Ламберсон Л. Надежность и проектирование систем. – М.: Мир, 1980. - 604 с.
[4] Дружинин Г.В. Надежность автоматизированных систем. М: "Энергия". 1977. – 536 с.
[5] ГОСТ 27.002-89. Надежность в технике. Основные термины и определения.
[6] Черкесов Г.Н. Надежность аппаратно-программных комплексов. Учебное пособие [Текст] / Г.Н. Черкесов. – СПб.: Питер, 2005. – 479 с.
[7] А. В. Тимофеев, Д. П. Димитриченко, Многокритериальная оценка сетевых топологических структур для моделирования и проектирования GRID-систем, Тр. СПИИРАН, 2009, выпуск 11, 193–212
[8] Хелеби С., Мак-Ферсон Д. Принципы маршрутизации в Internet. 2-е издание. – М.: Издательский дом «Вильемс», 2003.
[9] Уолрейд Дж. Телекоммуникационные компьютерные сети. Вводный курс. – М.: Постмаркс, 2001.
[10] D. Needham and S. Jones, A Software Fault Tree Metric, Proceedings of the International Conference on Software Maintenance (ICSM 2006), Philadelphia, PA, 25-27 Sept 2006. pp. 401-410.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ АКТОРОВ ПРИ ПОДГОТОВКЕ КОНСТРУКТОРСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ НА АВИАЦИОННОМ ПРЕДПРИЯТИИ

Ж.С. Гусейнов[1,a,b], Н.М. Боргест[2, a, c]
[a]Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева
443086, Самара, Московское шоссе, 34, Россия
тел: +7 (846) 267-46-47, факс: +7 (846) 267-46-46
[b]Самарский филиал конструкторского бюро ПАО «Туполев»
443052, Самара, ул. Земеца, 32, Россия
тел: +7 (846) 920-41-78, факс: +7 (846) 955-09-42
[c]Институт проблем управления сложными системами РАН
443020, Самара, ул. Садовая, 61, Россия
тел: +7 (846) 332-39-27, факс: +7 (846) 333-27-70
[1]jean-x@mail.ru, [2]borgest@yandex.ru

Ключевые слова: *структура взаимодействие, проектирование, конструкторская документация, поддержка жизненного цикла, совершенствование, авиационное предприятие*

Abstract
This clause establishes some recommendations for the modernization and improvement of the process of interaction between departments at the modern aircraft manufacturer.

Введение

Авиационная отрасль считается одной из наиболее наукоемких и ресурсозатратных областей промышленного комплекса, затраты в которой в первую очередь направлены на выпуск конструкторской документации (КД) изделия, где этап её разработки занимает от 50 до 80% от общей трудоемкости создания нового изделия [1]. Продукция авиационной промышленности – самолеты, вертолеты и беспилотные летательные аппараты являются технически сложными объектами. Здесь помимо людских ресурсов задействованы множество современных программных продуктов автоматизированной поддержки изделия на протяжении всего жизненного цикла (ЖЦ). Данные продукты позволяют управлять потоком работ и автоматизировать простейшие операции, ускорить и упростить работу конструктора. Обеспечение целостности данных и организация Единого Информационного Пространства (ЕИП) - одна из задач этих систем, а также процесса оптимизации всего процесса в целом.

Актуальным вопросом при создании КД является также освоение управлением данными об изделии на всем протяжении ЖЦ. Работа в ЕИП стала обязательным атрибутом современного предприятия. Большинство современных алгоритмов создания КД ориентировано на использование CALS-технологий (CALS – Computer Aided and Lifecycle Support). Многочисленные исследования, проводимые в области проектирования изделий, подтверждают, что повсеместное внедрение систем автоматизации проектирования (САПР) снижает затраты времени на разработку документации [2].

Работа выполнена на примере предприятия авиационной отрасли, где в качестве основных моделей процессов проектирования использованы существующие алгоритмы взаимодействия структурных подразделений предприятия. Объектом исследования выступает процесс взаимодействия подразделений (акторов) в ходе создания изделий авиационной техники.

1 Модель и структура процесса проектирования на предприятии

Важнейшим фактором любого успешного производства является грамотное планирование работ и учет трудовых и материальных затрат, нахождение баланса между сроками выполнения и распределением затрат в производстве, путей их оптимизации. Для повышения конкурентоспособности любая организация стремиться к повышению качества своей продукции совместно с повышением экономической эффективности своей деятельности. Для этого необходимо постоянно работать над улучшением системы управления потоками информации в организации и принимать своевременные, адекватные и эффективные решения на всех уровнях управления процессами.

С целью обеспечения выполнения работ в указанные сроки на предприятии существует система планирования, включающая в себя разработку планов-графиков на выполнение работ, персональная ответственность за выполнение работ путем разработки месячных планов работ сотрудников. По итогам работы за месяц с целью оценки выполнения планов работ проводятся заседания, на которых анализируются отчеты структурных подразделений о проделанной работе. На основе анализа этих отчетов возможно дальнейшая модернизация процессов взаимодействия подразделений. Четкое распределение работ в каждом конкретном подразделении можно просматривать в рамках структуры организации. Важной частью структуры организации работы на предприятии является модель управления процессом проектирования. Анализ цикла управления, изображенного на рисунке 1, показывает, что процессы должны быть четко структурированы, описаны и регламентированы [3]. Контроль и анализ занимает важную часть цикла проектирования и выступает в роли критерия оценки показателей эффективности и соотношения с плановыми значениями.



Рисунок 1 – Модель управления процессом проектирования на предприятии

Для повышения производительности труда конструктора важно, чтобы он тратил как можно меньше времени на задачи, не связанные непосредственно с проектированием, расчетами. Если изделие проектируют несколько разработчиков, много времени уходит на организацию коллективной работы, взаимодействие и обмен информацией. Используются сетевые или облачные хранилища информации, но зачастую возможностей этих ресурсов недостаточно. К потерям времени добавляются проблемы, связанные с неоптимальной загрузкой персонала, отсутствием актуальной информации о ходе проекта. Итогом становятся переносы сроков работ и невыполнение план-графиков. В результате потери превышают количество времени, которое конструктор использует для проектирования. Один из путей снижения потерь в конструкторском бюро — совершенствование системы управления разработкой КД, а также новая организация процессов взаимодействия между подразделениями.

При решении задачи по разработке КД происходит разделение деятельности конструктора на творческую, технологическую, организационную, производственную и корректировоч-

ную. Соотношение долей деятельности конструктора - есть приоритетное направление модернизации его деятельности. Рассмотрим составляющие части трудоемкости проектанта.

Творческая – изучение технического задания, сбор исходных данных, оценочные расчеты, компоновочные эскизы, разработка и согласование чертежа общего вида изделия и эскизного проекта с заказчиком. Творческая составляющая в работе проектанта занимает до 30%.

Техническая – выпуск комплекта рабочей КД с разработкой узловых и сборочных чертежей и их деталировкой, выполнение габаритных и монтажных чертежей и текстовых документов. Средний объем от общей части работы занимает до 30%.

Организационная – руководство исполнителями, проверка, корректировка и согласование КД, передача КД в архив. Объем организационной составляющей занимает около 10%.

Производственная – сопровождение изделия в производстве, отработка конструкции и технологического процесса. Отработка и отладка изделия в производстве занимает до 15% от общих трудозатрат конструктора.

Корректировочная – корректировка и доработка КД, завершение разработки КД, передача КД в цехи опытного производства или на заводы-изготовители. Такой вид деятельности занимает до 15% от общей деятельности.

Как видно, помимо основной – творческой и технической видов деятельности, у конструктора есть множество сторонних обязанностей, объем которых доходит до 40% от общего объема работ. Задача оптимизации деятельности сотрудника строится на перераспределении долей этих работ. Снижение возможно за счет использования новых методик, современных технологий и реализации дополнительной интеграции работы конструктора в ЕИП.

2 Актуальные проблемы взаимодействия участников процесса проектирования изделия и их решение

При выпуске КД, насколько бы не был жестким контроль качества и соответствие отраслевым и государственным стандартам, неизбежно возникают ошибки или необходимость уточнения КД по измененным требованиям или нормативам. Документы, которые учитывают изменения в конструкции изделия, будь то лист уточнения чертежа или спецификация, подробно описывают, как и где будет изменена КД для учета выявленных неточностей. Обычно, документация об изменении выпускается конструктором самостоятельно по рекомендации производственного отдела. Отсутствие автоматизации процесса, наличие бумажных носителей сильно усложняет работу конструктора, перераспределяя его рабочее время.

Интеграция процесса согласования документации об изменении в ЕИП позволит исключить потерю и дублирование КД, облегчит и ускорит сам процесс утверждения и высвободит значительное количество свободного времени для проектирования. Разработка модульного шаблона согласования документа позволит адаптировать данную технологию под другие рабочие документы и сократить срок прохождения документа.

Другой актуальной проблемой при разработке КД, является организация взаимодействия с технологическим отделом в процессе проектирования. При разработке рабочей КД, каждый документ должен проходить технологическую проверку и нормоконтроль. Большинство документов в бумажном виде отправляются в технологический отдел. Не имея четкого регламента технологическая проверка КД часто задерживается. Консультации с бумажными документами отнимают значительную часть времени у работников. Отсутствие ЕИП и базы знаний на предприятии осложняет решение данной проблемы. Конструктор, не имея должной технологической подготовки в той или иной мере, совершает типовые ошибки вследствие обработки огромного информационного потока.

Формирование должного нормативного обеспечения предприятия за счет представления содержимого основных нормативных документов в виде иерархической структуры взаимосвязанных требований, позволит избежать повторяющиеся ошибки при подготовке КД на изде-

лия. Обращаясь к такому обеспечению, которое может быть реализовано посредством информационных сред, конструктор сможет получить рекомендации по технологической составляющей проектирования изделия и внести соответствующие корректировки в КД, при этом существенно снизить процент лишних итераций «разработчик – технолог».

Актуальное значение принимает создание методики разработки изделия, позволяющей оптимизировать процесс проектирования на ранней стадии с непрерывной оценкой технологической составляющей проектирования [4]. Такой метод позволит уменьшить поле принимаемых решений, а также учесть показатели будущего изделия. Общая схема методики показана на рисунке 2.

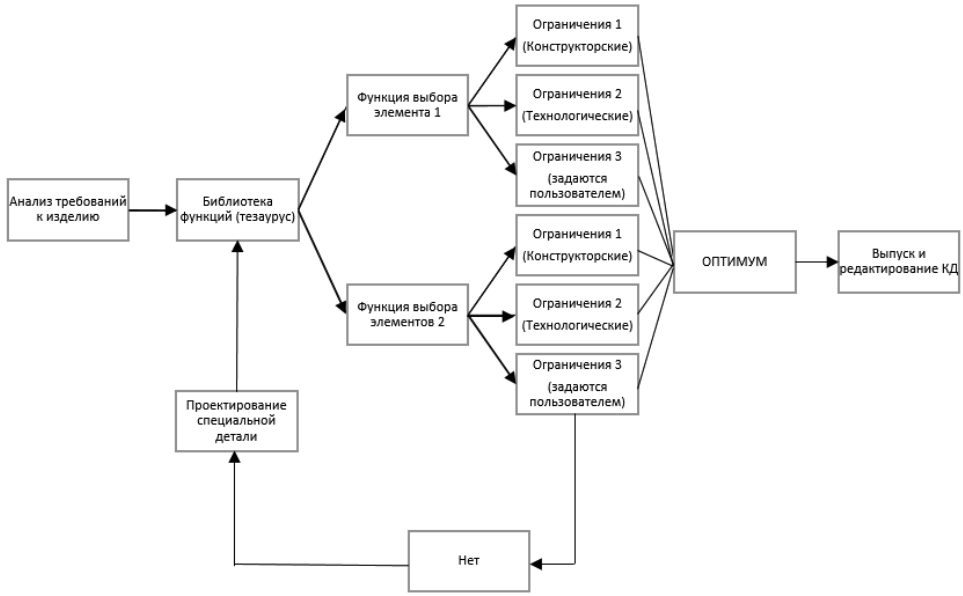


Рисунок 2 – Архитектура метода оптимизации взаимодействия «разработчик-технолог» посредством информационной среды

Здесь выделяется несколько основных функциональных блоков. Первый блок «Анализ требований к изделию» связан с базой уже известных положений по технологическому обеспечению изделия, которая основывается на «Библиотеке функций», выступающей в роле тезауруса. Пропуская через «Функцию выбора подходящих элементов конструкции», производится отбор типа конструктивных элементов для дальнейшего применения. Блок «Ограничения» накладывает конструктивные ограничения по применению этих типовых решений. Далее выбранные элементы проходят на следующий этап только если удовлетворяют всем типам ограничений. Наличие второго уровня блока «Ограничения» позволяет провести отбор элементов по критериям, которые наиболее важны в конкретном случае, например, жесткость конструкции или наименьшая масса. В случае отсутствия подходящего решения предусмотрен блок проектирования специальной детали. В этом случае подключается технологическая группа предприятия и для нетипового случая разрабатывает уникальные решения, которые в дальнейшем вносятся в тезаурус.

Итогом такого цикла подбора является выбор элементов, оптимально удовлетворяющих заданной пользователем функции. После этого, при отсутствии проблем на этапе Ограничений, производится выпуск или корректировка КД. При использовании такого подхода качество выпускаемой КД возрастет, так как пользователю дается возможность заниматься анализом предложенных различных вариантов решений и варьировать их, адаптируя под конкретную

задачу, вместо того, чтобы заниматься составлением и поиском этих решений. Оптимум не означает окончательное решение, выбор конкретного решения остается за конструктором в согласовании с технологом.

Поиск документации во время проектирования также является одной из острых проблем на предприятии. Отсутствие четко структурированного архива данных очень сильно замедляет работу предприятия. Проблема возрастания объема документации становится все более актуальной. Очевидно, что удобство поиска документации возможно только при наличии соответствующего программного интерфейса с электронными копиями архивной документации. Главными проблемами при хранении такого рода документации являются наличие реквизитов для поиска, обеспечивающих подлинность и юридическую силу документа, а также защита и удобство доступа к данным.

При всех видимых достоинствах применения электронного архива КД существует недостаток, связанный со структурой хранения электронной документации. При необходимости подобрать всю документацию на изделие приходится вначале определять по спецификациям состав документации, входящей в изделие (состав изделия), и лишь потом подбирать ее по номеру из электронного архива. При этом затрачивается огромное количество времени, так как состав одного изделия может включать тысячи и более сборочных единиц и деталей.

В ходе анализа алгоритма выпуска и утверждения электронной КД сделан вывод о наличии дублирующих и избыточных итераций при проверке. Для повышения производительности труда необходимо изменить шаблон выпуска документации (см. рисунок 3), убрав излишние этапы проверки, сохранив при этом уровень качества, выпускаемой продукции.

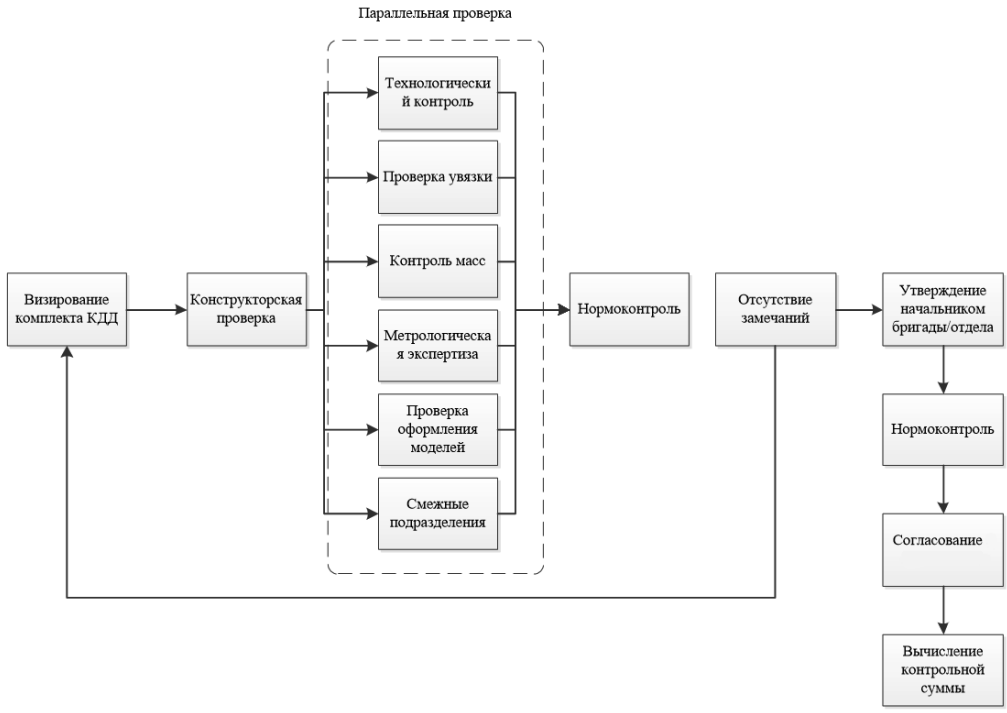


Рисунок 3 – Предлагаемый шаблон выпуска электронной документации

К особо важным факторам снижения затрат времени на производство продукции относятся: увеличение объема производства; повышение производительности труда; экономное использование сырья и материалов, совершенствование ассортимента и структуры продукции,

сокращение непроизводительных расходов и брака, сокращение затрат на обслуживание и управление процессом проектирования на предприятии. Примером улучшений может быть измененный шаблон, исключающий второстепенный технологический контроль, проверку увязки, контроль масс, метрологическую экспертизу и согласование в смежных подразделениях, так как это проводится на этапе параллельной проверки изделия. Дублирование этих итераций отнимает в среднем до 0,7 человеко-часов на каждую итерацию проверки изделия, что позволит перераспределить деятельность этих подразделений. Данное изменение позволит ускорить процесс утверждения КД за счет исключения затрат на трудоемкость, выделенную на повторную проверку для согласующих подразделений.

В дальнейшем предполагается углубленная систематизация процессов взаимодействия структурных подразделений предприятия с целью осуществления интеграции всех аспектов деятельности организации в ЕИП с поддержкой CALS-технологий, а также поиск наиболее перспективных методов улучшения кооперации на всех уровнях процесса проектирования.

Заключение

Проектирование – сложный и многосоставный процесс, вовлекающий в себя все структурные подразделения предприятия. Непрерывный анализ структуры и процесса проектирования [5] на современном предприятии авиационной отрасли является приоритетной задачей. По результатам анализа необходимо выявлять проблемные ситуации [6], требующие модернизации, и осуществлять генерацию предложений и методик по улучшению процесса взаимодействия между подразделениями на предприятии. В работе выполнена систематизация, поиск неоднозначностей, возникающих при выпуске КД. Приведенные методы оптимизации взаимодействия могут быть адаптированы для конкретного предприятия авиационной отрасли.

Список литературы

[1] Мантусов М.Н. Оптимизация конструкторско-технологического проектирования авиационных конструкций с использованием информационных технологий / М.Н. Мантусов, Г.Л. Ривин // Известия Самарского научного центра РАН. 2011. №4-2. С. 410-415.

[2] Мантусов М.Н. Научные исследования в области транспортных, авиационных и космических систем «АКТ-2009» (авиация, космос, транспорт) / М.Н. Мантусов, Г.Л. Ривин // Труды X всерос. научн.-техн. конференции и школы молодых ученых, аспирантов и студентов. 2009. С. 528.

[3] Сангадиев З.Г. Разработка модели оптимизации бизнес-процессов на авиационном предприятии / З.Г. Сангадиев, Ч.З. Сангадиев // Сибирский журнал науки и технологий. 2012. №3 (43). С.198-201.

[4] Попов П.М. Оптимальное управление в ходе эволюционного развития процессов и систем / П.М. Попов, Ф.Е. Ляшко. - Ульяновск: УлГТУ, 2000. 148 с.

[5] Боргест Н.М. Научный базис онтологии проектирования / Онтология проектирования. №1(7), 2013. – с.5-25.

[6] Виттих В.А. Понятие интерсубъективности в эвергетике / Онтология проектирования. №4(14), 2014. – с.90-97.

Biography

Zhan Seifullovich Guseinov (b.1995) graduated from the Samara State University named after academician S.P. Korolev (Samara) in 2016, Bachelor of Science. He is studying in Samara University for Master's Degree. He's working as a design engineer at Samara Design Bureau – branch of Tupolev public-joint stock company.

Nikolay Mikhailovich Borgest (b.1954) graduated from the Kuibyshev Aviation Institute named after academician S.P. Korolev (Kuibyshev-city) in 1978, PhD (1985). He is a Professor at Samara National Research University named after academician S.P. Korolev, Senior Research worker at IPUSS RAS. He is a member of the International Association for Ontology and its Applications, a member of RAAI, co-author of more 150 scientific articles and abstracts in the field of CAD and AI.

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ НЕЙРОННЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ В УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЯХ, С ЦЕЛЬЮ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ НАПРАВЛЕННОСТИ АБИТУРИЕНТОВ

А. Ю. Катьянов

Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики
43010, г. Самара, ул, Л.Толстого, д. 23, Россия
a.katyanov@litstlt.ru
тел.: +79376641430

Ключевые слова: *нейронные сети, обучение с учителем, алгоритмы, обработка информации, программирование, образование, метод обратного распространения ошибки.*

Abstract
At present, neural computing technologies are used quite actively. This article describes an example of using the technology of neural computing in order to determine the professional orientation of applicants. The solution is based on time-tested methods of designing and training neural networks.

Введение

На протяжении всего технического прогресса, человечество стремилось автоматизировать какие-либо рутинные процессы. Мозг человека, пока что единственный механизм, который не удалось воссоздать искусственно. Однако уже достаточно давно, существуют нейронные сети, концепция которых базируется на принципах взаимодействия нейронов человеческого мозга. Подобно своему биологическому прототипу, нейрон состоит из 3-х основных частей: ядро (отвечает за суммирование входящей информации), дендриты (собирают эту информацию в ядро) и аксона (передает результат функции активации на синапсы следующих нейронов). Что же касается функционирования самой нейронной сети, то передача преобразованных входных сигналов от слоя (группа из нескольких нейронов, на которые подается один и тот же сигнал) к слою осуществляется через синоптические связи. Последний слой в свою очередь выдает выходные данные для интерпретатора и конечного пользователя.

В настоящее время нейронные сети находят свое применение в решении множества задач: это и обработка больших данных и формирование предсказаний на основе уже имеющихся попыток. Далее я приведу несколько примеров использования нейронных сетей:

- экономика (прогнозирование курсов валют, оценка возможных рисков, определении финансовой привлекательности или же вероятности банкротства компаний, оценка рисков невозврата кредитов и т.д.);
- медицина и здравоохранение (мониторинг состояния пациентов, анализ рисков, которые могут появиться после той или иной операции);
- авионика (распознавание сигналов радаров, обучаемые автопилоты);
- интернет (ассоциативные поисковики, все возможные фильтры, анти спам, реклама, которую специально подбирают под потребности клиента);
- робототехника (распознавание сцены, эмоций окружающих людей, беспилотные автомобили);
- политология и социология (прогнозирование результатов выборов, динамики роста/падения рейтингов популярности);

- безопасность (распознавание отпечатков пальцев/лиц, номеров автомобилей);
- геология (анализ почвы на наличие в ней полезных ископаемых);
- сфера ИТ (программирование искусственного игрока в шахматы).

Основная положения

После окончания школы, перед абитуриентами стоит сложная задача по определению подходящего ВУЗа. Немало важным фактором является и определение вектора направления будущего обучения. Особое значение имеет предрасположенность абитуриента к тем или иным направлениям/дисциплинам. Но не всегда учитель/школьный психолог может определить эту предрасположенность. Также учитывая, что каждый год в ВУЗы поступают сотни тысяч абитуриентов, то процесс определения профессиональной направленности может потребовать значительное время.

Проанализировав описанную выше проблему и определив потенциальные возможности применения технологии нейронных вычислений, пришли к выводу, что нейронная сеть может быть использована для решения данной проблемы.

Проанализировав материалы по уже существующим известным платформам (например, Caffe, используется в задачах по классификации изображений), пришли к выводу, что для задачи по определению специальности поступающих абитуриентов, потребуется небольшая сеть.

Схема 1го нейрона показана на рисунке 1.

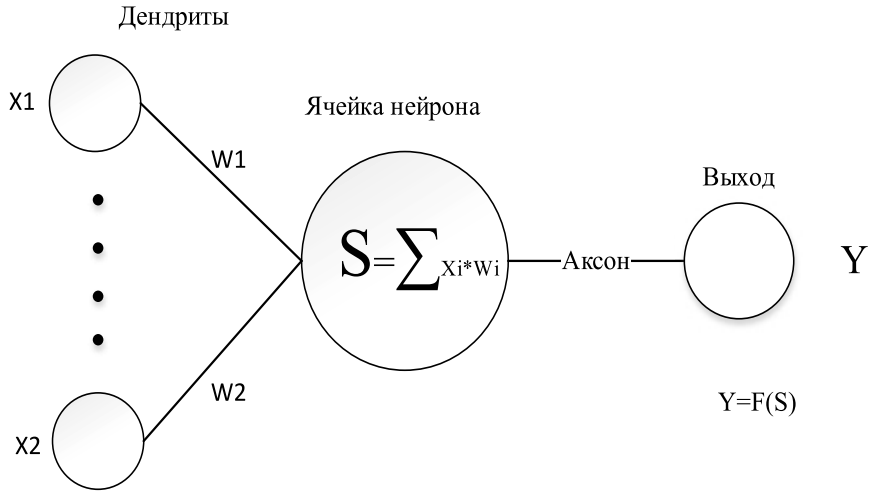


Рисунок 1 – схема нейрона

В качестве схемы, я выбрал стандартную модель нейронной сети, которая состоит из входного слоя (14 элементов), скрытого слоя (в данном случае их 3, они включают в себя 12, 7 и 10 нейронов соответственно) и выходного слоя (на выходе имеются 4 нейрона, каждый из который отвечает за то или иное решение). Схема полной нейронной сети представлена на рисунке 2. Роль функции активации исполняет так хорошо зарекомендовавший себя сигмоид. Однако данная функция хороша лишь при небольшом/среднем размере обучающей выборки, так как для ее вычисления требуются определенные ресурсы и это может сказаться на времени обучения. Данный недостаток можно решить, заменив функцию активации.

В 2011 году была представлена новая функция для активации нейронов – ReLU. Тесты показывают, что ее использование ускоряет процесс обучения нейронной сети в 4-6 раз, за счёт простоты ее вычисления, ведь ReLU представляет собой линейную функцию.

Однако у данной функции есть и минусы. Например, ее область определения должна находиться в диапазоне положительных чисел. Если же значение функции активации нейрона меньше 0, то на выход передается 0 и нейрон переходит в неактивное состояние. Такое состояние сохраняется на протяжении всего процесса обучения. В итоге мы получаем неактивные нейроны с начальными значениями весов, которые не играют никакой роли. Существует несколько разновидностей данной функции: Noisy ReLUs, Leaky ReLUs и ELUs. Все они отличаются лишь подходом к исправлению, описанного выше недостатка. Учитывая все положительные и отрицательные моменты, данная функция является наиболее часто используемой в нейронных сетях на 2018 год.

В качестве входных данных использовались оценки из аттестата абитуриентов, далее информация преобразуется с помощью весовых коэффициентов, переходя от слоя к слою. На выходе нейронная сеть формирует свое предположение, по какому направлению и на какие факультеты абитуриенту лучше обратить внимание. Таких направлений всего 3, это техническое, юридическое и лингвистическое/художественное, последний нейрон отвечает за суждение, может ли абитуриент пройти конкурс на поступление вообще, либо ему стоит рассмотреть другие учебные заведения.

Данная нейронная сеть была разработана в среде Visual Studio 2015 с помощью объектного языка программирования C++. В настоящее время большинство нейронных сетей пишется на языке Python, однако для не очень сложных задач, вполне можно использовать и C++. Для упрощения анализа и визуализации входных данных, все суждения формируются в стандартный вид файлов офисного пакета приложений MS Office либо его бесплатный аналог OpenOffice.

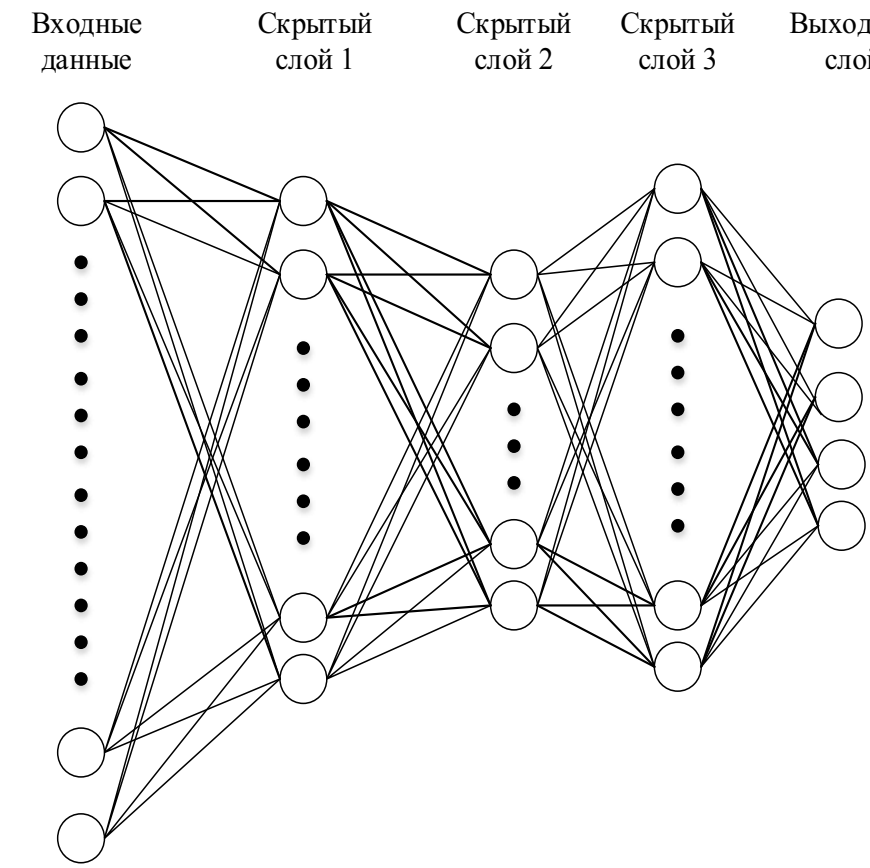


Рисунок 2 – схема нейронной сети

В ходе исследования, было определенно опытным путем, что коэффициент скорости обучения или learning rate наиболее эффективно себя показывает, находясь в интервале от 10^{-3} до 10^{-5}. Используя другие интервалы, ошибка нейронной сети либо сильно увеличивается, либо данный коэффициент начинает слабо влиять на процесс обучения, при большом количестве слоев/нейронов.

За основу обучения, был выбран самый распространенный метод – это метод обратного распространения ошибки. С его помощью корректируются веса нейронов, путем переноса ошибки с выходного слоя на входной. Перед определением весовых коэффициентов и возможных ошибок, была сформирована обучающая выборка. Она включала в себя 250 тестовых примеров. Количество обучающих эпох варьируется между 900 и 1700, в зависимости от заданного коэффициента обучения. Однако при таких начальных настройках появилась проблема “переобучаемости” сети. Если на обучающей выборке, система еще показывала стабильные результаты, то на тестовых примерах ее функциональность стремилась к 0, а вероятность ошибки к 80-100%. Данная проблема решалась в два этапа. Было принято решение увеличить размер обучающей выборки – ранее в нее входили наборы данных, по которым формировалось конкретное суждение, теперь же нейронная сеть сможет по одному и тому же набору данных сформировать несколько суждений. Это позволило системе стать более обобщенной, по сравнению с первоначальным вариантом. Второй этап заключался в попытке заставить систему адекватно реагировать на изменения в обучающей/тестовой выборке, иными словами отличать одни данные от других. Было принято решение использовать один из методов нормализации для приведения входных данных к виду [0…1]. Это позволило улучшить реакцию системы на любые изменения входных данных тестовой выборки.

Заключение

В статье был описан способ применения технологии нейронных вычислений в учебных заведениях, с целью определения профессиональной направленности абитуриентов. У данной нейронной сети присутствуют как сильные, так и слабые стороны. Повысить точность сети можно путем увеличения объёма обучающей выборки или изменением коэффициента обучения. Также можно применить более радикальные меры – замена функции активации, внедрение в нейронную сеть дополнительного блока нормализации, задача которого состоит в преобразовании полученных сигналов после каждого слоя (такую технологию используют вместе с активационной функцией ReLU) или же изменение структуры самой нейронной сети. Все зависит от поставленной задачи и требуемой точности суждения, которое может сформировать нейронная сеть.

Список литературы

[1] Электронный ресурс удаленного доступа (Internet) http://www.aiportal.ru/articles/neural-networks/back-propagation.html
[2] Электронный ресурс удаленного доступа (Internet) http://robocraft.ru/blog/algorithm/560.html
[3] Электронный ресурс удаленного доступа (Internet) https://github.com/Microsoft/caffe
[4] Электронный ресурс удаленного доступа (Internet) https://ru.wikipedia.org/wiki/Caffe
[5] Лазарев В. М., Свиридов А. П. Нейросети и нейрокомпьютеры. Монография. - М.: Академия, 2011. - 131 с.
[6] Джеффри Е. Хинтон. Как обучаются нейронные сети. // В мире науки – 2012. - № 11 - С. 103-107
[7] Садовой А. В., Сотник С. Л. Алгоритмы обучения нейронных сетей будущего. [Электронный ресурс]. http://www.alicetele.com/~sergei/articles/algo/algo.htm.
[8] Саймон Хайкин Neural Networks: A Comprehensive Foundation – 2012, 936 с.

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ БАЗЫ МЕДИЦИНСКИХ ДАННЫХ ДЛЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИКИ ЗАБОЛЕВАНИЙ

С.В. Краснов[1], С.В. Казарин[1], Н.О.Куралесова[2]

[1]Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Самарский государственный медицинский университет»
Министерства здравоохранения Российской Федерации
443001, г. Самара, ул. Арцыбушевская, 171
krasnovtlt@mail.ru
тел.: +7(909)363-18-08

[2]Образовательная автономная некоммерческая организация высшего образования
«Волжский университет имени В.Н. Татищева» (институт)
445020, г. Тольятти, ул. Белорусская, 6а
kuralesovano@vuit.ru
тел: +7(8482)28-00-45

Ключевые слова: *медицинские данные, диагностика, искусственные нейронные сети*

Abstract
The article is a result of the investigation of features of medical parameters and methods of their formation. The method of their influence on diseases diagnosis is offered.

На сегодняшний день в мире, и в том числе и в медицине, произошли колоссальные изменения, которые привели к необходимости искать новые более полные и точные методы обработки данных. С одной стороны, вирусы и бактерии в ответ на улучшение вакцин эволюционируют и появляются новые виды заболеваний, которые прогрессируют более стремительно, чем известные ранее. С другой стороны, информация о пациентах из разных источников, как и история их болезни, удваивается каждые пять лет [1]. Развитие "умной" инфраструктуры на базе Интернета вещей (англ. *Internet of Things*, *IoT*), интенсифицирует генерирование объемов информации, заставляя говорить о больших данных (англ. Big data).

В этих условиях, во-первых, уже не адекватно использование классических информационных технологий, поскольку это приводит к неэффективному и неэкономичному извлечению важной информации [2]. Во-вторых, для анализа больших данных уже не подходят инструменты традиционной классической статистики и проверка гипотез [3]. Это связано с тем, что методы статистической классификации непригодны в случаях «шумных» или неполных данных, а также в многомерных задачах классификации с высокой степенью корреляции, к которой относится и диагностика заболеваний.

Например, в работе Thakur et al. 2011 [4] для диагностики рака яичников рассматривается два инструмента классификации: линейный дискриминантный анализ (Linear Discriminant Analysis) и искусственная нейронная сеть с прямыми связями (Feed Forward Artificial Neural Network). Последняя имела более высокие показатели расчетной общей чувствительности (sensitivity) (98%) и прогностическая ценность (specificity) - 96%, чем стандартный статистический метод по тесту Стьюдента. Иными словами, биологическая информация, обработанная с использованием Т-критерия Стьюдента, имела достаточно много шума, в сравнении с высокоточной классификацией с использованием искусственная нейронная сеть с прямыми связями.

В исследовании Chan et al. 2011 [5] была разработана нейросетевая диагностическая система с целью прогнозирования фатальной гипогликемии у больных сахарным диабетом I типа. Были собраны данные от 420 пациентов: (i) физиологопсихологические параметры, (ii) изменения пульса, (iii) интервал QT сигнала электрокардиограммы, и (iv) скорость изменения ин-

тервала QT. Данные 320 пациентов использовались для обучения сети, остальные для проверки. Нейросетевая система показала лучшие значения чувствительности (79%) и специфичности (60%), чем полученных с использованием других подходов, таких как статистические или методы нечеткой регрессии.

На смену инструментам традиционной классической статистики пришли машинное обучение, нейронные сети, искусственный интеллект, который использует передовые математические и вычислительные системы, с целью прогнозирования и открытия новых знаний. Для успешного применения методов интеллектуальной системы необходимым шагом является формирование базы данных (показана на левой части рисунка 1).

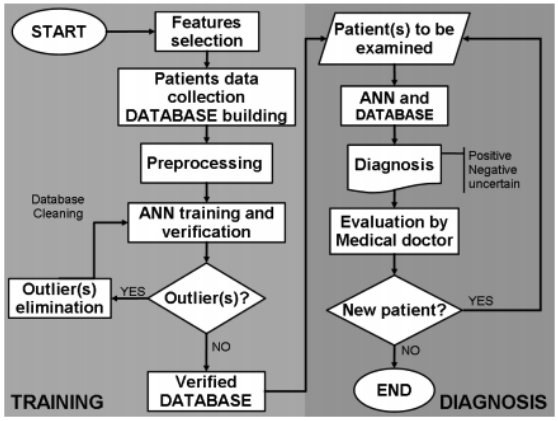


Рисунок 1 – Схема основных шагов при применении искусственных нейронных сетей для медицинской диагностики. Построение базы данных и «обучение» показана на левой части, применение для диагностики на правой

Приведем обзор исследований, в которых авторы использовали медицинские данные в моделях диагностики определенных заболеваний на основе искусственных нейронных сетей, с использованием комплекса факторов этих заболеваний [6].

Таблица 1 – Краткий обзор медицинских данных, используемых в качестве входных данных для искусственных нейронных сетей

Входные данные или метод	Заболевание	Выходная информация	Ссылка
Возраст, концентрация холестерина, артериальная гипертония	Ишемическая болезнь сердца	Диагноз	[7]
Шумы в сердце	Стеноз сердечного клапана	Диагноз	[8]
Гематологический профиль	Хронический миелолейкоз	Классификация лейкозов	[9]
Визуальная информация беспроводной капсульной эндоскопии	Опухоли тонкой кишки	Диагноз, классификация опухолей	[10]
Концентрация глюкозы – Спектроскопия ближнего инфракрасного диапазона	Диабет	Диагноз	
Демографические и клинико-патологические данные, хирургический исход	Гепатоцеллюлярная карцинома	Прогнозирование выздоровления	[11]
Цитология жидкости	Рак	Наличие злокачественных клеток в организме	[12]
Запись речи	Рак ротовой полости	Обнаружение ринолалии	[13]
Электроэнцефалография (ЭЭГ) записи	Эпилепсия	Прогнозирование приступов	[14]

Искусственные нейронные сети, как инструмент получения знаний, вносит свои требования к процессу формирования входных медицинских данных.

Медицинские данные не всегда обеспечивают актуальную информацию и не могут служить для однозначной идентификации заболевания. При структуризации, если учитывать границы интерпретации медицинских данных для диагностики, схема «один – много» дает дополнительную сложность при их формализации. Заболевание имеет множество симптомов на разных его стадиях, а так же конкретный набор симптомов указывает на множество заболеваний.

Результаты измерений (значения медицинских переменных) могут отклоняться от актуальных (реальных) значений из-за неточности и/или погрешности.

Субъективность интерпретации данных врачом и квалификация самого врача вносит дополнительную неоднозначность медицинских наблюдений.

Неполнота собранных о пациенте данных (что не всегда объективно возможно), в разные периоды времени, ограничивает их использование при систематизации диагностических процедур.

Особенности медицинских данных и методов их формирования остается незамкнутой цепочкой причинно-следственных связей (или взаимосвязей), если не учитывать стратегическую цель их использования, в частности диагностика заболевания (рисунок 2).

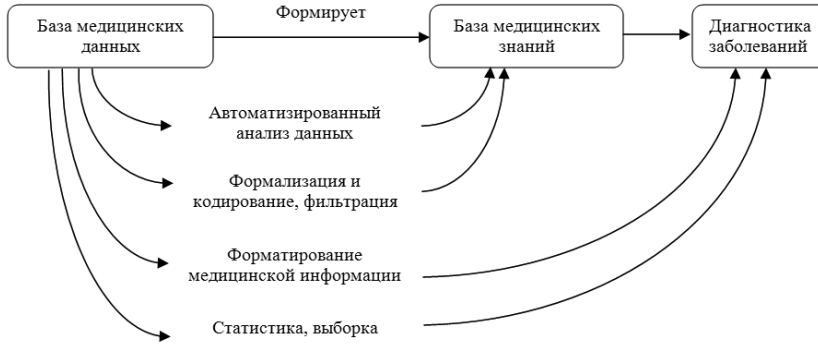


Рисунок 2 – Процессы формирования инструментария диагностики заболеваний

Задача формирования базы медицинских данных для интеллектуальной системы диагноза заболевания может включать стандартный набор первичных данных: алфавитно-цифровая информация; визуальная информация статическая и динамическая; звуковая информация; комбинированные виды информации. Дальнейшая их обработка позволяет, с учетом процессов формирования инструментария диагностики заболеваний на базе технологий искусственных нейронных сетей, получить конечные множества решений по идентификации заболевания.

Сложностью предлагаемого подхода является разработка сети оценок взаимовлияния данных пациента и приоритизации диагностических процедур для настройки нейронной сети. Математическая модель, используемая в данной разработке основана на методе приведенного градиента с последующей фильтрацией.

В этом случае потребуется необходимость обучения нейронной сети на большом множестве простых решений.

Список литературы

[1] Dejan T, Marković B. Possibilities, limitations and economic aspects of Artificial intelligence applications in healtcare. Business Economics Sustainable development and Law, Vol 5, No 1, 2016.

[2] Rometty, G. Ginni Rometty on research, social and Watson, Fortune Magazine, podcast, Published on Oct 16, 2013, video, https://www.youtube.com/watch?v=99kxWl_mefM, accessed May 03, 2015.

[3] Krumholz H. Big data and new knowledge in medicine: the thinking, training, and tools needed for a learning health system. Health Affairs, 33(7), 1163-1170, 2014

[4] Thakur A, Mishra V, Jain S. Feed forward artificial neural network: tool for early detection of ovarian cancer. Sci Pharm. 79: 493–505, 2011

[5] Chan K, Ling S, Dillon T, Nguyen H. Diagnosis of hypoglycemic episodes using a neural network based rule discovery system. Expert Syst Appl. 38: 9799–9808, 2011.

[6] F. Amato, et al. Artificial neural networks in medical diagnosis. Journal of Applied Biomedicine, 2013, 11.2: 47-58. ISSN 1214-0287.

[7] Atkov O, Gorokhova S, Sboev A, Generozov E, Muraseyeva E, Moroshkina S and Cherniy N. Coronary heart disease diagnosis by artificial neural networks including genetic polymorphisms and clinical parameters. J Cardiol. 59: 190–194, 2012.

[8] Uğuz H. A biomedical system based on artificial neural network and principal component analysis for diagnosis of the heart valve diseases. J Med Syst. 36: 61–72, 2012

[9] Dey P, Lamba A, Kumari S, Marwaha N. Application of an artificial neural network in the prognosis of chronic myeloid leukemia. Anal Quant Cytol Histol. 33: 335–339, 2012

[10] Barbosa D, Roupar D, Ramos J, Tavares A and Lima C. Automatic small bowel tumor diagnosis by using multi-scale wavelet-based analysis in wireless capsule endoscopy images. Biomed Eng Online. 11: 3, 2012.

[11] Ho W-H, Lee K-T, Chen H-Y, Ho T-W, Chiu H-C. Disease-free survival after hepatic resection in hepatocellular carcinoma patients: a prediction approach using artificial neural network. PloS One. 7: e29179, 2012.

[12] Barwad A, Dey P, Susheilia S. Artificial neural network in diagnosis of metastatic carcinoma in effusion cytology. Cytometry B Clyn Cytom. 82: 107–111, 2012.

[13] de Bruijn M, ten Bosch L, Kuik D, Langendijk J, Leemans C, Verdonck-de Leeuw I. Artificial neural network analysis to assess hypernasality in patients treated for oral or oropharyngeal cancer. Logoped Phoniatr Vocol. 36: 168–174, 2011.

[14] Fernandez de Canete J, Gonzalez-Perez S, Ramos-Diaz JC. Artificial neural networks for closed loop control of in silico and ad hoc type 1 diabetes. Comput Meth Progr Biomed. 106: 55–66, 2012.

[15] А. Г. Сбоев, С. Г. Горохова, Н. Н. Черний, Разработка нейросетевой методики раннего диагностирования ишемической болезни сердца и коронарного атеросклероза, вестник ВГУ, серия: химия. биология. фармация, 2011, № 2

МУЛЬТИАГЕНТНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ МИКРОКЛИМАТОМ И ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЕМ ЗДАНИЙ

О.Ю. Марьясин

Ярославский государственный технический университет
150023, Ярославль, Московский пр-т., 88, Россия
maryasinou@ystu.ru
тел: +7 (4852) 44-66-23, факс: +7 (4852) 44-15-30

Ключевые слова: *микроклимат, энергосбережение, мультиагентная модель, AnyLogic*

Abstract

The article deals with the problem of energy efficient management of microclimate of buildings. To solve this problem, it is proposed to use the multi-agent approach. The system uses agents of various types: local HVAC agents, zonal HVAC agents using predictive models, coordinating agents, human agents. The model of multi-agent control system for building comfort and energy management was implemented in the AnyLogic system. Numerical experiments have shown the admissibility of the multi-agent approach for energy-efficient management of the microclimate of buildings.

Введение

Современные городские жители более 80% своей жизни проводят в закрытых помещениях. Доказано, что микроклимат помещений существенно влияет на физическое и эмоциональное состояние людей, а также на их работоспособность [1]. Поэтому поддержание параметров микроклимата, определенных известными санитарными нормами и комфортных для проживания людей является главной задачей климатического оборудования, установленного в зданиях. С другой стороны, необходимость энергосбережения и снижения коммунальных платежей требует минимизации затрат энергоресурсов на поддержание микроклимата. Обеспечить выполнение этих, часто противоречивых требований, должны комплексные системы управления микроклиматом и энергопотреблением (Energy and Comfort Management System - ECMS) зданий, включающие оборудование систем отопления, вентиляции и кондиционирования (ОВК или HVAC, как их называют на западе) и, в свою очередь, являющиеся частью автоматизированных систем управления зданием (АСУЗ или Building Management System - BMS).

Современные тенденции снижения стоимости потребительской электроники и микропроцессорной техники и повышения уровня автоматизации и интеллектуализации инженерных систем зданий дают возможность совершенствования систем управления инженерным оборудованием зданий. В частности, вместо традиционных ПИД-регуляторов с изменением задания по температурным графикам, для управления тепловым режимом помещений могут использоваться более сложные алгоритмы автоматического и оптимального управления.

В зарубежных публикациях широко представлены работы, в которых для управления микроклиматом и энергопотреблением зданий предлагаются системы адаптивного и оптимального регулирования, системы на базе нечеткой логики и с использованием нейросетевых и генетических алгоритмов. Обзор таких работ можно найти, например в [2]. При этом большинство работ рассматривают людей как один из внешних факторов, то есть человеку там отводится лишь пассивная роль. Однако люди могут активно влиять на энергопотребление и микроклимат помещений, включать и выключать электроприборы и оборудование, изменять режимы и даже противодействовать работе автоматических систем.

Таким образом, с одной стороны, системы управления инженерным оборудованием зданий становятся все более интеллектуальными. Они могут длительное время функционировать в автоматическом режиме в соответствие со своими целями и задачами. С другой стороны, человек, действуя на основе своих предпочтений, может оказывать активное влияние на работу инженерных систем. Учесть указанные моменты можно при рассмотрении современного здания как мультиагентной системы (Multi-Agent Systems - MAS), в которой существует множество агентов, имеющих индивидуальное поведение и характеристики [3]. В зарубежной прессе можно найти уже достаточно много работ, посвященных применению мультиагентного подхода для управления микроклиматом и энергосбережением зданий [4, 5, 6]. Появились даже специальные термины для обозначения таких систем – Multi-Agent Home Automation System (MAHAS) [4], Multi-Agent Comfort and Energy System (MACES) [5], Multi-Agent System for Building cOntrol (MASBO) [6]. Однако многие работы рассматривают эту тему лишь на общем, описательном уровне и только в некоторых работах приводятся реализации мультиагентного подхода на базе известных инструментов моделирования мультиагентных систем [7].

1 Архитектуры мультиагентных систем управления зданием

В зарубежной прессе нет единого взгляда на архитектуру мультиагентной системы управления микроклиматом и энергопотреблением зданий. Так в работе [6] архитектура мультиагентной системы, включает персональных агентов, локальных агентов, центральных агентов и агентов контроля и управления. Персональные агенты связаны с пользователями и предоставляют такую информацию о пользователях как их предпочтения (предпочтительная температура и влажность в помещении) и местоположение. Каждой зоне здания назначается свой локальный агент. Локальные агенты действуют как посредники и поставщики информации для центральных агентов. Для каждого параметра микроклимата назначается агент контроля и управления. Задачей центрального агента является управление всей системой и координация инженерных систем здания.

Подобная система, основанная на персональных агентах, локальных агентах и центральных агентах рассматривалась и в работе [8]. Здесь персональные агенты способны прогнозировать предпочтения пользователей на основе изучения их поведения. Локальные агенты решают задачи управления отдельными инженерными системами, а центральные агенты обеспечивают координацию между локальными агентами, принимая во внимание общую цель системы. В работе [9] используются только центральные и локальные агенты. Центральные агенты являются интеллектуальными и вычисляют задания по температуре, освещенности и влажности на основе предпочтений пользователя и метеоданных, используя метод роя частиц (swarm optimization). Локальные агенты используют нечеткое регулирование для поддержания заданных значений параметров микроклимата. В работе [10] рассмотрена MAS система, включающая персональных агентов комфорта, агентов отдельных помещений, агентов параметров микроклимата и агентов, отслеживающих местоположение людей в здании.

В работе [11] представлена MAS система, включающая агентов поставщиков и агентов потребителей. Агенты потребители определяют требования к параметрам микроклимата помещений и передают их агентам поставщикам. Агенты поставщики оценивают расходы необходимые для обеспечения требований агентов потребителей. Управление системой регулируется путем переговоров между этими агентами. Дополнительно к агентам поставщикам, которые производят энергию и агентам потребителям, которые потребляют необходимое для поддержания комфорта количество энергии, в работе [12] вводятся агенты дистрибьютеры, занимающиеся транспортировкой и распределением энергии и агенты среды, предоставляющие необходимую информацию о параметрах микроклимата.

Архитектура MAS системы предложенная в работе [13] содержит различные типы агентов: агент помещения (агенты потребители), агент поставщик, агент посредник и агент брокер.

Агенты помещений являются потребителями тепла или холода. Их задача - оценить потребность в тепле или холоде и сделать соответствующий запрос агенту брокеру. В агентах помещения используются ПИД-регуляторы и на основе этого, определяется мощность, необходимая для поддержания заданных параметров микроклимата. Запросы мощности могут быть сделаны от каждого отдельного агента помещения, что позволяет пользователям корректировать параметры микроклимата в соответствии с их потребностями. Агенты поставщики представляют собой объекты в системе, которые поставляют тепло или холод, например, котлы, тепловые насосы или чиллеры. Их задача – продать брокеру тепло или холод и предоставить необходимую мощность при успешной сделке. Агенты посредники могут одновременно выступать и как агенты поставщики и как агенты потребители. С помощью данных агентов в мультиагентной системе можно строить каскадные структуры.

На основе анализа различных источников, а также учитывая российскую специфику, вызванную влиянием особых климатических условий и особенностями отечественных инженерных систем зданий, автором была предложена следующая структура мультиагентной системы управления микроклиматом и энергосбережением зданий (рисунок 1).

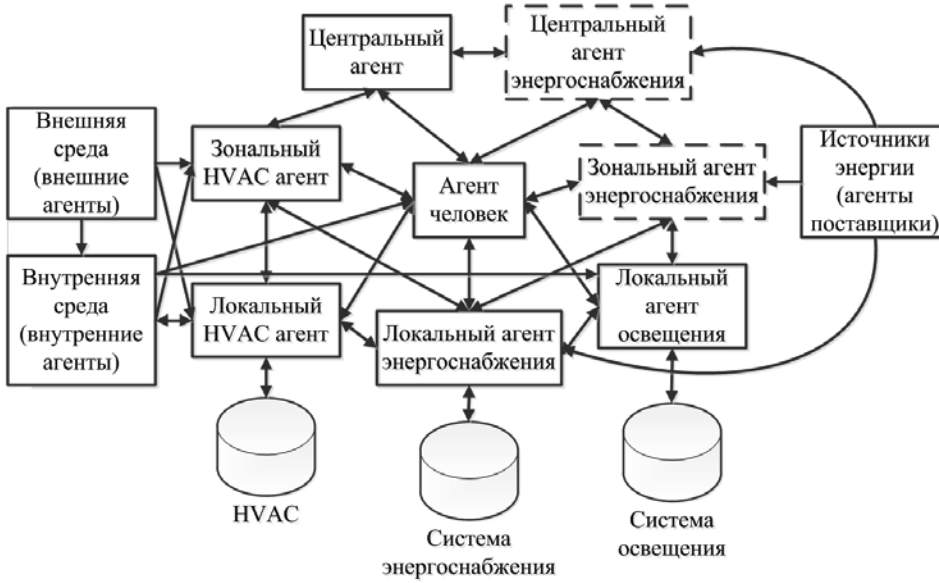


Рисунок 1 – Архитектура мультиагентной системы управления микроклиматом здания

На рисунке 1 управление HVAC оборудованием, электроприборами и приборами освещения осуществляется локальными HVAC агентами, локальными агентами энергоснабжения и локальными агентами освещения. Локальные агенты представляют собой традиционное инженерное оборудование (термостаты, вентиляторы, приборы освещения и другие) и локальные системы управления данным оборудованием, реализующие несложные сценарии или законы управления. Локальные HVAC агенты и локальные агенты освещения получают информацию о параметрах внешней и внутренней среды, а локальные агенты энергоснабжения о текущей потребляемой и максимально допустимой мощности энергоносителей. Сигналы управления локальные HVAC агенты и локальные агенты освещения могут получать от зональных HVAC агентов, локальных агентов энергоснабжения и непосредственно от агентов людей.

Зональные HVAC агенты и зональные агенты энергоснабжения представляют собой интеллектуальные алгоритмы управления, реализуемые АСУЗ. Они получают информацию о

параметрах внешней и внутренней среды, информацию от локальных агентов, информацию о предпочтениях людей, их наличие в помещениях. Они могут использовать прогнозирующие алгоритмы для предсказания значений температуры, освещенности и других внешних и внутренних параметров. На основе полученной информации они формируют сигналы задания для локальных агентов с использованием методов оптимизации и оптимального управления, прогнозирующего и интеллектуального управления.

Центральные агенты или агенты координаторы согласовывают работу зональных агентов в плане достижения глобальной цели обеспечения максимальной комфортности для людей при минимуме энергозатрат. Центральные агенты получают информацию от зональных агентов, от агентов людей и от источников энергоресурсов. Они производят обработку и накопление полученной информации, а также контролируют соблюдение глобальных ограничений на энергоресурсы для всей системы. Штриховой линией обозначены агенты, реализация которых еще только планируется. Внешняя среда, внутренняя среда и источники энергии пока также не реализованы как агенты, а используются только как источники информации.

2 Мультиагентаная модель в системе AnyLogic

Для анализа энергопотребления и функционирования инженерного оборудования здания авторами была разработана компьютерная модель в системе AnyLogic [14]. Одной из основных причин, по которой была выбрана система AnyLogic, это то, что она поддерживает технологию агентного моделирования, а также включает пешеходную библиотеку для моделирования движения пешеходов (людей) в физическом пространстве. В моделях, созданных с помощью пешеходной библиотеки, пешеходы движутся в пространстве, реагируя на различные виды препятствий в виде стен и других пешеходов. Пешеходная библиотека AnyLogic позволяет наглядно визуализировать моделируемый процесс с помощью анимации, исследовать функционирование системы при различном уровне человекопотока и определять время пребывания людей в каких-то определенных участках модели.

В основе разработанной компьютерной модели лежит поэтажный план реального здания. Фрагмент модели в процессе имитации в системе AnyLogic 8 показан на рисунке 2.

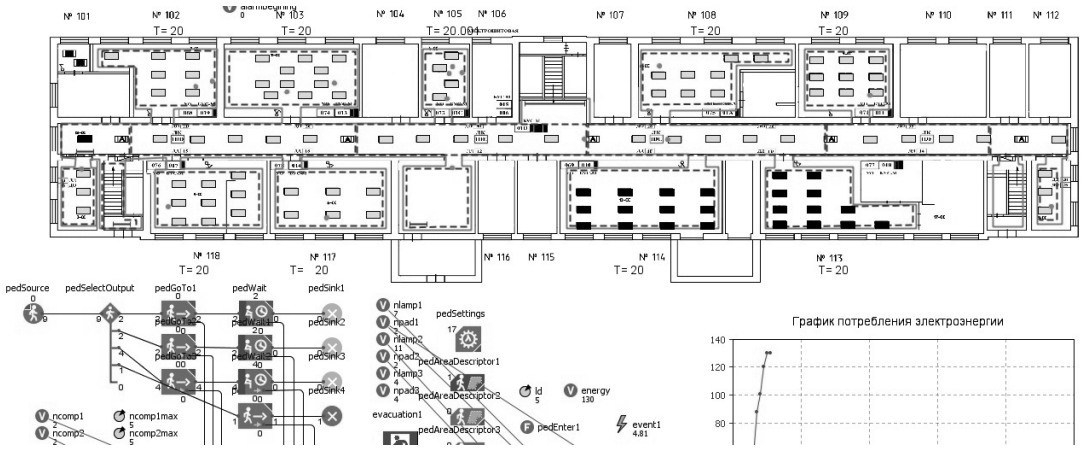


Рисунок 2 – Фрагмент модели в процессе имитации в системе AnyLogic

Вся область главного коридора, по которой движутся пешеходы, разделена на зоны. Каждой зоне соответствует своя группа светильников, управляемая от одного контроллера освещения (локального агента освещения). При попадании пешеходов в зону, срабатывает датчик движения и зажигается соответствующая группа светильников. Горение светильников про-

должается в течение интервала времени задержки или пока в зоне действия датчика движения не появятся новые пешеходы. Пешеходы, попавшие в помещения могут задерживаться там на различное время. Внутри помещения работники могут включать различные офисные или бытовые электроприборы.

Состав агентов модели показан на рисунке 3. Все агенты кроме centralHVACAgent являются популяциями агентов. Кроме этого, для описания поведения людей, в модели был создан тип агента HumanAgent, расширяющий класс Пешеход пешеходной библиотеки. Все параметры, переменные, функции и диаграммы, относящиеся к конкретному типу агентов, расположены на соответствующих диаграммах агентов. Для взаимодействия между агентами модели используется механизм сообщений.

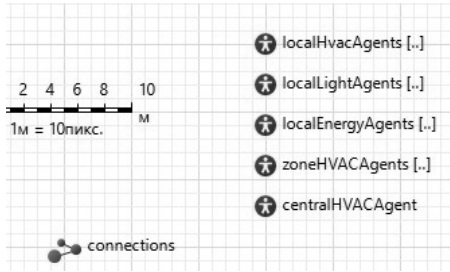


Рисунок 3 – Состав агентов модели

Работа систем электроснабжения и освещения здания моделировалась с помощью средств пешеходной библиотеки, программирования на языке Java, диаграмм действий и состояний. Моделирование микроклимата в помещениях основано на уравнениях теплового и материального баланса. Динамика микроклимата помещения описывалась системой дифференциальных уравнений рассмотренной в работе [15]. Моделирование уравнений динамики для каждого помещения проводилось с помощью палитры компонентов “Системная динамика” системы AnyLogic.

Система ОВК должна регулировать расход тепла от отопительных приборов (радиаторов, конвекторов) и расход свежего воздуха так, чтобы обеспечить требуемый микроклимат в помещениях. При этом необходимо добиваться экономии тепла и электроэнергии, потребляемой при работе оборудования системы ОВК. Это возможно за счет использования зональными HVAC агентами специальных алгоритмов оптимального прогнозирующего управления микроклиматом и периодического, когда это возможно отключения или снижения мощности климатического оборудования (насосов, вентиляторов).

С разработанной компьютерной моделью были проведены численные эксперименты для различных значений параметров модели. Полученные в результате выполнения одного из экспериментов графики расхода электроэнергии (кВт) и тепла (кКал/с) показаны на рисунке 4.

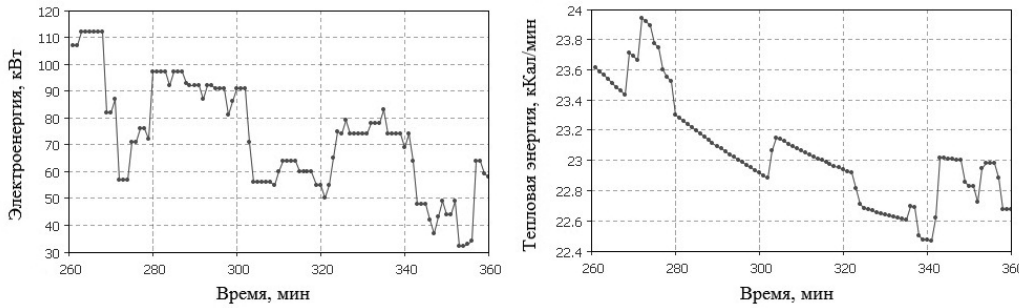


Рисунок 4 – Графики потребления электрической и тепловой энергии

Модель позволяет исследовать зависимость энергопотребления от интенсивности человекопотока в коридорах и на лестничных клетках, числа людей в помещениях, количества включенных светильников и электроприборов, внешних метеорологических факторов, применяемых алгоритмов автоматического управления и т.д. Использование мультиагентного подхода

позволяет полнее учесть эффекты взаимодействия между отдельными элементами системы, а также влияние, оказываемое людьми на работу инженерного оборудования.

Заключение

Проведенные исследования показали полезность разработанной мультиагентной модели, так как она позволяет учесть большое количество факторов, включая стохастические, оказывающих влияние на функционирование здания, а также рассмотреть различные варианты реализации алгоритмов управления инженерным оборудованием зданий. В результате экспериментов установлено, что прямая экономия электроэнергии, за счет использования энергосберегающей системы освещения и других мероприятий, может достигать до 25-30%, а экономия тепла при использовании энергоэффективных, погодозависимых алгоритмов управления теплоснабжением с учетом внутренних тепловыделений может достигать до 15-20%.

Таким образом, мультиагентная модель может использоваться на практике для оценки показателей функционирования и энергопотребления зданий при планировании энергосберегающих мероприятий или при проведении энергетического обследования административных, офисных и общественных зданий.

Список литературы

[1] Кувшинов Ю.Я., Самарин О.Д. Основы обеспечения микроклимата зданий: Учеб. для вузов. – М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2012. – 200 с.

[2] Shaikh P.H., Nor N.M., Nallagowngen P., Elamvazuthi I., Ibrahim T. A review on optimized control systems for building energy and comfort management of smart sustainable buildings. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 34, 2014, 409–429 pp.

[3] Multiagent Systems: A Modern Approach to Distributed Artificial Intelligence. The MIT Press, 2002, 585 p.

[4] Abras S., Ploix S., Pesty S., Jacomino M. A multi-agent home automation system for power management. Third International Conference in Control, Automation and Robotics, 2006, 59–68 pp.

[5] Klein L., Kwak J., Kavulya G., Jazizadeh F., Becerik-Gerber B., Varakantham P., Tambe M. Coordinating occupant behavior for building energy and comfort management using multiagent systems. Automation in Construction, 22, 2012, 525–536 pp.

[6] Booy D., Liu K., Qiao B., Guy C. A semiotic multi-agent system for intelligent building control. In Proceedings of the 1st International Conference on Ambient Media and Systems, 2008.

[7] Kollmann S., Siafara L.C., Schaat S., Wendt A. Towards a Cognitive Multi-agent System for Building Control, Procedia Computer Science, Volume 88, 2016, 191–197 pp.

[8] Yang R., Wang L. Development of multi-agent system for building energy and comfort management based on occupant behaviors. Energy and Buildings, 2013, 1–7 pp.

[9] Wang Z., Wang L., Dounis A. I., Yang R. Multi-agent control system with information fusion based comfort model for smart buildings. Applied Energy, 99, 2012, 247–254 pp.

[10] Davidsson P. Boman M. Saving energy and providing value added services in intelligent buildings: A MAS approach. In Agent Systems, Mobile Agents, and Applications, 2000, 166–177 pp.

[11] Huber M., Brust S., Schütz T., Constantin A., Streblow R., Müller D. Purely agent based control of building energy supply systems. In ECOS - International Conference on Efficiency, Cost, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems, 2015.

[12] Lacroix B., Paulus C., Mercier D. Multi-Agent Control of Thermal Systems in Buildings, Conference Agent Technologies in Energy Systems, 2012.

[13] Sangi R., F Bünning F., Fütterer J., Müller D. A platform for the agent-based control of HVAC systems. Proceedings of the 12th International Modelica Conference, 2017, 799-808 pp.

[14] AnyLogic – инструмент многоподходного имитационного моделирования. URL: http://www.anylogic.ru/ (дата обращения: 27.04.2018).

[15] Колодкина А.С., Огарков А.А., Марьясин О.Ю. Комплексное моделирование переноса тепла, влаги и газовых примесей для управления микроклиматом в здании. Сборник трудов “Математика и естественные науки. Теория и практика”: Межвуз. сб. науч. тр. вып. 10. - Ярославль: Издат. дом ЯГТУ, 2015. – С. 145-154.

ПАТТЕРНЫ СТРУКТУРНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ СИСТЕМЫ ИЗМЕРЯЕМЫХ СВОЙСТВ В ОНТОЛОГИЧЕСКОМ АНАЛИЗЕ ДАННЫХ

Д.Е. Самойлов[1,2], В.А. Семенова[2], С.В. Смирнов[2]

[1] Самарский национальный исследовательский университет им. академика С.П. Королева, Московское шоссе 34А, Самара, Россия, 443086

[2] Институт проблем управления сложными системами РАН, Садовая 61, Самара, Россия, 443020

Ключевые слова: *онтологический анализ данных, формальный контекст, система измеряемых свойств, ограничения существования свойств, паттерн структурной организации*

Abstract

Properties existence constraints for objects of the subject domain are necessary knowledge to create a correct formal context for the ontological analysis task of empirical data. Therefore, the researcher must a priori construct a system of measurable properties, i.e. a set of measured properties with binary relations of incompatibility and conditionality given on it. The article exhaustively identifies and analyzes all the patterns of the structural organization of the system of measured properties in the ontological data analysis.

Введение

Термином «*Онтологический анализ данных*» (ОАД) мы именуем *процесс* вывода *формальной онтологии* интересующей исследователя предметной области (ПрО) из доступных данных, которые рассматриваются как результат измерений свойств объектов исследуемой ПрО [1-3]. Для краткости этот же термин используется нами и для обозначения *методического комплекса*, на основе которого реализуется рассматриваемый процесс анализа [4, 5]. Кроме формальной онтологии – описательной модели ПрО - к ОАД можно отнести и извлечение из данных *множества импликаций на признаках объектов* - предсказательную модель ПрО, более известную как целевой результат задачи *поиска ассоциативных правил* [6-8].

Независимо от цели моделирования ПрО важнейшим этапом ОАД является формирование *однозначного формального контекста* (ФК) - кортежа $\boldsymbol{K} = (G^*, M, I)$, где $G^* = \{g_i\}_{i=1,\dots,r}$, $r = |G^*| \geq 1$ - множество наблюдавшихся объектов, $G^* \subseteq G$, G – всё гипотетически мыслимое множество объектов исследуемой ПрО; $M = \{m_j\}_{j=1,\dots,s}$, $s = |M| \geq 1$ - априори заданный набор измеряемых у объектов свойств, $|M| \geq 1$; I - бинарное соответствие «объекты-свойства», т.е. совокупность оценок истинности $\|b_{xy}\| \in \{\textbf{Истина}, \textbf{Ложь}\}$ базовых семантических суждений (БСС) об изучаемой ПрО вида b_{xy} = «объект x обладает свойством y».

Формирование ФК в общем случае осложнено *неполнотой и противоречивостью* эмпирической информации о ПрО. Это приводит к «размытости» связей «объекты-свойства» [3, 9]; поэтому *корректное построение однозначного соответствия I* возможно лишь при учете априори известных экзистенциональных зависимостей между измеряемыми свойствами объектов, или *ограничений существования свойств* (ОСС) [3, 10, 11]:

- *несовместимости* $E: M \times M \to \{\textbf{Истина}, \textbf{Ложь}\}$, когда, обладая свойством m_j, объект g_i заведомо не обладает свойством m_k, и наоборот, т.е. $E(m_j, m_k) = \textbf{Истина} \leftrightarrow \forall g_i \in G^*: m_j \in \{g_i\}' \to m_k \notin \{g_i\}'$ (здесь и далее «'» есть оператор Галуа соответствия I);
- *обусловленности* $C: M \times M \to \{\textbf{Истина}, \textbf{Ложь}\}$, когда, обладая свойством m_j, объект g_i непреложно обладает свойством m_k (хотя обратное может быть неверно), т.е. $C(m_j, m_k) = \textbf{Истина} \leftrightarrow \forall g_i \in G^*: m_j \in \{g_i\}' \to m_k \in \{g_i\}'$.

Таким образом, ОАД предполагает *априорное* построение исследователем ПрО *системы измеряемых свойств* (СИС) – множества измеряемых свойств с заданным на нем бинарными отношениями несовместимости и обусловленности ((*M*, *E*, *C*)-кортежа).

В общей постановке вопросы *структурной организации* СИС рассматривались в [12, 13], где установлен ее многоуровневый рекурсивный характер, обусловленный возможностью неоднократно раз за разом повторять процедуру *дизъюнктивного* (или номинального) и *уточняющего* (или порядкового) *концептуального шкалирования* [13-15] измеряемых свойств, расширяя и усложняя СИС. В завершенном виде *стратегия* априорного формирования СИС обоснована в [13] путем реконструкции *логико-понятийного генезиса* ОСС.

Данная статья посвящена *тактике* формирования СИС, т.е. выявлению всех возможных шаблонов выполнения рекурсивной процедуры пополнения множества измеряемых свойств и получаемых при этом результатов - структурных *паттернов сопряжения измеряемых свойств* (ПСС).

1 Группа сопряженных свойств

Рисунок 1 вводит графическую нотацию сущностей необходимых для описания структурной организации СИС.

Среди этих сущностей центральным концептом является «*группа сопряженных свойств*» (ГСС):

- измеряемое свойство составляет *одиночную* ГСС, единственный член которой самообусловлен. В качестве графического образа одиночной ГСС может использоваться собственно значок свойства, но в любом случае «петлю самообусловленности» на диаграммах будем только подразумевать;
- ГСС образуют все *отличительные свойства* [1, 6] *гипотетического формального понятия*, вводимого исследователем при формировании СИС (подробнее об этом априорном действии исследователя см. в [13]). Члены такой ГСС взаимно обусловлены (ВЗО-группа);
- множество измеряемых свойств, вводимых в *M* в результате *дизъюнктивного шкалирования* уже имеющегося в *M* измеряемого свойства, определяет ГСС, члены которой несовместимы (Н-группа);
- измеряемое свойство, подвергнутое *уточняющему шкалированию*, *вместе с измеряемым свойством, вводимым в M в результате этого шкалирования* образуют ГСС, в которой второе из указанных свойств обуславливает первое (О-группа).

Нетрудно видеть, что такое определение ГСС устанавливает частично упорядоченное отношение *вложенности*/*замещения* на множестве ГСС. В частности:

- ГСС, включающая *протосвойство* (свойство, решение измерять которое у наблюдаемых объектов, задает *исходное гипотетическое понятие* об исследуемой ПрО [13]) или множество взаимообусловленных отличительных свойств исходного гипотетического формального понятия, *не вложена ни в какую* ГСС (рисунок 2*a*);
- ГСС, включающая *некоторую часть множества отличительных свойств* гипотетического формального понятия, вложена в ГСС всех этих отличительных свойств и замещает в ней указанную часть свойств (рисунок 2*b*);
- ГСС, включающая множество измеряемых свойств, вводимых в *M* в результате *дизъюнктивного шкалирования*, вложена в ГСС, содержащую подвергнутое шкалированию свойство, и его *замещает* (рисунок 2*c*);
- ГСС, включающая измеряемое свойство, подвергнутое *уточняющему шкалированию*, *вместе с измеряемым свойством, вводимым в M в результате этого шкалирования*, вложена в ГСС, содержащую подвергнутое шкалированию свойство, и его замещает (рисунок 2*d*).

Термин «*замещение*» применительно к ГСС подчеркивает, что на множестве ГСС как и на множестве измеряемых свойств заданы отношения несовместимости и обусловленности.



Рисунок 1 – Основные сущности задачи формирования структурной организации системы измеряемых свойств и их обозначение
(знак «≡» используется для указание эквивалентности структурных элементов и изображений)

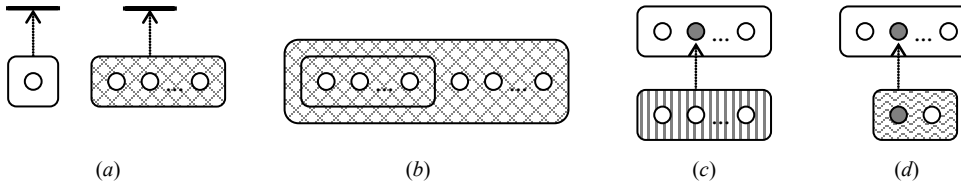


Рисунок 2 – Вложенность/замещение групп сопряженных свойств

2 Шкалирование протосвойства

2.1 Дизъюнктивное шкалирование протосвойства

ПСС дизъюнктивного шкалирования протосвойства недвусмысленно следует из определения операции *деления понятия* [16, 17], сопровождающего такое шкалирование. Речь идет об исходном гипотетическом понятии о ПрО, которое выдвигается исследователем при решении измерять протосвойство, и содержание которого исчерпывается протосвойством. На рисунке 3*a* в одиночной ГСС протосвойство замещается группой из $n \geq 2$ новых несовместимых измеряемых свойств.

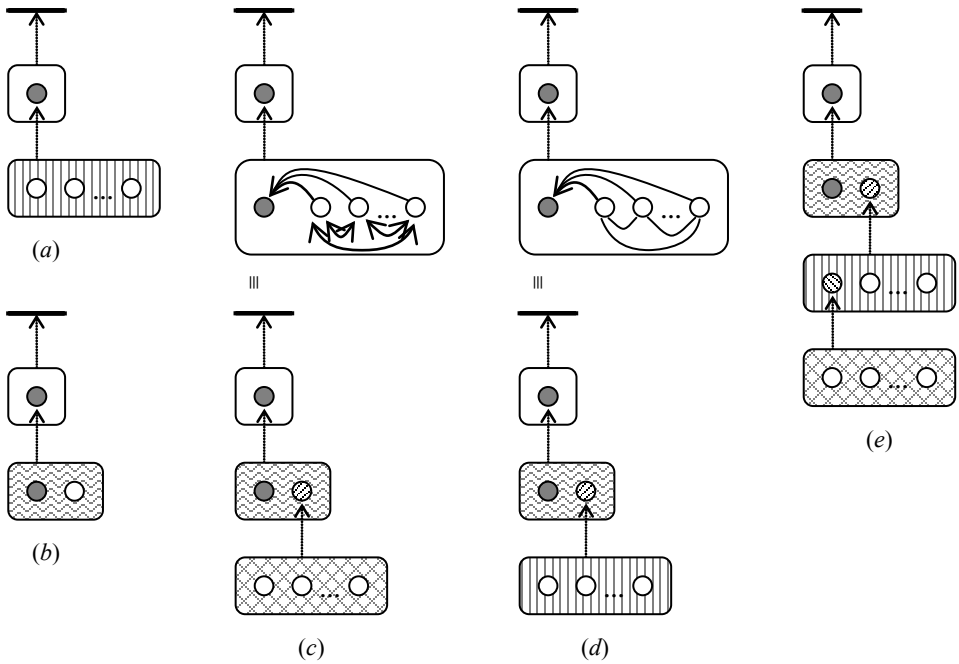


Рисунок 3 – Структурные паттерны сопряжения измеряемых свойств при шкалирование протосвойства

2.2 Уточняющее шкалирование протосвойства

В данном случае конфигурация ПСС непосредственно следует из определения операции *ограничения понятия* [16, 17], содержание которого составляет протосвойство, и иллюстрируется рисунком 3*b*.

ПСС на рисунке 3*b* соответствует типичному случаю, когда ограничение понятия производится с помощь добавления *одного* нового измеряемого свойства, которое становится *единственным отличительным* свойством нового формального понятия (подпонятия). Однако в общем случае образуемое подпонятие может быть охарактеризовано $m > 1$ отличительными свойствами, которые, естественно, будут взаимно обусловлены. Тогда ПСС, соответствующий данному случаю, приобретает *два* уровня как показано на нижней части рисунка 3*c*.

Еще один результирующий ПСС уточняющего шкалирования протосвойства связан с тем, что исходное понятие может ограничиваться с образованием $n \geq 2$ подпонятий. Необходимые для этого n новых уточняющих измеряемых свойств будут несовместимы. Поэтому третий ПСС также имеет два уровня (см. нижнюю часть рисунка 3*d*).

Наконец, учитывая возможность композиции рассмотренных выше случаев, ПСС при уточняющем шкалировании протосвойства приобретает трехуровневый вид, что иллюстрирует рисунок 3*e*.

3 Шкалирование необусловленного измеряемого свойства

Необусловленные измеряемые свойства добавляются, например, при дизъюнктивном шкалировании протосвойства (рисунок 3*a*) или в результате уточняющего шкалирования (рисунок 3*b*).

3.1 Дизъюнктивное шкалирование необусловленного измеряемого свойства

Очевидно, что при замещении одного из m свойств Н-группы n новыми измеряемыми свойствами нет необходимости создавать новые ГСС. ПСС фиксирует в данном случае расширение состава существующей Н-группы до $(m - 1) + n$ свойств (рисунок 4).

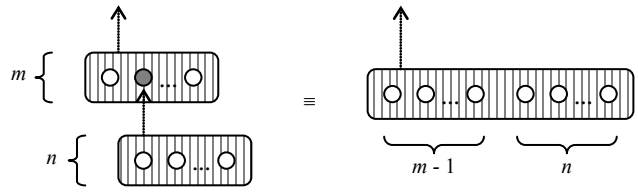


Рисунок 4 – Структурный паттерн сопряжения измеряемых свойств
при дизъюнктивном шкалировании необусловленного измеряемого свойства

Дизъюнктивное шкалирование необусловленного измеряемого свойства, когда оно само является обусловливающим свойством (рисунок 3*b*), фактически уже рассмотрено. Возникающий ПСС составляет легко идентифицируемую часть структурных паттернов на рисунках рисунках 3*d* и 3*e*.

3.2 Уточняющее шкалирование необусловленного измеряемого свойства

Необусловленность шкалируемого измеряемого свойства означает отсутствие каких-либо сдерживающих экзистенциональных ограничений для уточняющего шкалирования. Поэтому ПСС, возникающие при шкалировании необусловленного измеряемого свойства эквивалентны паттернам, возникающим при уточняющем шкалировании протосвойства. Таким образом, эти ПСС составляют легко идентифицируемые части структурных паттернов, представленных на рисунках 3*b*-3*e*, где вместо протосвойства фигурирует необусловленное измеряемое свойство из некоторой Н-группы.

4 Шкалирование обусловленного измеряемого свойства

Исключим пока из рассмотрения случай, когда шкалируемое свойство *взаимно обусловлено* с другими свойствами. Тогда можно утверждать, что обусловленность измеряемого свойства свидетельствует о том, что оно ранее было подвергнуто уточняющему шкалированию (см. рисунки 3*b*-3*e*).

4.1 Дизъюнктивное шкалирование обусловленного измеряемого свойства

Вообще говоря, в данном случае требуется заместить свойство, обусловленное m измеряемыми свойствами, n новыми измеряемыми свойствами. Это порождает *комбинаторное число* вариантов сопряжения свойств, уже «уточняющих» делимое гипотетическое понятие, отличительным свойством которого является подвергаемое дизъюнктивному шкалированию

измеряемое свойство, и новых свойств, определяющих деление этого понятия. Проблема состоит в конструировании всех таких вариантов с целью выбора единственного, отвечающего совокупности определенных предпочитаемых исследователем гипотез об изучаемой ПрО. Однако нетрудно понять, что соответствующая такому выбору исследователя конфигурация свойств и зависимостей между ними может быть получена при иной, легко контролируемой *последовательности* шкалирования рассматриваемого измеряемого свойства, когда сначала выполняется дизъюнктивное шкалирование, а затем - надлежащее уточняющее шкалирование измеряемых свойств, заместивших рассматриваемое свойство.

На этом основании, дизъюнктивное шкалирование обусловленного измеряемого свойства можно исключить из числа механизмов формирования СИС.

4.2 Уточняющее шкалирование обусловленного измеряемого свойства

Естественно исходить из того, что к моменту такого шкалирования конструирование СИС приходило с использованием рассмотренных ПСС (см. рисунки 3*b*-3*e*). Это вполне определяет условия решения рассматриваемой задачи шкалирования. Для вводимых при уточняющем шкалировании n новых измеряемых свойств существуют лишь следующие альтернативы:

- свойства попадут в состав отличительных свойств уже существующего гипотетического формального понятия и войдут в соответствующую ВЗО-группу (рисунок 3*c*);
- свойства пополнят множество несовместимых обусловливающих свойств и соответствующую Н-группу (рисунок 3*d*), причем с учетом пересечений доменов значений у старых и новых «уточняющих» свойств (и, следовательно, введения *дополнительных новых* «уточняющих» свойств, характеризующих такие пересечения) состав Н-группы возрастет не менее, чем на n единиц;
- произойдет и первое, и второе, т.е. реализуется соответствующий фрагмент структурного паттерна, представленного на рисунке 3*e*. При этот количественный состав ВЗО- и Н-групп будет отвечать конкретным гипотетическим представлениям исследователя об изучаемой ПрО.

5 Шкалирование измеряемого свойства, являющегося членом группы взаимно-обусловленных свойств

ВЗО-группы – часто встречающийся элемент структурной организации СИС (см. рисунки 2*a*, 3*c*, 3*e*). Например, все задачи классического анализа данных *фактически* по умолчанию исходят из предположения о взаимной обусловленности *всех* свойств, измеряемых у объектов изучаемой ПрО [18, 19].

Деление объема или выделение части объема гипотетического формального понятия, чьи отличительные свойства составляют ВЗО-группу, вызывают весьма специфические проблемы. Их причиной является *потенциальная согласованность* вариантов и результатов шкалирования разных измеряемых свойств, являющихся членами ВЗО-группы. Согласованность состоит в том, что частям объема понятия, выделяемым при его делении или ограничении путем шкалирования одного из свойств ВЗО-группы, соответствуют *вполне определенные* части домена значений другого свойства это группы (и *только эти* части домена второго свойства). Это означает, что шкалирование первого свойства «*автоматически*» приводит к соответствующему шкалированию второго свойства и наоборот.

5.1 Дизъюнктивное шкалирование измеряемого свойства, являющегося членом группы взаимно-обусловленных свойств

Пусть ВЗО-группа включает m измеряемых свойств. Рассмотрим для иллюстрации ВЗО-группу состоящую из трех ($m = 3$) измеряемых свойств $\{x, y, z\}$ (рисунок 5*a*). Предположим, что дизъюнктивному шкалированию подвергается свойство x, замещаемое новыми измеряемыми свойствами x_i, $i = 1,2,\ldots, n$, $n \geq 2$. Тогда отсутствие согласованности при конкретном

(с точки зрения деления домена значений) шкалировании свойства x определит структуру сопряжения, приведенную на рисунке 5*b*. Согласованность конкретного дизъюнктивного шкалирования свойства x (и y) при $n = 2$ определяет ПСС со *смешанной* ГСС (С-группой), приведенный на рисунке 5*c*. Согласованность шкалирования при $n = 3$ имеет уже четыре ПСС – см. рисунки 5*d* и 5*e* (последний показывает один из трех аналогичных ПСС, определяемых перестановками «ведущих» свойств x_1, x_2, x_3). И т.д. для различных сочетаний m и n.

Таким образом, мы опять имеем дело с *комбинаторным числом* потенциальных ПСС. Однако здесь в силу простоты генерации допустимых паттернов легко осуществить компьютерную поддержку исследователя, формирующего СИС.

Ситуация может радикально усложниться, когда дизъюнктивному шкалированию подвергаются несколько членов ВЗО-группы. Если имеет место согласованность шкалирования двух или более свойств, то не исключена «*интерференция*» результатов такого шкалирования. Единственным способом поддержать исследователя в такой ситуации будут средства «ручного» конструирования необходимой С-группы свойств, замещающих вовлеченные в шкалирование свойства ВЗО-группы.

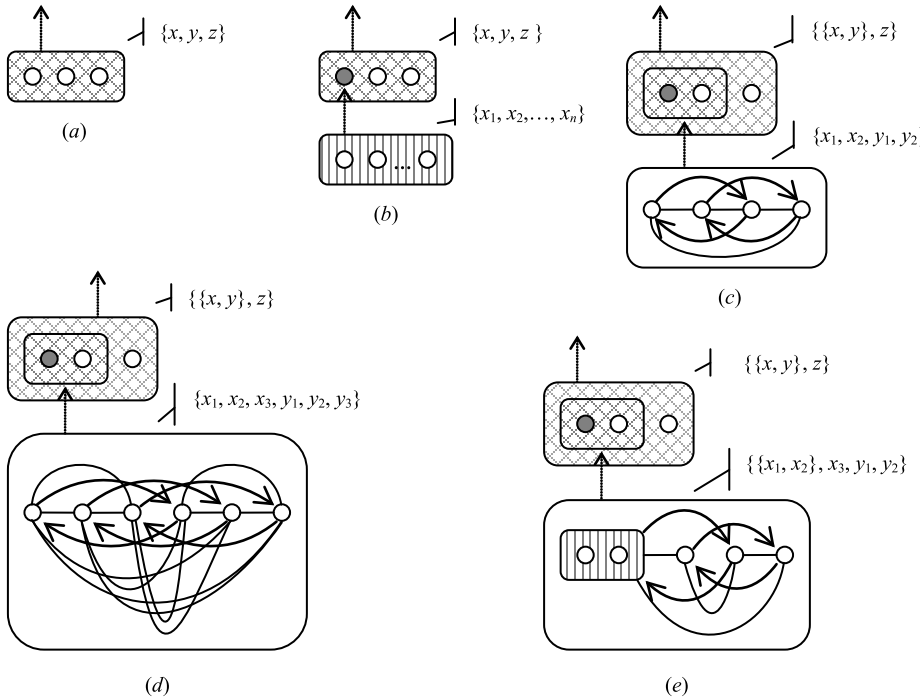


Рисунок 5 – Структурные паттерны сопряжения измеряемых свойств при дизъюнктивном шкалировании измеряемого свойства, являющегося членом группы взаимно-обусловленных свойств

5.2 Уточняющее шкалирование измеряемого свойства, являющегося членом группы взаимно-обусловленных свойств

Нетрудно показать, что в силу *транзитивности* отношения обусловленности [10, 11] добавление нового измеряемого свойства при таком шкалировании приведет лишь к включению этого свойства в рассматриваемую ВЗО-группу. Разумеется, это утверждение справедливо и при уточняющем шкалировании n новыми измеряемыми свойствами.

Заключение

В целом предложенная здесь концепция системы измеряемых свойств (СИС) в онтологическом анализе данных (ОАД) обобщает формальные схемы описания ограничений существования свойств (ОСС), ранее построенные в работах авторов, и по-прежнему базируется на элементарных ограничениях сосуществования любых сущностей – *несовместимости* и *обусловленности* (*нейтральность*, *безразличие* не рассматривается как ограничение, но структурно всегда проявляется; наша модель в этом смысле также не является исключением).

Количество паттернов, определяющих структурную организацию СИС, ограничено т.к. результат выполнения рекурсивной процедуры концептуального шкалирования измеряемых свойств будет зависеть от «предыстории» - отношений несовместимости и обусловленности, в которые уже включено шкалируемое измеряемое свойство, а количество вариантов такого «включения» *конечно*.

Тем не менее, представленное в данной статье видение ОСС в ОАД претерпело существенное усложнение. Однако это не влечет пересмотр эвристики, ранее предложенный авторами для преодоления исходной «размытости» соответствия «объекты-свойства» [3, 9, 20]:

- выбор порога доверия к исходным данным *произволен*;
- соответствующий порогу и, в общем случае, недопустимый состав свойств каждого объекта искомого однозначного формального контекста следует последовательно сокращать за счет *отсечения* на каждом шаге свойства, нарушающего ОСС;
- механизм отсечения состоит в *локальном ужесточении* порога доверия в пределах каждой группы сопряженных свойств (ГСС) в СИС, когда основным критерием выбора измеряемого свойства для отсечения служит *минимальное ужесточение* выбранного порога доверия.

Вместе с тем, алгоритм, реализующий эвристику, при новой модели ОСС должен быть существенно модифицирован. Прежде всего, задачей исследования и разработки должны стать рекурсивные составляющие алгоритма для обработки многоуровневой структуры ОСС.

Благодарности

Статья подготовлена по материалам научных исследований в рамках субсидированного государственного задания Институту проблем управления сложными системами РАН на НИР по теме «Интерсубъективное управление инновационным развитием социотехнических объектов с применением онтологических моделей ситуаций».

Список источников

[1] Смирнов, С.В. Онтологический анализ предметных областей моделирования / С.В. Смирнов // Известия Самарского научного центра РАН. - 2001. - Т. 3, № 1. - С. 62-70.

[2] Смирнов, С.В. Построение онтологий предметных областей со структурными отношениями на основе анализа формальных понятий / С.В. Смирнов // Знания – Онтологии – Теории: Материалы Всероссийской конф. с международным участием (3-5 октября 2011 г., Новосибирск, Россия). Т. 2. – Новосибирск: Институт математики СО РАН, 2011. - С. 103-112.

[3] Самойлов, Д.Е. Анализ неполных данных в задачах построения формальных онтологий / Д.Е. Самойлов, В.А. Семенова, С.В. Смирнов // Онтология проектирования. – 2016. – Т. 6, №3(21). - С. 317-339.

[4] Семенова, В.А. OntoWorker: программная лаборатория для онтологического анализа данных / В.А. Семенова, В.С. Смирнов, С.В. Смирнов // Труды XVII международной конф. «Проблемы управления и моделирования в сложных системах» (22-25 июня 2015 г., Самара, Россия). Самара: СамНЦ РАН, 2015. - С. 382-393.

[5] Зубцов, Р.О., Алгоритмическое и программное обеспечение онтологического анализа данных / Р.О. Зубцов, В.А. Семенова, С.В. Смирнов // Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем = Open Semantic Technologies for Intelligent Systems (OSTIS-2016): Мате-

риалы VI международ. науч.-тех. конф. (18-20 февраля 2016 г., Минск, Беларусь) / Редкол.: В.В. Голенков (отв. ред.) [и др.]. – Минск: БГУИР, 2016. – С. 83-88.
[6] Ganter, B. Formal Concept Analysis. Mathematical foundations / B. Ganter, R. Wille. - Berlin-Heidelberg: Springer-Verlag, 1999. - 290 p.
[7] Ignatov, D.I. Introduction to Formal Concept Analysis and Its Applications in Information Retrieval and Related Filds / D.I. Ignatov // In: P. Braslavski, N. Karpov, M. Worring, Y. Volkovich, D.I. Ignatov (Eds.): Information Retrieval. Revised Selected Papers 8th Russian Summer School, RuSSIR 2014 (Nizhniy Novgorod, Russia, August 18-22, 2014). – Springer International Publishing, 2015. – P. 42-141.
[8] Agrawal, R. Mining Associations between Sets of Items in Massive Databases / R. Agrawal, T. Imielinski, A. Swami // Proc. of the 1993 ACM-SIGMOD Int'l Conf. on Management of Data.- P. 207-216.
[9] Смирнов, С.В. Многозначная и нечеткая логики в онтологическом анализе данных / С.В. Смирнов // Информационные технологии и системы: Труды Третьей международной науч. конф. ИТиС-2014 (26 февраля - 2 марта 2014 г., Банное, Россия) / Отв. ред.: Ю.С. Попков, А.В. Мельников. - Челябинск: Изд-во Челябинского гос. ун-та, 2014. – С. 90-91.
[10] Lammari, N. Building and maintaining ontologies: a set of algorithms / N. Lammari , E. Metais // Data & Knowledge Engineering. – 2004. - Vol. 48(2). - P. 155-176.
[11] Пронина, В.А. Использование отношений между атрибутами для построения онтологии предметной области / В.А. Пронина, Л.Б. Шипилина // Проблемы управления. - 2009. - №1. - С. 27-32.
[12] Самойлов, Д.Е. Модель ограничений существования свойств в онтологическом моделировании / Д.Е. Самойлов, В.А. Семенова, С.В. Смирнов // Проблемы управления и моделирования в сложных системах: Труды XIX международной конф. (12-55 сентября 2017 г., Самара, Россия). – Самара: ООО «Офорт», 2017. - С. 468-473.
[13] Самойлов, Д.Е. Фрактальность ограничений сосуществования свойств в задачах машинного обучения / Д.Е. Самойлов, В.А. Семенова, С.В. Смирнов // Сборник трудов IV международной конференции и молодежной школы «Информационные технологии и нанотехнологии» ИТНТ-2018 (24-27 апреля 2018 г., Самара, Россия). – Самара: Новая техника, 2018. – С. 2512-2518.
[14] Ganter, B. Conceptual scaling / B. Ganter, R. Wille // In: F. Roberts (Ed.): Applications of Combinatorics and Graph Theory to the Biological and Social Sciences. - New York Springer-Verlag, 1989. – P. 139-167.
[15] Самойлов, Д.Е. Субъективные аспекты формирования и обработки данных в анализе формальных понятий / Д.Е. Самойлов, С.В. Смирнов // Информационные технологии и нанотехнологии (ИТНТ-2016): Материалы Международной конференции и молодежной школы (17-19 мая 2016 г., Самара, Россия). - Самара: Изд-во СамНЦ РАН, 2016. – С. 1038-1043.
[16] Ивин, А.А. Словарь по логике / А.А. Ивин, А.Л. Никифоров. – М.: Гуманит. изд. центр ВЛАДОС, 1997. – 384 с.
[17] Бочаров, В.А. Основы логики / В.А. Бочаров, В.И. Маркин. – М.: ИНФРА-М, 1998. – 296 с.
[18] Загоруйко, Н.Г. Прикладные методы анализа данных и знаний / Н.Г. Загоруйко. – Новосибирск: Институт математики СО РАН, 1999. – 270 с.
[19] Барсегян, А.А. Анализ данных и процессов / А.А. Барсегян, М.С. Куприянов, И.И. Холод, М.Д. Тесс, С.И. Елизаров. - 3-е изд., перераб. и доп. – СПб.: БХВ-Петербург, 2009. – 512 с.
[20] Офицеров, В.П. Метод альфа-сечения нестрогих формальных контекстов в анализе формальных понятий / В.П. Офицеров, В.С. Смирнов, С.В. Смирнов // Проблемы управления и моделирования в сложных системах: Труды XVI международной конф. (30 июня - 03 июля 2014 г., Самара, Россия). – Самара: СамНЦ РАН, 2014. - С. 228-244.

ПРИМЕНЕНИЕ ОНТОЛОГИИ В МУЛЬТИАГЕНТНОЙ СИСТЕМЕ АДАПТИВНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ

П.О. Скобелев[1], А.А. Жиляев[2,3], О.И. Лахин[3], И.В. Майоров[1,3], Е.В. Симонова[2,3]

[1]Институт проблем управления сложными системами РАН
443020, Самара, ул. Садовая, 61, Россия,
petr.skobelev@gmail.com
[2]Самарский национальный исследовательский университет им. академика С.П. Королёва
443086, Самара, Московское шоссе, д.34, Россия
zhilyaev@smartsolutions-123.ru
[3]ООО «НПК «Разумные решения»
443013, Самара, ул. Московское шоссе, 17, офис 12-01, Россия
info@smartsolutions-123.ru
тел: +7 (846) 279-37-79

Ключевые слова: *сложные системы, управление ресурсами, планирование в режиме реального времени, онтологии, мультиагентные технологии, сеть потребностей и возможностей, самоорганизация, адаптивность*

Abstract
In this paper we introduce the use of ontology for scheduling, which provides the opportunity to create ontological model of the enterprise, develop generic multi-agent scheduler and customize matching requirements for each operation in business or technological processes, for example, for applications in manufacturing, project management, supply chains, etc. The example of applications for supply chain of insurance company is presented.

Введение

На современном этапе развития систем управления производством и систем распределения и планирования ресурсов появляются значительные трудности, характерные для предприятий, работающих в условиях высокой динамики. Неопределенности могут быть связаны с проблемами учета множества различных факторов, таких как необходимость индивидуального подхода к каждому заказу, динамика цен на комплектующие, вариативность поставок от предприятий-смежников, срыв сроков, непрерывные изменения технологий, возникновение различных непредвиденных событий, непосредственно влияющих на производственные процессы предприятия в целом и т.д.

Существующие системы управления производством имеют широкий функционал и возможности интеграции с исполнительными модулями. Они сопровождают производственные процессы от выпуска до формирования на доставку. Однако они лишены инструментов поддержки принятия решений и реакции на динамические изменения ситуации [1-4].

Таким образом, поддержание производственных планов в адекватном состоянии на всех уровнях, с учетом неопределенности времени и характера изменений, становится актуальной задачей. Современные интегрированные производственные системы должны гибко и оперативно реагировать на события, учитывать распределенный характер большинства подсистем управления и отсутствие централизации в них, самостоятельно принимать решения об исправлении и парировании непредвиденных ситуаций и выдавать обновленные согласованные планы [5]. Основные принципы построения и внедрения таких систем рассмотрены в [6]. Решение подобной плохо формализованной задачи должно выполняться в

режиме реального времени, поэтому система управления должна строиться на сетецентрических принципах и быть адаптивной к изменениям.

Для учета непредвиденных событий, неопределенностей, динамики цен и доступности ресурсов большое распространение получают мультиагентные системы, в которых текущее расписание строится при помощи агентов задач и ресурсов, взаимодействующих путем передачи сообщений в сетях потребностей и возможностей на основе самоорганизации [7].

1 Мультиагентные технологии для планирования ресурсов

Разработанный подход основан на концепции сетей потребностей и возможностей [8, 9]. Агенты ПВ-сети [10] взаимодействуют друг с другом посредством переговоров в сцене мира, которая строится как отражение реальной ситуации в реальной жизни, с текущим планом действий и ожидаемыми результатами, доступными агентам предприятия или подразделения (например, цеха) на соответствующих уровнях (рисунок 1). Агент заказа зачитывает структуру предприятия из онтологии и определяет отношения ресурсов, необходимых для его исполнения. Агент нового заказа, поступив в сцену, обращается к агенту предприятия со своими требованиями. Агент предприятия (штабной агент) активизирует агенты подразделений, которые создают агенты технологических процессов, а также операций и подзадач, которые направляют запросы к ресурсам – станкам, оборудованию, материалам. Агенты выполняют матчинг по соответствиям типов, производительности, требованиям к персоналу. Ресурсы (станки, специалисты) анализируют локальные расписания и проверяют возможные размещения. Агент нового заказа пытается договориться с мешающими ему заказами о подвижках и соответствующих компенсациях, в режиме проактивности меняя локальные расписания. При достижении консенсуса новое расписание принимается всеми участниками. В противном случае итерации (волны) переговоров затрагивают более глубокие слои расписания с участием отдаленных участников по цепочке.

Такой распределенный подход позволяет повышать сложность решаемых задач, сколь угодно расширяя постановку задачи и вводя новых агентов, например, для учета ремонта оборудования, транспортировки продукции и т. д.

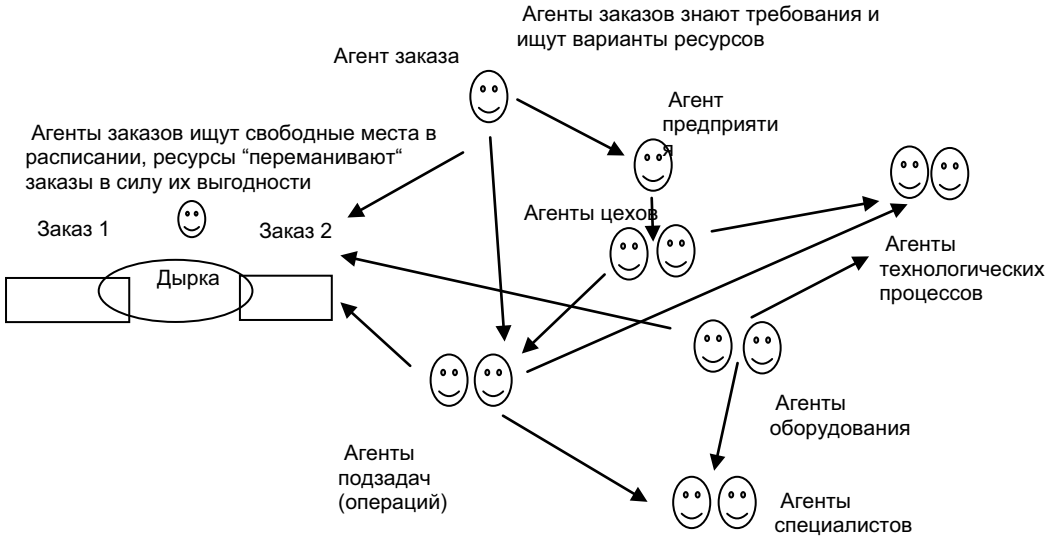


Рисунок 1 – Сцена мира заказов и ресурсов

2 Метод адаптивного планирования

Формализованная постановка задачи основана на поиске консенсуса между агентами на виртуальном рынке ПВ-сетей и может быть сформулирована следующим образом [7].

Предположим, что все агенты потребностей и возможностей имеют свои собственные цели, критерии, предпочтения и ограничения (например, сроки, стоимость, риски, приоритеты, необходимое оборудование или квалификации работников). Важность каждого критерия может быть представлена весовыми коэффициентами в линейной комбинации критериев для данной ситуации, но может меняться при формировании или исполнении расписания.

Введем функцию удовлетворенности (Satisfaction function) для каждого агента, которая будет показывать отклонение текущего значения этой функции от заданного идеального по любому из критериев текущего шага поиска решения.

Пусть у каждой потребности j есть несколько индивидуальных критериев x_i и предложенных идеальных значений x_{ij}^{id}. Для каждого агента потребности j нормированная функция вычисляется компонентом i, заданным, например, как линейная функция $f_{ij}^{task}(x_i\text{-}x_{ij}^{id})$. В большинстве случаев эта функция имеет форму колокола с вершиной в точке предполагаемого идеального значения. В качестве итогового результата для каждой потребности оценивается сумма виртуальных значений для каждого критерия i с заданными весовыми коэффициентами α_{ij}^{task}.

При правильном выборе признаков и формы функции цель каждого агента может быть переформулирована как увеличение (максимизация) значения y_j^{task} потребности j (задача верхнего индекса означает, что значения принадлежат агентам потребности):

$$y_j^{task} = \sum_i \alpha_{ij}^{task} \cdot f_{ij}^{task}(x_i - x_{ij}^{id}),$$

где $\forall j$ весовые коэффициенты нормированы: $\sum_i \alpha_{ij}^{task} = 1$

Проблема нахождения состояний x_{ij}^{*} агентов потребностей j, максимизирующих общую стоимость всех заказов, может быть сформулирована следующим образом:

$$\begin{aligned} & y^{task} = \sum_j \beta_j^{task} y_j^{task} = \sum_j \beta_j^{task} \sum_i \alpha_{ij}^{task} f_{ij}^{task}\left(x_i - x_{ij}^{id}\right) \\ & y^{task^*} = \max_{x_i}(y^{task}) \end{aligned} \quad (1)$$

где β_j^{task} - это вес потребности, который позволяет устанавливать и динамически изменять приоритеты, показывающие важность критериев.

Аналогично, функция значений может быть задана для ресурсов по критериям z_k, с функцией $f_{kl}^{res}(z_k\text{-}z_{kl}^{id})$, весом α_{kl}^{res} критерия k для ресурса l и значением ресурса β_l^{res} для системы (что аналогично весу функций агентов потребностей):

$$\begin{aligned} & y^{res} = \sum_l \beta_l^{res} \cdot y_l^{res} = \sum_l \beta_l^{res} \sum_k \alpha_{kl}^{res} \cdot f_{kl}^{res}\left(z_k - z_{kl}^{id}\right) \\ & y^{res^*} = \max_{z_k}(y^{res}) \end{aligned} \quad (2)$$

$$z_k \in D^K \,,\, x_i \in D^I \;\; \forall i,k, I = Dim(D^I), K = Dim(D^K) \quad (3)$$

Переменные x и z относятся к некоторым областям пространства критериев потребностей и возможностей, I и K являются размерами соответствующих пространств критериев, верхний индекс *res* означает, что значения принадлежат агентам возможностей.

Таким образом, в сети потребностей и возможностей задача оптимизации сформирована как решение (1) - (3).

Разработанный метод основан на концепции ПВ-сети, где агенты существуют на виртуальном рынке и постоянно стремятся улучшить свои индивидуальные функции

удовлетворенности (которые отражают их заданные многокритериальные цели) с использованием функций бонусов и штрафов (рисунок 2).

Агенты пытаются максимизировать свои функции удовлетворенности, используя доступные им виртуальные деньги: чем лучше позиция, тем больше бонус и тем больше денег на виртуальном счете агента. Чем больше денег, тем больше вариантов для перестройки расписания.

Функции бонусов и штрафов отражают изменения в функции удовлетворенности агентов и определяют гибкость компромиссов при решении конфликтов.

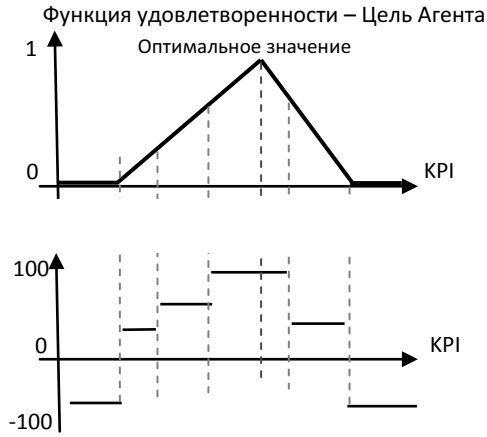


Рисунок 2 – Пример функции удовлетворенности

Протоколы решения конфликтов основаны на модификациях контрактной сети – каждая задача может быть расположена на свободном слоте, сдвинута, отброшена, разделена или заменена.

Однако в случае конфликта один агент может предложить компенсацию другому агенту, а второй агент примет предложение, только если его функция удовлетворенности не ухудшится [11].

Разные протоколы могут определять различные методы решения конфликтов.

Общее поведение сложных систем – это развитие через взаимодействие агентов, что, в свою очередь, ограничивает их поведение. Такое поведение называется эмерджентным. Оно недетерминировано и непредсказуемо, но не хаотично.

Чрезвычайная ситуация приводит к неустойчивым равновесиям, связанным с обоснованным консенсусом многих конфликтующих агентов, которые представляют сбалансированные расписания, обеспечивающие адаптивность к внешним факторам.

Более подробно логика принятия решений и протоколы переговоров агентов представлены в [6].

3 Использование онтологии для настройки мультиагентного планирования

Переход к цифровой экономике предполагает развитие методов и средств формализованного представления знаний, которые должны обеспечивать возможность унифицированного построения цифровых моделей всех аспектов деятельности предприятий для обеспечения возможностей по управлению ресурсами предприятий, по поддержке

взаимодействия в рамках отраслевых цифровых платформ, прозрачности движения товаров и предоставления услуг и т. д.

Такого рода модели должны включать в себя описание объекта и предмета деятельности предприятия, требований к качеству изделий и процессов, состав подразделений до уровня каждого сотрудника с присущими им компетенциями применяемыми инструментами, технологические или бизнес-процессы и другую нормативно-техническую документацию, регламенты взаимодействий подразделений и специалистов, результаты модельных и натурных испытаний объектов и т. д.

Такие знания можно эффективно хранить в виде онтологий и использовать для управления ресурсами предприятий. Для практического применения данного подхода требуется решение ряда фундаментальных научных задач – какова должна быть структура онтологии предприятия? Какого рода инструменты должны применяться для создания промышленных Баз знаний на основе онтологий? Какие механизмы должны быть заложены в работу таких Баз знаний, чтобы обеспечить автоматизацию работы со знаниями и их интеграцию с существующими базами данных? Каков их жизненный цикл?

Известные конструкторы онтологий (Protégé, OntoEdit, OntoLingva и другие) преследуют исследовательские цели, не предназначены для построения моделей деятельности, тем более, масштаба предприятий, не дают возможность строить базы знаний с тысячами экземпляров, сложны и трудоемки в использовании.

В этой связи становится актуальной и значимой разработка методов и средств формализованного представления знаний, которые позволят связать в единую семантическую сеть различные по своим форматам данные, обеспечить удобный доступ пользователей к этой информации, а также сделать эти знания пригодными для компьютерной обработки. При этом важно предоставить пользователям возможность семантизации информации (классификации и параметризации квантов знаний, их связывания и т. п.), включая возможность построения семантических дескрипторов (мета-данных), подходящих для компьютерной обработки. Но сама природа систем знаний не статична, она постоянно развивается – в этой связи нужно сделать знания активными за счет применения мультиагентных технологий, чтобы иметь возможность поддержать процессы сопоставления квантов знаний, их категоризации, классификации, связывания и т. д.

В результате знания предприятия могут быть организованы в интуитивно понятную систему типа Википедии, в которой поддерживаются процессы самоорганизации, таким образом, чтобы знания были по возможности полными и связанными, не противоречивыми, наглядными и прозрачными, открытыми к изменениям.

Текущие тенденции развития интеллектуального производства связаны с использованием таких методов как онтологическое представление знаний, машинное обучение, базы знаний и т. д., которые являются очень важными и перспективными для применения в промышленности.

В [12] представлена интеллектуальная мультиагентная система управления производством на основе онтологий. С помощью семантических технологий обеспечивается высокая адаптивность и реактивность настройки мелкосерийного производства высокотехнологичной продукции, такой как производство самолетов, на стадии ramp-up.

В [13] представлен метод описания производственных ресурсов на основе многоуровневой онтологии описания производственных ресурсов, а также управления производственными ресурсами. Использование онтологии обеспечивает точность и полноту поиска производственных ресурсов. Однако данный метод не обеспечивает настройку индивидуальных особенностей задач и производственных ресурсов в онтологии распределения ресурсов для управления и планирования на предприятии.

В [14] описывается применение онтологии в распределенной семантической сети производственных цехов предприятия для формирования эффективной и масштабируемой системы взаимодействия и поиска данных по информационным запросам.

Из этих примеров уже видно, что онтологии становятся средством управления приложениями, но возможность детального описания задач не была исследована.

Одним из новых этапов в наших мультиагентных разработках стало создание прототипа новой базы знаний, основанной на онтологии, для адаптивного планирования. Ключевая идея этой задачи заключалась в сборе, формализации и применении знаний о конкретных предметных областях на уровне конечных пользователей (работников, водителей и т. д.) Подобные знания могут значительно улучшить качество получаемого расписания.

Проблема в том, что такие обычно скрытые знания очень сложно формализовать в начале разработки программного обеспечения, и они становятся доступными только тогда, когда первые варианты расписаний, сгенерированные системой, поступают к пользователям.

В качестве первого шага была разработана «Базовая онтология планирования», в которой описываются следующие ключевые понятия:

Каждая из трех составляющих этой части имеет свой стиль оформления:

- Заказ – описывает, какой продукт или услуга требуется;
- Технологический или Бизнес-процесс – описывает набор выполняемых задач (операций);
- Задача (операция) – определяет работу, которая должна быть выполнена, включая все необходимые ресурсы;
- Ресурс – люди, оборудование или материалы, необходимые для выполнения задач или операций;
- Продукт – добавление выпускаемой продукции, используемой в операциях;
- Отдел – состоит из ресурсов разных типов.

Кроме того, был введен ряд классов отношений для увязки вышеупомянутых понятий, в том числе:

- Заказ «Создает» Объекты – описывает, какие объекты будут созданы для заказа;
- Объект 1 «Является-Частью» Объекта 2 – описывает сборку объектов;
- Объект «Имеет» Бизнес-процесс – описывает технологические или бизнес-процессы, доступные для производства объектов;
- Задача 2 «Является-Следующей-или-Предыдущей» для Задачи 1 – описывает взаимозависимость задач в бизнес-процессе;
- Задача «Требует» Ресурс – описывает правила соответствия для выбора ресурсов;
- Задача «Производит» Продукт – описывает производимые объекты для задач;
- Задаче «Нужны» Материалы – описывает входные объекты для задач и т. д.

На втором этапе были разработаны Конструктор Онтологии и База Знаний, созданная в виде семантической Wiki (рисунок 3).



Рисунок 3 – Фрагмент базовой Онтологии Планирования

С помощью Конструктора Онтологии можно спроектировать онтологию планирования для определенной предметной области, а затем с помощью этой онтологии домена указать онтологическую модель (Онто-модель) предприятия.

Онто-модель предприятия содержит онтологическое описание всех экземпляров сущностей, необходимых для адаптивного планирования заказов по ресурсам:

- организационная структура предприятия, которая определяет, какие ресурсы доступны в отделах;
- список продуктов или услуг;
- список сотрудников по отделам с их компетенциями;
- перечень станков, оборудования и инструментов по отделам;
- первоначальный график задач по отделам;
- состояние продуктов и материалов на складе и т. д.

В качестве третьего этапа был разработан мультиагентный планировщик на основе общей базы знаний, который может быть настроен для любого типа предприятия.

Вариант добавления новых отношений в базе знаний в качестве новых правил соответствия дает возможность конечным пользователям расширять онтологию предметной области и онто-модель предприятия «на лету» и тем самым улучшать качество расписаний.

4 Применение базы знаний в адаптивном планировщике для страховой компании

Рассмотрим пример разработки мультиагентного планировщика для цепочки поставок в страховом бизнесе. Страховая компания сталкивается с множеством непредвиденных заявок, связанных с климатическими изменениями - плохими погодными условиями, торнадо, наводнением и т. д.

Предположим, что у страховой компании есть следующие ресурсы, которые используются для ремонта застрахованных объектов:

- Четыре оценщика, которые выезжают к клиентам на своих собственных или арендованных автомобилях;
- После посещения оценщики пишут отчет по заявке и направляют его менеджеру, который решает, как необходимо действовать по данной заявке, и принимает по ней решение;
- Ремонт имущества осуществляется водопроводчиками, электриками и/или строителями;

- Ремонтные материалы приобретаются закупщиками и транспортируются из магазинов по адресам заявок грузовыми автомобилями;
- Собственные автомобили, арендованные автомобили и грузовики добираются до места назначения по маршрутам.

В процессе обработки заявок могут возникать различные непредвиденные события. Цель системы состоит в том, чтобы планировать ресурсы для обработки заявок в режиме реального времени и перераспределять затронутые части расписания всякий раз, когда происходит непредвиденное событие.

Для рассматриваемого случая была разработана «Онтология цепочки поставок страховой компании» как расширение ранее разработанной «Онтологии планирования» (рисунок 4).

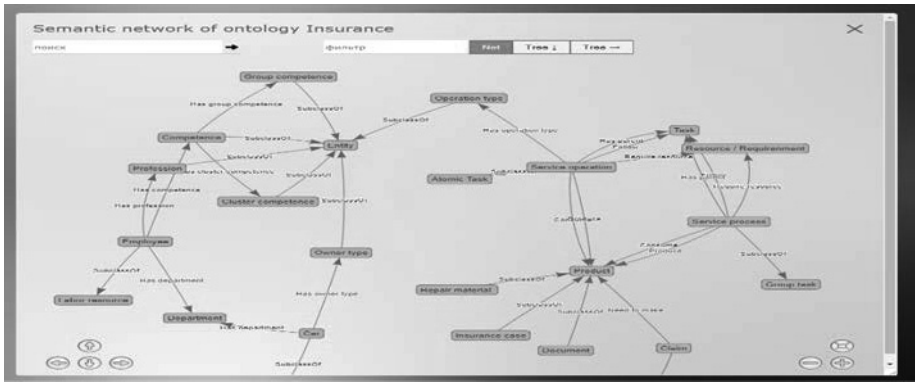


Рисунок 4 – Фрагмент онтологии для цепочки поставок страховой компании

Данная онтология страховой компании содержит общие бизнес-процессы и типы заявок и ресурсов, которые относятся к страховому бизнесу, но не к конкретной страховой компании. На базе этой онтологии была разработана онто-модель конкретной страховой компании, которая включает ряд конкретных сотрудников с их навыками и т. д. В этом примере предметная область «Страховая онтология» содержит около 50 классов понятий и отношений, которые могут быть использованы для описания конкретной страховой компании. Разработанная онто-модель конкретной страховой компании содержит около 70 дополнительных сущностей, которые представляют собой экземпляры ранее определенных понятий и отношений.

Далее онто-модель страховой компании может быть загружена в мультиагентный планировщик на основе базы знаний, в результате работы которого строится расписание страховой компании (рисунок 5).

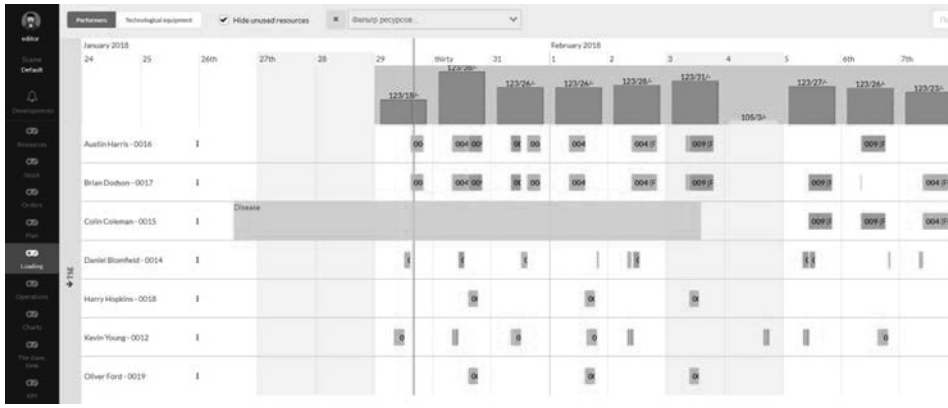


Рисунок 5 – Расписание страховой компании

Используя базовую онтологию, мультиагентный планировщик и базу знаний, команда разработчиков смогла всего за 3 дня настроить универсальный планировщик для нового страхового бизнеса. В ходе настройки одностраничная спецификация проблемы от клиента была «переведена» примерно на 300 онтологических понятий и отношений, которые помогают начать планирование с нуля.

Заключение

Описанные разработки помогают достичь следующих результатов:

- управление сложностью для нужд производственных и транспортных компаний, управления цепочками поставок и другими сетями;
- решение «неразрешимых» проблем с возможностью привлечения большего количества факторов, критериев, предпочтений и ограничений;
- поддержка командной работы с пользователями, формирующими баланс интересов;
- детальное представление объектов и процессов реального мира;
- адаптивное реагирование на события в режиме реального времени;
- использование знаний, относящихся к конкретной предметной области или компании, для создания допустимых расписаний, которые соответствуют противоречивым предпочтениям и ограничениям лиц, принимающих решения.

Благодарности

Работа выполнена при поддержке гранта Российского фонда фундаментальных исследований № 16-01-00759 «Теоретические основы создания эмерджентного интеллекта для решения сложных задач управления ресурсами».

Список литературы

[1] Saenz de Ugarte B., Artiba A., et al. Manufacturing execution system – a literature review // Production Planning & Control. – 2009, 20(6). – P. 525-39.
[2] Kletti J. Manufacturing Execution System – MES, Springer, Berlin, Heidelberg. 2010. – 272 p.
[3] Jeon B. W. et al. An architecture design for smart manufacturing execution system // Computer-Aided Design and Applications. – 2017, 14(4). – P. 472-485.
[4] Strang D., Galaske N., Anderl R. Dynamic, adaptive worker allocation for the integration of human factors in cyber-physical production systems //Advances in Ergonomics of Manufacturing: Managing the Enterprise of the Future. – Springer International Publishing, 2016. – P. 517-529.
[5] Giret A., Trentesaux D., Prabhu V. Sustainability in Manufacturing Operations Scheduling: A State of the Art Review // Journal of Manufacturing Systems, 37(1), 2015. – P. 126–140.
[6] Rzevski G., Skobelev P. Managing complexity. – WIT Press, 2014, 198 p.
[7] Skobelev P. Multi-Agent Systems for Real Time Adaptive Resource Management. In Industrial Agents: Emerging Applications of Software Agents in Industry. Paulo Leitão, Stamatis Karnouskos (Ed.). – Elsevier, 2015. – P. 207-230.
[8] Skobelev P. Open multi-agent systems for decision making support // Avtometriya, Journal of Siberian Branch of Russian Academy of Science. – 2002, n6. – P. 45-61.
[9] Skobelev P., Vittikh V. Models of Self-organization for Designing Demand-Resource Networks // Automation and Control, Journal of Russian Academy of Science. – 2003, n1. – P. 177-185.
[10] Mayorov I., Skobelev P. Towards thermodynamics of real-time scheduling // International Journal of Design & Nature and Ecodynamics. – WIT Press, vol. 10(2015), is. 3. – P. 213-223.
[11] Vittikh, V., Skobelev, P. The compensation method of agents interactions for real time resource allocation // Avtometriya, Journal of Siberian Branch of Russian Academy of Science. – 2009, n2. – P.78-87.
[12] Despina T. Meridou, Andreas P. Kapsalis, Maria-Eleftheria Ch. Papadopoulou et al. An Ontology-Based Smart Production Management System // IT Professional, Vol. 17, Is. 6, 2015. – P. 36 – 46.
[13] Ontology-based manufacturing capacity multi-granularity description framework and method. Patent № CN104615671.
[14] Salman Saeidlou, Mozafar Saadat, Ebrahim Amini Sharifi & Guiovanni D. Jules. An ontology-based intelligent data query system in manufacturing networks // Production & Manufacturing Research, Journal, Vol. 5, is. 1, 2017. – P. 250-267.

МНОГОКРИТЕРИАЛЬНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО РАСПИСАНИЯ МЕТОДОМ МУРАВЬИНЫХ КОЛОНИЙ

Ю.А. Скобцов[1], О.В.Ченгарь [2]

[1]Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения
190000, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 67, Россия
ya_skobtsov@list.ru, тел: +7 (812) 494-70-43
[2] «Севастопольский государственный университет»
299053,Севастополь, ул. Университетская, 33, Россия
OVChengar@sevsu.ru, тел: +7 (8692) 22-29-11

Ключевые слова: *производственное расписание, многокритериальная оптимизация, муравьиный алгоритм, автоматизированный машиностроительный комплекс, объектно-ориентированные модели.*

Abstract

It is proposed to use ant algorithms together with the object-oriented simulation models. To optimize the functioning of the automated technological complex machining together with a modified ant algorithm it is designed object model, which allows to calculate the fitness function and evaluate potential solutions. The transition and calculation of the concentration for synthetic pheromone rules are determined for supposed ant algorithms. Multi object optimization with adaptive weights is proposed, where in the solution process the weights of the objective function are corrected. Experimental studies of two- and three-object optimization on the example of the production schedule have been carried out on an example of the automated technological complex of machining.

Введение

При решении реальных практических задач, как правило, необходимо выполнить оптимизацию по нескольким критериям. Оптимизация по нескольким критериям имеет свою специфику и требует применения специальных методов, которые существенно отличаются от стандартной техники, ориентированной на оптимизацию одной функции. Поэтому при многокритериальной оптимизации производится поиск не одного решения, а множество множество потенциальных, оптимальных в смысле Парето [1].

В настоящей работе рассматривается задача многокритериальной оптимизации производственного расписания с помощью муравьиного алгоритма (МА) с адаптивными весами. Присущие МА свойства способствуют их эффективному применению при решении задач многокритериальной оптимизации, так как МА используют множество потенциальных решений - популяцию и глобальный поиск в нескольких направлениях[2,3]. Кроме этого, МА не предъявляют никаких требований к виду целевых функций и ограничений.

МА хорошо показали себя для решения задач комбинаторной оптимизации, одной из которых является задача составления производственных расписаний технологического оборудования гибких производственных систем (ГПС) автоматизированного технологического комплекса (АТК) механообработки [4,5].

Для оценки качества потенциальных решений в процессе поиска решений на основе МА используются объектно-ориентированные модели, которые описывают важнейшие характеристики систем и позволяют с приемлемой достоверностью проводить моделирование их функционирования.

1 Производственное расписание

Задача синтеза расписания работы ГПС заключается в том, чтобы для производственного участка с заданным технологическим маршрутом составить порядок обработки деталей, учитывая ограничения реальных производственных ситуаций за данное время. Модель такого процесса удобно представить в виде ориентированного графа, построение которого эквивалентно определению чисел t_{ij} – моментов начала технологической операции O_{ij}. Совокупность чисел $\{t_{ij}\}$ $(i = 1,2..., n; j = 1, 2..., m_i)$, удовлетворяющая производственным условиям, называется расписанием работы ГПС, или его графовой моделью $G(i)$ [1,4,5].

В результате проведенного системного анализа на основе разработанной графоаналитической модели построена объектная модель организационно-технологического процесса загрузки оборудования, которая представляет систему взаимодействующих классов её типовых компонентов. Эта объектная модель описывает структуру классов, составляющих систему производственного процесса, их атрибуты, операции, взаимосвязи с другими классами.

Кроме указанного представления в виде графа процесса загрузки технологического оборудования в ГПС для адаптации МА к решению поставленной задачи, необходимо выполнить следующую последовательность действий:

1) Разработать схему представления потенциального решения.
2) Определить правила коррекции концентрации искусственного феромона, учитывающие качество потенциального решения .
3) Разработать эвристики для определения выбора дуги при поиске пути в графе.
4) Определить эвристику поведения муравья в виде вероятности перехода при построении решения.
5) Определить инструмент проверки выполнимости потенциального решения с учетом ограничений задачи.
6) Проверить адекватность модели.

2 Направленный муравьиный алгоритм

Для оптимизации расписания производственного участка АТК предложен «направленный» муравьиный алгоритм, для которого: 1) разработана схемы представления потенциального решения; 2)определены правила коррекции концентрации искусственного феромона, которые определяют положительную обратную связь; 3) разработана эвристика выбора дуги при поиске пути в графе; 4) определено правило «направленно-пропорционального» правила перехода в следующую вершину графа; 5) выбраны «глобальные правила» для расчёта концентрации искусственного феромона, которые способствуют направленному поиску; 6) разработаны объектные модели для проверки выполнимости потенциального решения с учетом ограничений задачи; 7) произведена проверка адекватности предложенной модели.

Преимуществом разработанного алгоритма является то, что предложенный метод не требует построения структурной модели непосредственно самого производственного участка, и допускает простые модификации, которые позволяют достаточно эффективно решать оптимизационные задачи подобного класса. Эта модификация отличается от аналогов следующими особенностями:

1) Предложен метод вычисления вероятностей перехода искусственного муравья по вершинам графоаналитической модели, основанный на анализе текущей производственной ситуации; вероятность перехода k-того муравья в вершину O_{ij} определяется с отношением

$$\begin{cases} P_{ij,k}(t) = \dfrac{[\tau_{ij}(t)]^{\alpha} \cdot [\eta_{ij}(t)]^{\beta}}{\sum\limits_{k=1}^{l} [\tau_{ij}]^{\alpha} [\eta_{ij}(t)]^{\beta}}, & O_{ij} \in N_{ij}^{k} \\ P_{ij,k}(t) = 0, & O_{ij} \notin N_{ij}^{k} \end{cases}$$

где α – коэффициент, определяющий степень влияния феромона; β – коэффициент, определяющий влияние эвристической информации; τ_{ij} – концентрация феромона на дуге графа; η_{ij} – эвристическая информация (обычно, длина дуги); N_{ij}^{k} – перечень вершин графа O_{ij}, доступных для k-того муравья.

2) Предпочтительность выбора вершины графа задается «направленно-пропорциональным» правилом перехода между вершинами, основанном на эвристической информации. Она определяется отношением времени выполнения технологической операции To_{ij} к запланированному времени изготовления детали Ts_i, которое в свою очередь корректируется после выполнения каждой технологической операции над партией деталей $\eta_{ij} = \dfrac{To_{ij}}{Ts_i}$. Избранная эвристика выбрана не случайно, так как, даже без использования особенностей муравьиного алгоритма, для технологического оборудования предпочтительней не та вершина, в которой оно раньше освободится после выполнения очередной производственной операции, а тот узел, на котором партия деталей скорее закончит обработку. Это позволяет быстрее найти субоптимальное решение.
3) Для расчёта концентрации искусственного феромона при переходе муравья на следующий узел графа используются «глобальные» правила, которые способствуют направленному поиску. Эти правила заставляют муравьи двигаться в сторону найденных «худших» решений с целью их «улучшения». Такая стратегия стимулирует эксплуатацию пространства поиска и применяется после того, как решение построено, т.е. после прохождения всеми муравьями своего пути. В этом случае концентрацию феромона разрешается корректировать только «худшим» муравьям, построившим неоптимальный путь. Тогда для каждой дуги графа концентрация феромона корректируется в соответствии со следующим правилом: $\tau_{ij}(t+1) = \tau_{ij}(t) + \Delta\tau_{ij}(t), \Delta\tau_{ij}(t) = \sum\limits_{k=1}^{n_k} \Delta\tau_{ij}^{k}(t)$.

При этом количество искусственного феромона, откладываемое муравьемй, определяется в зависимости от заданного критерия оптимальности и вычисляется по одному из следующих правил:

(1) $$\Delta\tau_{ij}^{k}(t) = \frac{1}{\sum\limits_{i,j} Tnp_{ij}^{k}},$$

для задачи максимизации среднего коэффициента загрузки оборудования:для задачи минимизации времени переналадок оборудования, где Tnp_{ij} – время простоя *k*-того оборудования перед выполнением технологической операции O_{ij}.

(2) $$\Delta\tau_{ij}^{k}(t) = \frac{1}{\sum\limits_{i,j} Tn_{ij}^{k}},$$

для задачи минимизации времени переналадок оборудования, где Tn_{ij} – время наладки ГПМ для выполнения операции O_{ij} ;

$$(3)\quad \Delta\tau_{ij}^{k}(t) = \frac{1}{\sum_{i,j} Tnp_{ij}^{k} + To_{ij}^{k}},$$

для задачи минимизации длительности цикла изготовления деталей, где To_{ij} – времени выполнения технологической операции O_{ij} ;

$$(4)\quad \Delta\tau_{ij}^{k}(t) = \frac{1}{\sum_{i,j} T\pi\rho_{ij}^{k} + To_{ij}^{k}},$$

для задачи минимизации нарушения крайних сроков изготовления заказа при минимальной длительности изготовления деталей и времени переналадок оборудования, где To_{ij} – времени выполнения технологической операции O_{ij}.

3 Парето-оптимизация производственного расписания на основе «направленного» муравьиного алгоритма

Метод взвешенной функции является одним из самых популярных и естественным развитием классических методов оптимизации для многокритериальной оптимизации, где новая «общая» целевая функция строится из отдельных целевых функций в виде взвешенной суммы

$$(5)\quad F(x) = \sum_{i=1}^{k} w_i f_i(x) \ .$$

Здесь каждой целевой функции $f_i(x)$ присваивается свой вес w_i и задача сводится к скалярному случаю. При этом различные веса w_i дают разные решения в смысле Парето.

Скалярное значение новой целевой функции при этом вычисляется путем суммирования взвешенных значений q критериев оптимальности. Для параллельного поиска кратных решений веса не фиксируются, что дает возможность «направленному» муравьиному алгоритму расширять фронт по всем направлениям.

В предложенном алгоритме на каждой итерации по определённому критерию оптимизации формируется множество решений на основе «направленного» муравьиного алгоритма. Далее для исследуемых решений определяются максимальная и минимальная экстремальные точки в пространстве заданных критериев.

В итоге получаем гиперплоскость, которая определяется двумя экстремальными точками, и содержит все текущие решения. Указанные две экстремальные точки обновляются на каждой итерации. При этом адаптивный вес k-ой цели определяется соотношением.

$$(6)\quad w_k = \frac{1}{z_k^{max} - z_k^{min}},\ k = 1,2,...,q$$

Для каждой цели на основе выбранных критериев эффективности устанавливаются средневзвешенные весовые коэффициенты значимости, которые нормируются внутри группы.

$$(7)\quad w_k^{норм.} = \frac{w_k}{\sum_{i=1}^{q} w_i},\ k = 1,2,...,q$$

Тогда на каждой итерации взвешенная целевая функция определяется согласно следующему выражению.

$$(8) \quad z(x) = \sum_{k=1}^{q} w_k^{\text{норм.}} (f_k(x) - z_k^{\min})$$

Вначале алгоритма предполагается обнуление всех значений $Z^{\min}$ и $Z^{\max}$. Поскольку экстремальные точки обновляются на каждой итерации, то соответственно обновляются и веса.

Все исследуемые решения Парето лежат в пространстве образов z и в течение процесса поиска решения каждой популяцией муравьев, гиперплоскость последовательно приближается к положительной (или отрицательной) идеальной точке. В результате данный метод позволяет корректировать веса целевой функции и направляет поиск решений в нужном направлении.

Поскольку у каждого из критериев оптимальности может быть своя точность решения, которая достигается при различных количествах итераций, для определения n_t проведены экспериментальные исследования всех однокритериальных задач и определено количество итераций, при котором будет достигнута точность, соответствующая технологическим условиям. Поэтому, в качестве критерия останова при решении многокритериальной задачи выбирается максимальное значение из всего количества итераций.

Таким образом, описанный выше метод многокритериальной оптимизации позволяет перебирать все пространство решений для каждой популяции муравьёв и выбирать из них пути, оптимальные в смысле Парето.

4 Экспериментальные исследования

В ходе эксперимента на объектной модели АТК решены многокритериальные задачи с применением «направленного» муравьиного алгоритма с адаптивными весами. Анализ результатов проводился по сравнению с решениями, полученными при решении однокритериальной задачи. Рассмотрим следующие варианты выбора критериев оптимальности:

I. Максимизация среднего коэффициента загрузки технологического оборудования.

II.Минимизация нарушения крайних сроков изготовления заказа при минимальной длительности цикла изготовления деталей.

III.Минимизация нарушения крайних сроков изготовления заказа при минимизации времени переналадок оборудования.

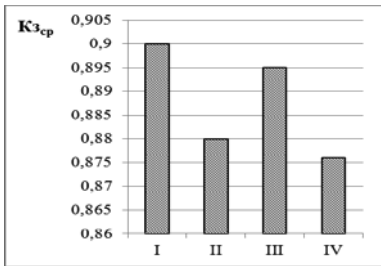
IV.Минимизация нарушения крайних сроков изготовления заказа при минимальной длительности изготовления деталей и времени переналадок оборудования.

Анализ полученных результатов показывает, что предложенный «направленный» муравьиный алгоритм с адаптивными весами для многокритериальной задачи требует большего количества итераций, чем подобный алгоритм для однокритериальной задачи. Причём с увеличением числа критериев увеличивается количество популяций муравьев для нахождения Паретто-оптимального решения. Так по ключевым параметрам эффективности прослеживается следующая тенденция: для однокритериальной задачи (I вариант) количество итераций, необходимых для достижения субоптимального решения, $n_t = 110$, для двухкритериальных задач (I и II варианты) $n_t = 170$, а для трёхкритериальной задачи (IV вариант) $n_t = 230$. Однако, если предоставить «направленному» муравьиному алгоритму данное количество ресурса n_t, он неизменно показывает свою эффективность и позволяет получить «хорошие» решения.

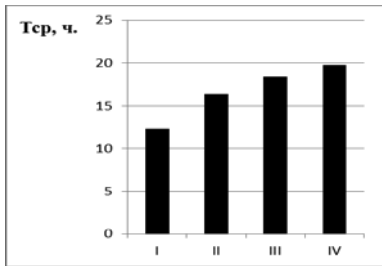
Заключение

Проведенные исследования основных временных параметров, полученных в результате решения задачи оптимизации производственного расписания, показали, что при введении дополнительных критериев эффективности, задача выбора оптимальных решений значительно усложняется, однако эффективность методов существенно не снижается. Так на рис. 1 представлены диаграммы, отражающие разницу между значениями основных параметров, полученных путём однокритериальной и многокритериальной оптимизаций.

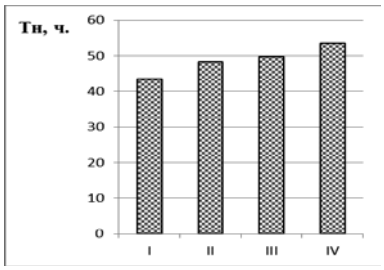
Таким образом, можно сделать вывод о том, что применение метода Парето-оптимизации производственного расписания АТК на основе «направленного» муравьиного алгоритма с адаптивными весами для многокритериальной задачи позволяет получать результаты, в наименьшей степени отличающийся от решения однокритериальной задачи.



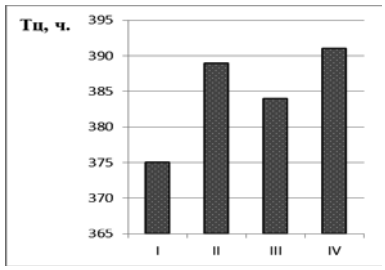
а) средний коэффициент загрузки



б) время нарушения крайних сроков



в) время наладки оборудования



г) длительность производств. цикла

Рисунок .1 – Значения среднего коэффициента загрузки оборудования и временных параметров, полученных в результате оптимизации производственного расписания, в зависимости от варианта выбора критериев эффективности

Список литературы

[1] Ю.А.Скобцов, А.И.Секирин, С.Ю.Землянская, О.В.Ченгарь, В.Ю.Скобцов. Объектно-ориентированное моделирование и эволюционные алгоритмы/.// Труды 7-й Всероссийской научно-практической конференции «Имитационное моделирование» (ИММОД-2015)//ISBN978-5-91450-173-7//Т.2.-М.:ИПУ РАН,2015, С.338-343.

[2] Ю.А Скобцов., Д.В. Сперанский . Эволюционные вычисления: учебное пособие. -М.: Национальный Открытый Университет «ИНТУИТ» 2015.-331с.

[3] Dorigo M., “Swarm Intelligence, Ant Algorithms and Ant Colony Optimization,” Reader for CEU Summer University Course “Complex System”., Budapest, Central European University, 2001, P. 1–3

[4] Ю.А.Скобцов,О.В. Ченгарь,А.Н. Скаковская..Многокритериальный муравьиный алгоритм оптимизации производственного расписания//Труды XXIX - Международной научной конференции «Математические методы в технике и технологиях - ММТТ-29».-СПб.; СПбГТИ(ТУ). Том.9- С.245-253

[5] Ю.А.Скобцов,О.В. Ченгарь,А.Н.Многокритериальные муравьиные алгоритмы и объектно-ориентированные модели// Труды 8-й Всероссийской научно-практической конференции «Имитационное моделирование» (ИММОД -2017)/.-СПб.: СПИИРАН, 2017, С.162-166.

ОСОБЕННОСТИ МУЛЬТИАГЕНТНОГО ПОДХОДА К ПЛАНИРОВАНИЮ СЕТЕЙ СНАБЖЕНИЯ

А.В. Царев[1,2]

[1]Институт проблем управления сложными системами РАН
443020, Самара, ул. Садовая, 61, Россия
cscmp@iccs.ru
тел: +7 (846) 332-39-27, факс: +7 (846) 333-27-70
[2]ООО «НПК «Разумные решения»
443013 Россия, Самара, ТОЦ "Вертикаль", Московское шоссе, 17, офис 1201
at@kg.ru
тел: + 7 (846) 279-37-78

Ключевые слова: *планирование в реальном времени, сеть снабжения, цепочка поставок, сетецентрическая система, мультиагентные технологии, распределенная система, многокритериальная оптимизация, согласованное планирование, адаптивное планирование, управление снабжением, открытая система, конкурентная среда.*

Abstract
The paper describes the approach to the management of supply networks in real time. Several practical cases of the supply networks are taken into consideration. The KPIs for these cases are proposed, and the author describes the multi-agent approach used to perform real-time supply network planning that allows effective management of the complex networks. The paper also shows how the methods and tools used to solve the task behave on different input data.

Введение

Для эффективного управления сетью снабжения в реальном времени необходимо обеспечивать быстрое построение согласованных планов, покрывающих сразу несколько типов процессов в сети: производство (часто распределенное), потоки продукции, работа транспорта, складская логистика. К этому часто добавляется необходимость прогнозировать спрос и ограничения сети на основе исторических данных.

Методы, которые можно использовать для планирования указанных процессов, рассматриваются с 1940-х годов в работах по исследованию операций, теории оптимизации (Данциг, R. Bellman, B. Koopman), теории активных систем (Бурков В.Н., Новиков Д.А., Лазарев А.А.).

Существующие методы позволяют находить оптимальное решение для ряда задач в области снабжения и производства, но в очень упрощенной постановке, не учитывающей реальных особенностей предприятий. Например, симплекс-метод позволяет решать задачу распределения продукции в сети, но он становится неприменим, если при этом нужно минимизировать используемые ресурсы или если стоимость производства и перевозок нелинейно зависит от объема.

Часто для проектирования сетей снабжения и выработки долгосрочных планов применяют численное моделирование, в результате которого, путем множественных прогонов с разными параметрами (комбинаторный подход с эвристиками), определяется наиболее эффективный способ управления сетью и ее устройство. Длительность моделирования не позволяет применять его для оперативной работы.

Преодоление этих недостатков возможно в развитии направления мультиагентных подходов. Мутиагентный подход, ориентированный на создание распределенных систем планирования работ разной природы с переговорами, изучается в работах М. Вулдриджа, Н. Джен-

нингса, В.Б. Тарасова, В.И Городецкого, О.Н. Граничина, А.Н. Швецова, В.А. Виттиха, П.О. Скобелева и др.

За последние 10 лет разработано значительное количество базовых алгоритмов – ADOPT (Asynchronous Distributed Constraint Optimization), OptAPO (Optimal Asynchronous Partial Overlay), DPOP (Distributed pseudo-tree optimization) ABT, (Asynchronous Backtracking), которые учитывают сетевую структуру задачи. Общий принцип таких алгоритмов – это децентрализация в принятии решений, динамический характер формирующихся решений, и постепенное стремление к равновесию.

1 Примеры сетей снабжения

Для разработки обобщенных методов и средств управления сетями снабжения был проведен системный анализ работы нескольких предприятий. Каждое из них имеет свои уникальные особенности, структуру сети, производств, логистические ограничения.

Сеть магазинов Лего на территории США и Канады имеет около 100 Brand Retail Store и несколько центров дистрибуции (DC). Ежедневно в каждом магазине совершается около 1000 покупок (примерно 2000 товаров), информация о которых сохраняется в базе данных учетной системы. На основании данных о продажах и наличия товаров на складе в полуавтоматическом режиме – с помощью электронных таблиц Excel и VBA скриптов менеджерами формируются заявки на доставку, список которых включает артикул товара и количество. Периодичность доставок обычно фиксированная, рабочий цикл составляет 3-10 дней. Доставки осуществляются транспортом различной емкости и стоимости. Товары поставляются в паллетах и упаковках, а не поштучно. В одну поставку может входить разное количество паллет, что обуславливается не только транспортом, но и возможностью магазина их принять и разгрузить, от 5 до 20. Емкость складов каждого магазина также различна и составляет от 20 до 100 паллет, затраты на хранение различны и фиксированы, не зависят от числа единиц хранения.

Поскольку процесс планирования поставок не автоматизирован, то в результате в каждом магазине из-за неточностей прогноза, жесткой периодичности поставок случается нехватка определенных позиций на складе и наоборот, накопление излишков непроданных товаров по некоторым позициям. Это приводит к снижению возможной прибыли и дополнительным расходам на перераспределение остатков.

Сеть компании Coca-Cola в Германии состоит из 8 заводов (18 производственных линий) по производству напитков и более 300 центров дистрибуции. Постоянно производится около 200 базовых товарных позиций, более 1000 комбинированных, состоящих из базовых. Сборка комбинированных продуктов рассматривается как отдельный процесс, всего в сети 9 перепаковочных линий. При планировании работы сети необходимо также планировать производственные и перепаковочные процессы, учитывая их длительность, стоимость и потребность в материалах. В среднем в день поступает около 10000 позиций по заказам. Горизонт оперативного управления составляет 3-14 дней.

При планировании требуется учитывать следующие входные данные (которые постоянно корректируются в течение дня): текущие запасы продукции на складах, текущие планы по поступлению продукции из вне или перераспределению в сети, текущие планы по выпуску продукции, текущие заказы клиентов.

В задачу оперативного управления входит в т.ч. эффективное перераспределение продукции в сети (все узлы взаимосвязаны и могут обмениваться продукцией), формирование предложений по дополнительному производству, определение реалистичного времени поставки каждого заказа, учет ограничений производства и логистики, которые интерактивно вносятся пользователями.

Была проанализирована задача динамического снабжения вагонами для погрузки для компании СУЭК (Сибирская угольно-энергетическая компания) в железнодорожной сети.

Всего у компании более 40 точек погрузки и более 30000 вагонов, распределенных по железнодорожной сети (более 10000 узлов).

Планирование подачи вагонов рассматривается как частный случай задачи снабжения в логистической сети, где продуктами являются различные типы вагонов, а потребность в продукции задается планами подачи (предварительно рассчитанными из планов производства и сбыта).

В компании «Газпром нефть» стоит задача планирования обеспечения строительных объектов и эксплуатируемой инфраструктуры различными материально-техническими ресурсами. При этом, работа сети снабжения существенно зависит от сезонности и применяются различные способы доставки (баржи, вертолеты, зимники). При оперативном управлении необходимо строить планы не только движения МТР в сети, но и планы использования техники (барж, машин, кранов).

Заказчиком внедрения в рамках постановки задачи было указано, что система планирования движения продукции (включая производство, транспорт, хранение) должна строить план таким образом, чтобы общая эффективность (прибыль, уровень сервиса и другие показатели) сети была как можно больше, обеспечивая при этом быструю реакцию на все изменения и, как следствие, постоянное наличие актуального плана действий, ориентированного на извлечение максимума из текущей и предполагаемой в будущем ситуации.

Горизонт планирования составляет год и более, но наиболее высокая детализация нужна в оперативном горизонте на месяц. Всего в планировании участвует более 30000 заказов и более 40000 ресурсов. Сама логистическая сеть при этом состоит примерно из 20 узлов и 30 каналов.

2 Постановка задачи управления сетями снабжения

Для эффективного управления сетями снабжения нужно, в первую очередь, строить план работы всей сети и поддерживать его в актуальном состоянии в условиях постоянно меняющейся обстановки. Эффективность при этом зависит от двух основных параметров: качества плана (насколько высокие показатели достигаются при его выполнении) и скорость его перестройки в ответ на события. Эти два параметра находятся в противоречии, поэтому метод планирования должен обеспечивать наилучшее качество плана, достижимое за характерное время между последовательными событиями, поступающими в систему.

Качество плана при управлении сетями снабжения определяется, как правило, тем, насколько закрывается спрос (что напрямую связано с доходом) и тем, сколько требуется потратить на исполнение этого плана (расход). На практике расходная часть может включать не только реальные затраты, но и условные, связанные с администрированием, репутационными рисками и т.д. Но в качестве базовой общей целевой функции сети предлагается использовать линейную комбинацию доходной и всех расходных частей с коэффициентами, регулирующими важность каждой компоненты:

$$Q = k^R R - C,$$

где R – общая удовлетворенность потребностей, причем $R = \sum k_i^r r_i$, где r_i – удовлетворенность отдельной потребности (отношение удовлетворенного количества к потребному), k_i^r - коэффициент важности потребности (назначается автоматически, чем срочнее потребность, тем выше коэффициент).

Стоимости (затраты на выполнение плана) могут быть разными для каждого конкретного случая сети снабжения. Например, для задачи материального обеспечения с учетом нескольких проектов в сети снабжения:

$$C = k^{Co}C^o + k^{Cf}C^f + k^{Cp}C^p + k^{Ca}C^a + k^{Ct}C^t,$$

где:

C^o - условные административные затраты на передачу между владельцами.

C^f - условные административные затраты на перевод из свободных запасов.

C^p - условные административные затраты на передачу между проектами.

C^a - затраты на использование аналога.

C^t - затраты на транспортировку в логистической сети.

$k^R, k^{Co}, k^{Cf}, k^{Cp}, k^{Ca}, k^{Ct}$ - весовые коэффициенты.

Анализ показал, что для большинства задач удобно применить линейную функцию зависимости коэффициентов удовлетворенности от их отдаленности по времени:

$$k_s^{d\ default}(\Delta t) = \begin{cases} k_s^{d\ max}, \Delta t \le t_s^{min} \\ k_s^{d\ max} - \frac{(k_s^{d\ max} - k_s^{d\ min})(\Delta t - t_s^{min})}{t_s^{max} - t_s^{min}}, t_s^{min} < \Delta t < t_s^{max}, \\ k_s^{d\ min}, \Delta t \ge t_s^{max} \end{cases}$$

где t_s^{min} – конец «красной» зоны (остаток времени, в который, как правило, уже нельзя ничего исправить), t_s^{max} – начало «зеленой» зоны, где планы могут еще не единожды измениться и нет большого смысла планировать так далеко, $k_s^{d\ min}$ – коэффициент важности заказов на узле s в «зеленой» зоне, $k_s^{d\ max}$ – коэффициент важности заказов на узле s в «красной» зоне.

При этом сам метод не должен накладывать существенных ограничений на форму целевой функции.

Решение в системе должно достигаться путем распределенных переговоров агентов, которые руководствуются индивидуальными целевыми функциями. Для лучшего соответствия решения, достигнутого как баланс интересов отдельных агентов, общей целевой функции сети снабжения, агент сети (штабной агент) должен иметь возможность давать направленную обратную связь агентам потребностей и ресурсов.

В различных ситуациях, в процессе работы агентов, и для взвешенной оценки результатов планирования могут применяться другие показатели эффективности.

Сводная удовлетворенность в ближнем подходе. Рассчитывается аналогично сводной удовлетворенности, но только для $\Delta t \le t_s^{min}$:

$$D^{near} = \sum_s \sum_{t \le t_0 + t_s^{min}} d_{ts} k_{ts}^d.$$

Сводная удовлетворенность в окне возможностей («желтая» зона). Рассчитывается аналогично сводной удовлетворенности, но только для $t_s^{min} < \Delta t < t_s^{max}$:

$$D^{work} = \sum_s \sum_{t_0 + t_s^{min} < t < t_0 + t_s^{max}} d_{ts} k_{ts}^d.$$

Сводная удовлетворенность по узлам сети в ближнем подходе. Рассчитывается аналогично сводной удовлетворенности отдельно для каждого узла:

$$D_s^{near} = \sum_{t \le t_0 + t_s^{min}} d_{ts} k_{ts}^d.$$

Сводное исполнение заданных перемещений в ближнем подходе:

$$R^{near} = \sum_i \sum_{t \le t_0 + t^{min}} r_{it} k_{it}^r.$$

Показывает, насколько реализуемы заадресовки, которые уже утверждены. В норме, все заадресовки в ближнем подходе должны быть выполнены.

Сводное исполнение заданных перемещений в «желтой» зоне:

$$R^{work} = \sum_i \sum_{t_0 + t^{min} < t < t_0 + t^{max}} r_{it} k_{it}^r.$$

Общее количество переадресаций вагонов в «желтой» зоне:

$$R^{work\ change} = \sum_i \sum_{t_0+t^{min}<t<t_0+t^{max}} r_{it}^{max} - r_{it}.$$

Доля измененных заадресовок в «желтой» зоне:

$$R^{work\ full} = \frac{\sum_i \sum_{t_0+t^{min}<t<t_0+t^{max}} \begin{cases} 1, r_{it} < r_{it}^{max} \\ 0, r_{it} = r_{it}^{max} \end{cases}}{\sum_i \sum_{t_0+t^{min}<t<t_0+t^{max}} 1}.$$

3 Методы и средства управления в реальном времени

В данной работе методы планирования предлагается строить на основе мультиагентного подхода, опробованного ранее в ряде других работ. Для реализации необходимых функций будет применен метод сопряженных взаимодействий, базирующийся на концепции ПВ-сети и виртуального рынка, и обеспечивающий близкую к оптимальной многокритериальную оптимизацию в реальном времени. Для обеспечения обработки изменений в реальном времени предполагается использовать адаптивный подход, позволяющий изменять только затронутые событием фрагменты расписаний, и распределенные вычисления.

Для задач прогнозирования в рамках управления сетями снабжения будут применены методы регрессионного анализа и классификации. Подсистему прогнозирования можно будет применять как в связке с системой планирования, так и в качестве отдельного сервиса, поставляющего актуальную статистическую информацию на основе постоянного анализа фактического движения вагонов.

Особое внимание при разработке методов планирования предлагается уделить обеспечению быстрой реакции на изменения, используя при этом, кроме вышеупомянутых подходов, метод «слабого звена», предложенный ранее Майоровым И.В. Кроме того, методы и средства управления предлагается делать максимально открытыми к расширению и реализации взаимодействия с другими системами.

Для обеспечения планирования работы сети снабжения были реализованы агенты со следующими целями:

- Сеть (штабной агент). Обеспечивает направленное планирование в соответствии с целевой функцией.
- Сайт (узел сети). Балансирует потоки и координирует расписание с другими сайтами. Обеспечивает связность расписаний. Высокий профит. Обрабатывает внешние и внутренние события сети.
- Продукт. Обрабатывает все потребности. Высокий профит за период. Высокий уровень сервиса.
- Потребность (спрос). Высокий профит. Высокий уровень сервиса.
- Поставка. Высокая прибыльность и загрузка.
- Запас. Высокая прибыльность и загрузка.
- Канал. Эффективная загрузка канала. Соответствие ограничениям на перемещение продукции.
- Производственная линия. Эффективная загрузка линии. Соответствие ограничениям на производство продукции.
- Хранилище. Эффективное использование хранилища. Учет ограничений на хранение.

Состав агентов отражает сущности онтологии предметной области (рис. 1).

Доработанные протоколы позволяют выполнять асинхронное планирование процессов одновременно для нескольких узлов сети. Агент каждого узла действует независимо и асинхронно, координируя свои ограничения и потребности с другими узлами, что обеспечивает возможность реализации распределенных вычислений.

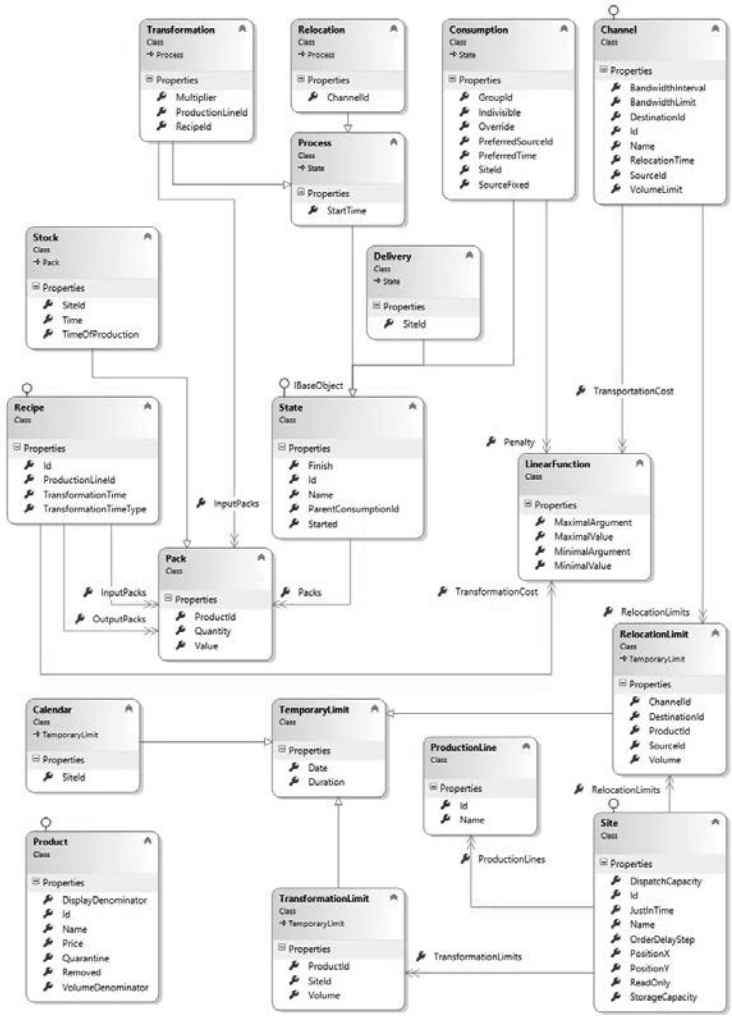


Рисунок 1 – Онтология сетей снабжения в виде ER-диаграммы

Узлами сети могут являться производственные центры, склады и точки потребления. Узлы могут быть связаны между собой каналами с описанными параметрами (пропускная способность, стоимость перемещения). Каналы могут быть предназначены для передачи определенного типа продукции.

В рамках узла потребности стараются удовлетвориться за счет локальных запасов и запланированных поставок, а если не удается – запрашивают ресурсы с других узлов сети.

Процесс переговоров идет до достижения равновесного состояния.

Для обеспечения высокой скорости обработки событий предложен метод, который позволяет автоматически регулировать длительность обработки событий агентами.

Каждый агент, при выборе варианта планирования, рассматривает несколько возможностей и оценивает их с точки зрения потенциальной выгоды. В норме, агент, когда решает с кем попытаться договориться, выбирает самого перспективного. Но обычно на этой стадии (до, собственно, переговоров) нельзя точно определить, к чему приведут переговоры. Поэтому всегда существует вероятность, что время будет потрачено, а результат не улучшится.

В ситуации, когда события поступают редко, можно рассмотреть более рискованные варианты, если они потенциально могут дать лучше результат. Если же времени на обработку мало, то разумнее выбрать вариант с наименьшим риском (как правило, с меньшими переговорами), чтобы гарантированно быстро получить результат.

Например, у агента потребности может быть выбор, как довезти продукт: запросить его добавление в полупустую поставку или предложить другой потребности (более поздней) освободить место в поставке, которая заполнена.

В первом случае предварительная оценка даст больше стоимость доставки, т.к. полупустая доставка менее эффективна и обходится дороже. Но при этом почти нет рисков, что не удастся договориться с агентом доставки.

Во втором случае стоимость доставки потенциально ниже (т.е. выгоднее), но есть риск, что более поздняя потребность не сможет найти себе ресурс или ресурс окажется еще дороже. Выяснить это можно только после запроса к другой потребности и завершения всей цепочки переговоров.

Суть предложенного метода состоит в том, что, в зависимости от интенсивности потока событий, агенты повышают или понижают «планку» приемлемого риска. Если в предыдущие итерации планирования его (планирование) не удалось завершить до поступления нового события, то уровень приемлемого риска понижается, агенты выбирают те варианты планирования, риск в которых не превышает текущий уровень.

Риск определяется разбросом значений в предварительной оценке вариантов планирования. Нулевой риск означает, что будут рассматриваться только варианты с точно известным результатом, т.е. не требующие переговоров.

Если планирование удается завершить до поступления нового события, то уровень приемлемого риска повышается, появляется больше переговоров, рассматривается больше вариантов.

4 Анализ поведения разработанных методов

Для определения особенностей разработанных методов были проведены исследования характера зависимости результатов обработки от различных параметров входных данных, в т.ч. от их количества. В серии экспериментов использована модельная сеть снабжения с 30 поставщиками, 100 распределительными узлами и 1000 точками потребления.

Проверялась зависимость времени планирования от количества заказов. При этом следует различать количество заказов и объем спроса, т.к., в отличие от объема спроса, каждый заказ может иметь собственные предпочтения, стоимость закупки, время поставки и другие параметры. В серии количество заказов менялось от 5 до 100 на узел в сети, и для каждого значения проводилось по 8 отдельных экспериментов для исключения влияния случайных факторов на длительность обработки. Результаты измерений (рис. 2, 3) показывают, что зависимость времени планирования от количества заказов близка к линейной.

В другой серии экспериментов рассматривается зависимость длительности планирования от количества конкурентных заказов. При этом, у всех заказов задана одинаковая цена, достаточно высокая, чтобы любой из них был выгоден (с учетом стоимости производства и стоимости транспортировки по любому маршруту в сети). Из результатов экспериментов (рис. 4) видно, что зависимость длительности планирования от количества конкурирующих заказов имеет квадратичный характер.

Разработанные методы и алгоритмы предназначены для применения в многопроцессорных и распределенных средах и реализованы таким образом, чтобы эффективно использовать имеющиеся мощности. Если проводить измерения с различным количеством доступных вычислительных ядер, время планирования будет существенно отличаться при одинаковом количестве рассмотренных системой вариантов плана. Ряд экспериментов (рис. 5) показывает эффективность использования методом доступных вычислительных мощностей. Также, эксперименты показывают эффективность самих предложенных методов.

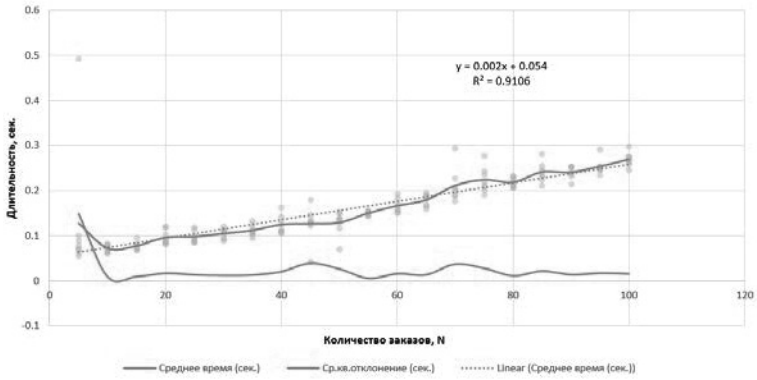


Рисунок 2 – Зависимость длительности планирования от числа заказов

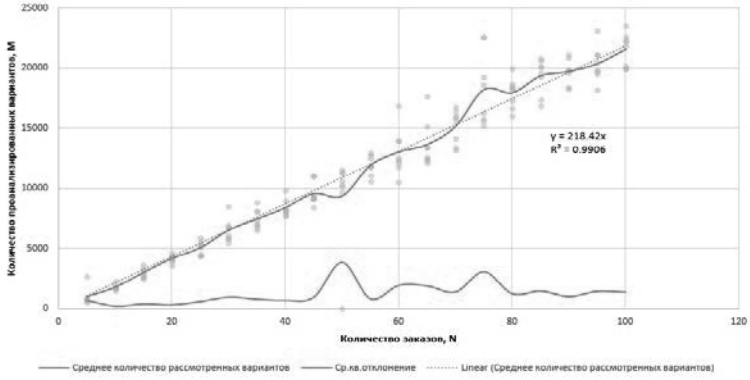


Рисунок 3 – Зависимость числа проанализированных решений от числа заказов

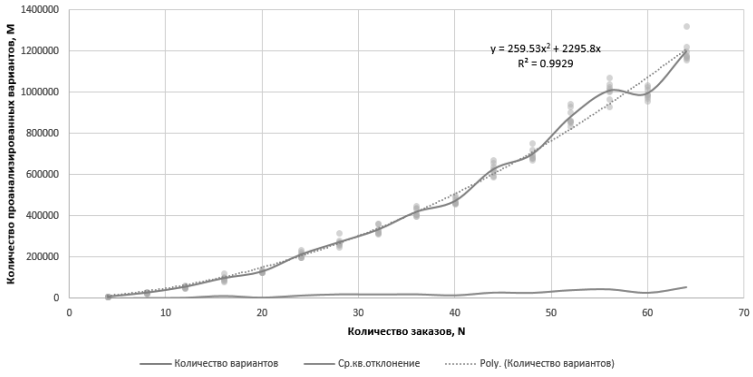


Рисунок 4 – Зависимость числа проанализированных решений от числа конкурентных заказов

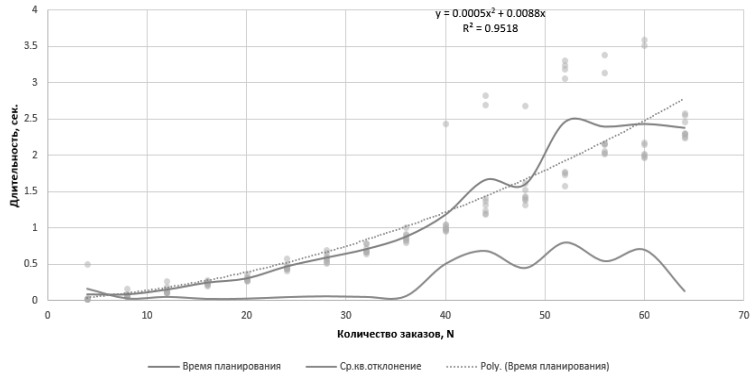


Рисунок 5 – Влияние многопроцессорной обработки

Была проведена серия экспериментов, в которой разработанные методы сравнивались с симплекс-методом. Количество потребителей в серии увеличивалось от 50 до 300. Каждый потребитель мог получать продукцию от любого поставщика. При этом общий размер сети (сложность задачи) определяется числом возможных способов поставки от поставщика к потребителю (числом каналов поставки). Общая производственная мощность, ее распределение по сети, стоимость производства и транспортировки устанавливались случайно для каждого отдельного эксперимента в серии.

Согласно экспериментам, длительность обработки отдельного события остается примерно одинаковой для любого размера сети. Она составляет в среднем 14мс, что примерно в 10 раз быстрее, чем полное перепланирование для сети с более чем 250 потребителей.

Заключение

Проведенный анализ показывает, что разработанные методы могут эффективно применяться для управления различными сетями снабжения в реальном времени.

Практическая значимость разработанных методов и средств состоит в повышении показателей эффективности работы сетей снабжения: сокращение упущенных продаж (до 18%), повышение уровня сервиса (до 7%), увеличение прибыли сети (до 10%), сокращение расходов на логистику (до 20%), сокращение затрат на производство и хранение (до 12%), сокращение неэффективных запасов (до 40%), сокращение неэффективного использования ресурсов (до 30%).

Список литературы

[1] Иващенко А. В., Карсаев О. В., Скобелев П. О., Царев А. В., Юсупов Р. М. Мультиагентные технологии для разработки сетецентрических систем управления. // VI Всероссийская научно-практическая конференция "Перспективные системы и задачи управления", 4 - 6 апреля 2011 г. Таганрог. – Известия ЮФУ. Технические науки. 2011. №3 (116). С. 11-23.

[2] Аксенов К.А., Неволина А.Л., Аксенова О.П., Смолий Е.Ф. Мультиагентное моделирование и планирование логистики [электронный ресурс]//Современные проблемы науки и образования. – 2013, выпуск №4 – С.1-9 // Современные проблемы науки и образования: [сайт]. – Режим доступа: http://www.science-education.ru/110-9744

[3] Hernández J. E., Mula J., Poler R., Lyons Andrew C. Collaborative planning in multi-tier supply chains supported by a negotiation-based mechanism and multi-agent system / Group decision negotiation. – 2014.– Vol.23, iss. 2. – Pp. 235-269.

[4] Ming Li, Xiao-Ning Fang, Chang-Chun Jiang The design of supply chain logistics information integration platform for auto parts enterprises based on multi-agent/In proceeding of Internetional conference on management science and management innovation (MSMI 2015). – Pp. 91-95 // Atlantis Press : [site]. Available at URL: http://www.atlantis-press.com/php/pub.php?publication=msmi-15&frame=http%3A//www.atlantis-press.com/php/paper-details.php%3Fid%3D25836017

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ СОТРУДНИКОВ ПОСЛЕ ПРОХОЖДЕНИЯ РАЗРАБОТАННЫХ ПРОГРАММ ОБУЧЕНИЯ

Л.Р. Черняховская, В.Е. Гвоздев, Р.И. Мухаметьянова

Уфимский государственный авиационный технический университет
450008, Уфа, ул. К.Маркса, 12, Россия
kaf_apris@mail.ru
тел: +7 (347) 272-74-65

Ключевые слова: *инновационный проект, эффективность сотрудников, производительность труда, обучение сотрудников*

Abstract

The article presents the results of research on new opportunities to manage the performance of employees of the enterprise engaged in innovation, which opens up the use of intelligent decision support technologies. The main attention is paid to the organization of activity in the field of efficiency management of innovative projects in the field of personnel productivity improvement as a result of training with ontological engineering and a problem-oriented knowledge base.

Введение

Необходимость поддерживать на высоком уровне конкурентоспособность заставляет руководство развивать инновационные виды деятельности для увеличения эффективности функционирования предприятия. Производственное предприятие в своей работе должно использовать результаты развития высоких технологий и для сохранения конкурентных позиций по мере необходимости обновлять технику. Инновационный проект – это проект по изменению технологий деятельности и его развитие требует ресурсов для реализации: финансовых, кадровых, временных, институциональных. В данной статье рассматриваемый проект является инвестиционным и инновационным, потому что предприятие использует новые средства деятельности и привлекает денежные средства региона для реализации производства.

В качестве примера рассматривается реализация стратегии организационного управления развитием научно-производственного предприятия «АММА» с открытием в 2018 г. нового филиала в г. Белебей (Республика Башкортостан). В связи с этим предприятию необходимо выработать план управления персоналом. Учитывая специфику набора персонала в удалении от основного офиса и необходимости контролировать рабочий процесс на местах, есть необходимость выбора сотрудника для назначения на руководящую должность и обучения вновь нанятого рабочего персонала.

1 Методы индивидуального обучения сотрудников с применением профессионального обучения

Инновационные проекты предъявляют более высокие требования к сотрудникам предприятия, которые участвуют в их реализации. Следовательно, для поддержания высокого уровня производительности труда, рабочий ресурс должен соответствовать техническому уровню предприятия. Для улучшения производственных показателей не всегда бывает эффективно воздействовать на техническое оснащение; в снижении производительности труда предприятия проблемы могут иметь не столько технологическую, сколько социальную основу [1,2]. Следовательно, управление деятельностью персонала, например, в плане организации

взаимодействия сотрудников, является сложной проблемой, нуждающейся в применении интеллектуальных технологий поддержки принятия решений. В данной статье рассматриваются задачи управления персоналом для повышения производительности труда на предприятии и предлагается метод повышения эффективности производства посредством естественного и целенаправленного воздействия на потенциал работающего [3].

В данной работе рассматривается профессиональное развитие персонала, необходимость в котором определена в процессе отбора кандидатов на выполнение новых видов трудовых функций, при реализации нововведений в организации и при назначении на должность.

Для сотрудников, которые будут курировать инновационный объект более актуально сочетание группового и коллективного образования, а для линейных сотрудников приемлемее использовать групповое обучение. При индивидуальном обучении наибольшее предпочтение отдается наставничеству.

Таблица 1 – Индивидуальные методы развития сотрудника

Индивидуальные методы развития	
Мероприятия	**Компетенция**
Замещение руководителя во время долгого отсутствия	Умение обеспечить результат, планирование деятельности, системное мышление, стрессоустойчивость, коммерческий подход к организации деятельности
Менторинг (опытный сотрудник делится своими знаниями с обучаемым)	Системное мышление, понимание специфики организации, внешние коммуникации
Профессиональное развитие (введение в эксплуатацию производственных объектов, выполнение проектов связанных с операционной деятельностью предприятия)	Понимание специфики организации, деловая коммуникация, внешние коммуникации, профессиональные компетенции

Представляется организация деятельности в области управления персоналом предприятия с применением онтологического инжиниринга и проблемно-ориентированной базы знаний. Реализация поддержки принятия решений предполагает разработку онтологии поддержки принятия решений, базы знаний, включающей правила логической поддержки и прецеденты принятия решений, методов и инструментов интеллектуальной обработки знаний с целью обеспечения оперативности, качества и обоснованности формируемых управленческих решений, развитие формального аппарата сравнительного анализа альтернатив проектных решений [3].

2 Интеллектуальный анализ данных для решения задач управления персоналом

Онтология, разработанная для поддержки принятия решений в задачах поиска претендентов на выполнение работ, подбора персонала, а также для поддержки управления возможностями сотрудников и выбора вариантов продвижения талантливых работников, представлена авторами в работе [4].

Здесь онтология применяется для информационного поиска сотрудников, обладающих определенными характеристиками.

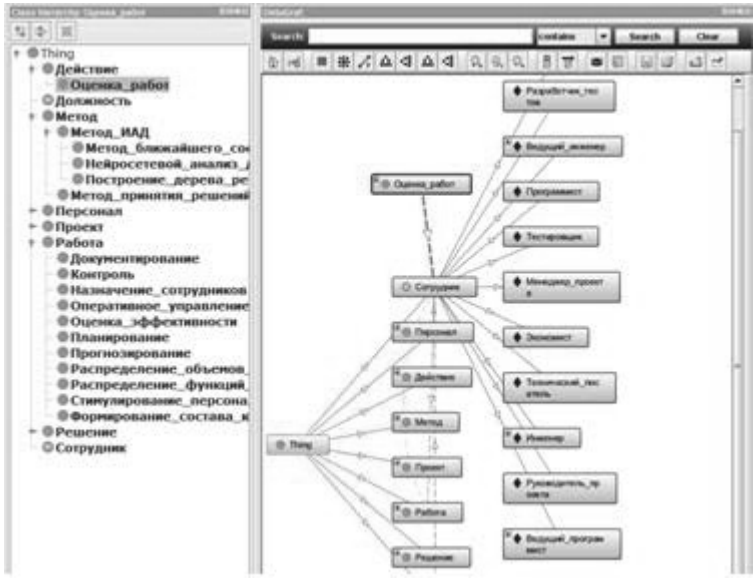


Рис. 1 Логический поиск в онтологии

В результате информационного поиска в онтологии (см. рис. 1) сформирован набор примеров для интеллектуального анализа данных, например, для описания задачи выбора вида обучения. Переменными при решении поставленной задачи являются образование, стаж работы (общий и в данной организации) и оценка компетенции; рассматриваются 3 вида обучения, выбранных с помощью экспертных оценок (обучение с наставником, дистанционное обучение, дополнительное образование). Данный перечень можно обосновать тем, что образование сотрудника характеризует его способность к обучению, общий стаж работы влияет на наличие практического опыта работы, а стаж работы в данной организации показывает, насколько человек знаком с требованиями к выполнению работ и соответствует целям организации. Компетенции - это оценка качества работы и особенности решения задач конкретным сотрудником с точки зрения руководителя. Все эти свойства в совокупности позволяют оценить общий рабочий климат предприятия и способности работы каждого сотрудника и выявить его слабые стороны, нуждающиеся в воздействии. Для решения задачи выбора вида обучения выполнен интеллектуальный анализ данных с применением алгоритма символьного обучения ID3. В результате с применением инструментального средства See5 построено дерево решений и сформулированы продукционные правила, например: Если должность «рабочий» И общий стаж работы «≤6» И стаж работы на предприятии «≤2» И оценка компетенций «=1» То вид обучения «обучение с наставником».

Основным показателем эффективности обучения является его результативность, достижение цели при минимальных затратах. Прогнозирование эффективности работы сотрудников после прохождения разработанных программ обучения выполнено с применением метода прогнозирования динамики развития системы, соответственно сформулирована следующая постановка задачи [6]. Пусть x=(x1, x2,… xn) – вектор количественных свойств системы. Отклик системы может быть описан некоторой неизвестной функцией f: y=f(x), где y – вектор выходов системы. Идентификация системы состоит в определении системы правил в общей форме z=G(x), которая ассоциирует между собой вектор x с вектором z таким образом, чтобы векторы z и y были близкими в некотором метрическом базисе, который отражает цель моделирования. В данном исследовании задача

прогнозирования выполняется с использованием системы нечеткого вывода типа Fuzzy Inference System (FIS) по методу Сугэно. которая воссоздает отношение z=G(x) в форме нечетких правил вида:

(1) R_i: Если x_1 есть A_1^i и x_2 есть A_2^i и … и x_n есть A_n^i, то $y_n = f(x_i^1, \dots x_i^n)$,

где R_i – i-е правило (i=1, 2, ..., K); xj – (j=1, 2, ..., n) – входные переменные; A_j^i– нечеткие подмножества, определенные при помощи кусочно-линейных (гауссовых) функций принадлежности; y_i– выход i-го правила. Нечеткие подмножества A_j^i ассоциированы с понятием тенденции [7]. Предлагается для входных переменных использовать терм-множество T={‘сильное уменьшение’, ‘слабое уменьшение’, ‘стабилизация’, ‘сильный рост’, ‘слабый рост’}.

Для обеспечения полноты базы правил в качестве функции принадлежности была взята гауссовская функция принадлежности (гауссиана) типа (2):

(2) $\mu_A(x_j) = e^{\frac{-(x_j - a_j)^2}{2b_j^2}}$

Примеры правил прогнозирования эффективности работы персонала (к соответствующему календарному периоду) в зависимости от изменений величин компетенций и исполнительности сотрудников приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Правила прогнозирования эффективности работы персонала

N	Условия	Заключение
1	**Если** компетенция сильно уменьшается **И** исполнительность сильно падает	**То** эффективность 80
2	**Если** компетенция стабильна **И** исполнительность слабо уменьшается	**То** эффективность 95
3	**Если** компетенция сильно растет **И** исполнительность сильно падает	**То** эффективность 100
	…..	
25	**Если** компетенция сильно растет **И** исполнительность слабо падает	**То** эффективность 110

В результате построения системы нечеткого вывода в программной системе MATLAB для реализации модели прогнозирования получена поверхность нечеткого вывода, которая отвечает экспертным представлениям в рассматриваемой предметной области (рис. 2).

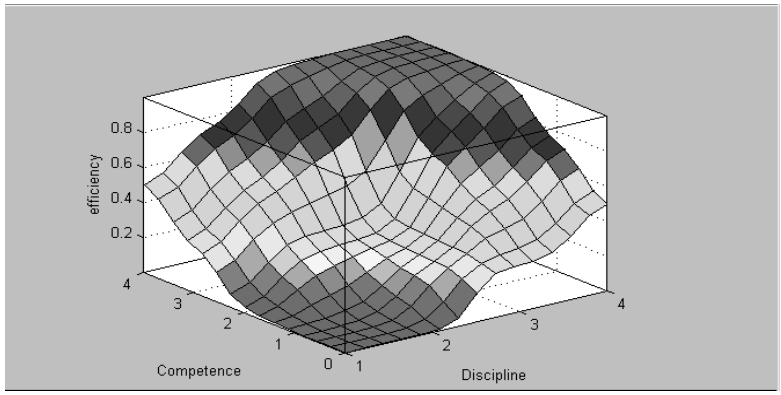


Рис. 2 Поверхность нечеткого вывода в программной системе MATLAB

В дальнейших исследованиях рассматривается вопросы обучения параметров модели нечеткого вывода с применением нейро-нечеткой сети Adaptive Neuro Fuzzy Inference System.

Заключение

На основе полученной зависимости можно прогнозировать эффективность работы сотрудников, отслеживая динамику изменения компетенций и исполнительности (характеризующей выполнение сроков и качества работ) после прохождения разработанных программ обучения.

Благодарности

Работа выполнена при поддержке гранта Российского фонда фундаментальных исследований № 13-08- 00575 «Интеллектуальные методы многокритериальной диагностики состояний сложных технических систем и технологических процессов».

Список литературы

[1] 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.

[2] H. Smith, P. Finger. Business Process Management. The Third Wave. Meghan-Kiffer Press, Tampa, FL, USA, 2002.

[3] Гвоздев В.Е., Черняховская Л.Р., Федорова Н.И. Применение гибридной интеллектуальной поддержки принятия решений в управлении сложными производственными процессами в условиях неопределенности // Труды XVIII междун. конф. «Проблемы управления и моделирования в сложных системах», Самара, Россия, 20-25 сентября 2016 г. – Самара: СНЦ РАН, 2016. – С. 258-264.

[4] Гвоздев В.Е, Черняховская Л.Р., Мухаметьянова Р.И., Владимирова И.П.. Стратегическое управление проектами на основе прогнозирования эффективности персонала организации с использованием интеллектуального анализа данных. Труды XIX международной конференции «Проблемы управления и моделирования в сложных системах».20-25, 2017, Самара, Россия, с. 399-403.

[5] D. Fensel, C. Bussler. The Web Service Modeling Framework WSMF. Electronic Commerce research and Application, 1(2), 2002.

[6] Минаев Ю.Н., Филимонова О.Ю., Бенамеур Лиес. Методы и алгоритмы решения задач идентификации и прогнозирования в условиях неопределенности в нейросетевом логическом базисе. – М.: Горячая Линия-Телеком, 2003. – 205 с.

[7] Osipova I.V. An Approach to Income Tax Forecasting using Neural-Fuzzy Knowledge Base // Proc. of the 7th Int. Workshop on Computer Science and Information Technologies. Ufa, Russia, 2005. V. 2. P. 234–237.

МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ОНТОЛОГИЧЕСКОГО ИНЖИНИРИНГА В СИСТЕМАХ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ТРАНСПОРТНОГО МЕНЕДЖМЕНТА

Н.И. Юсупова[1], О.Н. Сметанина[1], Е.Ю. Рассадникова[1]

[1]Уфимский государственный авиационный технический университет
450000, Уфа, ул. К. Маркса, 12, Россия
yussupova@ugatu.ac.ru; smoljushka@mail.ru; rassadnikova_ekaterina@mail.ru
тел: +7 (347) 273-77-17, факс: +7 (347) 273-77-17

Ключевые слова: *интеграция данных, корпоративная информационная система, глобальная онтология, многоагентный подход*

Abstract

The statement of the problem of data integration of corporate information system is considered in the article. The practical implementation of the task of data integration by the example of Transportation Management System and Human Resource Management is presented. Fragments of local ontologies of TMS and HRM, also global ontology are presented by authors.

Введение

Широкое распространение информационных технологий, появление ряда информационных систем на предприятии ввиду постепенной автоматизации различных функций профессиональной деятельности, в том числе, и управленческой (системы поддержки принятия решений для оперативного, тактического и стратегического уровня) приводят к необходимости использовать при принятии решений данные, находящиеся в разных источниках, в различных форматах и формах представления. Это может быть связано с тем, что данные находятся в базах данных (БД) различных классов корпоративных информационных систем (ERP, TMS и др.) и связаны с работниками различных отделов – работники производственных сегментов, вспомогательные сотрудники. Взаимодействие между сотрудниками происходит через личный контакт или путем использования КИС. Второй способ взаимодействия позволяет сократить время решения задач, улучшить качество взаимодействия между отделами, однако такой подход связан с проблемой организации совместного использования данных работниками различных отделов, а именно при использовании традиционных клиент-серверных приложений различных отделов информация не всегда будет в полной мере соответствовать запрашиваемой. Решению такого рода задач способствует объединение баз данных. Один из видов интеграции данных на семантическом уровне предусматривает построение локальных онтологий по отдельным БД с последующим созданием общей онтологии.

Вопросами разработки и использования онтологий для поддержки решений при управлении производственными системами занимались многие российские и зарубежные специалисты [1-8].

В статье рассматриваются фрагменты локальных онтологий для информационных систем управления транспортировкой (TMS) – «транспортный менеджмент», и управления человеческими ресурсами (HRM) – «кадровые менеджмент». Каждая из онтологий отражает формализацию предметной области, при объединении наблюдается пересечение фрагментов предметных областей в различных базах данных. Фрагменты предметной области, которые не пересекаются при объединении локальных онтологий, включаются в онтологию в виде объектов с учетом их свойств и отношений.

1 Постановка задачи интеграции данных корпоративных информационных систем

Каждая БД может отражать формализацию части предметной области. Можно наблюдать пересечения фрагментов предметных областей в различных БД. Исходя из этих предположений, считаем, что задано множество БД информационных систем на предприятии $D=\{D_1, D_2, \ldots, D_n\}$, где n – число таких систем. Необходимо построить систему интеграции данных Z в виде функциональных единиц $<D, Gl, Loc, M>$, где D – множество БД $D=\{D_1, D_2, \ldots, D_n\}$ (база данных i $D_i \in D$), Loc – множество локальных онтологий $Loc=\{Loc_1, Loc_2, \ldots, Loc_n\}$, Loc_i – локальная онтология по БД i, Gl – глобальная онтология, M – множество отображений: M_{1S} и M_{1R}, – отображение между элементами множеств D и Loc, M_2 – отображение между Gl и элементами множества Loc. Рассуждая об отображении между элементами множеств, необходимо учитывать то, что элементы одного множества представлены сущностями S, атрибутами A, связями R, элементы другого – концепты C и отношения R_{Loc} (рис. 1, рис. 2, рис. 3, рис. 4). Обозначим через M_{1S}: $S \rightarrow C_{Loc}$, M_{1R}: $S \times S \rightarrow R_{Loc}$ отображение между элементами множеств D и Loc. Для построения глобальной онтологии определим $C_{Gl}= \bigcup_{i=1}^{n} C_{Loci}$, $R_{Gl}= \bigcup_{i=1}^{n} R_{Loci}$, $A_{Gl}= \bigcup_{i=1}^{n} A_{Loci}$.

2 Практическая реализация задачи интеграции данных

Для реализации поставленной задачи использованы правила логического вывода SWRL, где правило состоит из двух частей – условия и вывода. Вывод формируется при выполнении условия. Элементарными логическими выражениями каждой из частей являются атомы (предикаты). Правила в SWRL как разновидности Хорна, могут состоять только из одиночных и / или двухместных предикатов. Условие выполняется в случае истинности всех атомов, входящих в него. При его выполнении «срабатывают» атомы вывода. Таким образом, объединение данных из различных таблиц в онтологию осуществляется с помощью правил SWRL. Поиск информации в онтологиях осуществляется с использованием специализированного языка запросов SPARQL, обеспечивающего представление запросов к различным источникам данных.

В основу решения задачи также положен многоагентный подход. Так «пользовательский агент» ориентирован на поиск информации в базе данных; объединение информации, находящейся в различных базах данных отдельными лицами; сохранение информации, найденной для дальнейшего поиска, в том числе в виде HTML-страниц. Кроме того, с его помощью предоставляется возможность быстрого подключения к функционирующей системе новых баз данных и пользователей. «Агент БД» реализует подключение к БД с целью получения информации; ее сохранение в виде онтологии; опубликование информации для поиска; обработку запросов от пользовательских агентов. Для разработки кросс-платформенного программного комплекса используется объектно-ориентированный язык программирования Java Script, поддерживающий разработку многоагентных приложений. Среда *JADE* используется как набор инструментов для управления агентным приложением.

Разработанный программный пакет представляет собой клиент-серверное приложение, и поэтому временные характеристики его работы зависят от рабочей нагрузки сети, сервера.

Предложенные средства и инструменты разработаны как универсальные, которые могут быть использованы для различных информационных систем. Авторы применили их для решения задачи назначения водителя на транспортное средство в построенном маршруте с учетом того, что часть сведений о водителе хранится в информационной системе кадрового менеджмента, другая часть - в базе данных информационной системы транспортного менеджмента. Поиск рационального маршрута осуществляется с помощью эвристических методов с учетом ресурсных ограничений.

Transportation Management System (TMS) является системой для управления транспортом, чтобы сократить затраты на логистику. Использование программного решения TMS для авто-

матизации управления транспортировками позволит обеспечить гибкость при выборе лучших ресурсов логистики с учетом желаний контрагентов с учетом допустимой цены. Так организация транспортной системы управления предприятия является одной из важных задач успешной деятельности предприятия. Авторами предлагается рассмотреть часть транспортной системы управления, связанной с доставкой грузов автомобильным транспортом. В связи с этим в онтологии «транспортный менеджмент» в качестве сложного объекта положено понятие «транспортной инструкции доставки грузов автомобильными транспортными средствами». Отличительной особенностью является учет требований безопасной транспортировки опасных грузов и доставки ее в положенные сроки, так называемые, временные окна.

Фрагмент локальной онтологии TMS и информационной модели системы представлен на рисунках 1-2.

Классами данной онтологии являются следующие понятия: транспортное средство, водитель, клиент, точки доставки, товары, склад, точки на дорогах, грузы, заказ.

Каждый класс обладает определенными атрибутами. Так класс «водитель» обладает такими свойствами как фамилия, имя, отчество, телефон, наименование должности, статус здоровья, статус доступности, начала и окончание смены. Также в локальной онтологии транспортного менеджмента можно получить такие данные, как количество маршрутов конкретного водителя, назначение его для управления транспортными средствами, количество потраченного бензина на осуществленные маршруты.

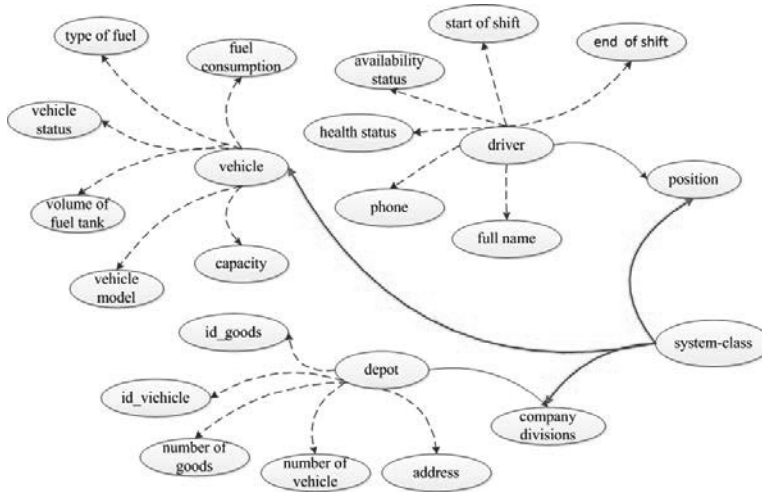


Рисунок 1 – Фрагмент сетевой модели локальной онтологии TMS

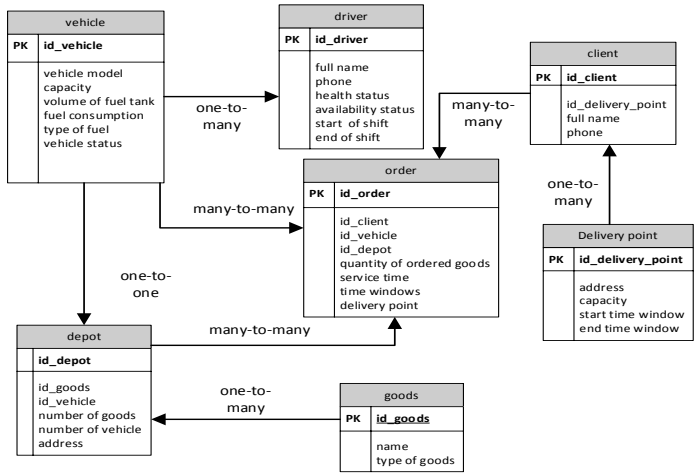


Рисунок 2 – Фрагмент логической модели TMS

HRM (Human Resource Management) - комплексная автоматизированная система управления кадрами, включающая в себя расширенные функциональные возможности. Она может обрабатывать множество бизнес-процессов, аналитических и расчетных операций, которые касаются всего, что связано с сотрудником в организации: от зарплаты до профессионального роста.

Для начисления заработной платы работнику организации требуется фамилия, имя, отчество, наименовании должности, данные об отработанных им днях (возможном нахождении в командировке, на больничном или в отпуске), окладе или разряде, наличии и количестве детей и др. Если рассматривать его профессиональный рост, как правило, это результаты оценки его деятельности, траектория «развития» работника (рис.3,4).

Таким образом, можно сказать, что часть атрибутов являются универсальными, часть – характера для той предметной области, которая связана с решаемой задачей.

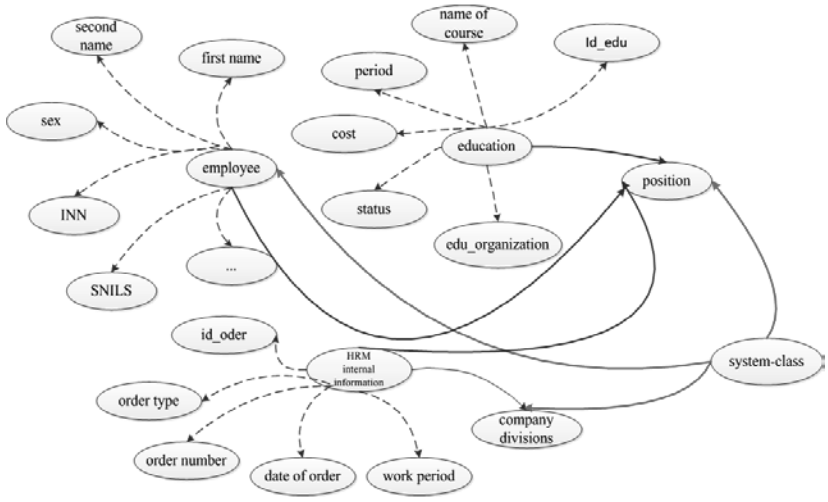


Рисунок 3 – Фрагмент сетевой модели локальной онтологии HRM

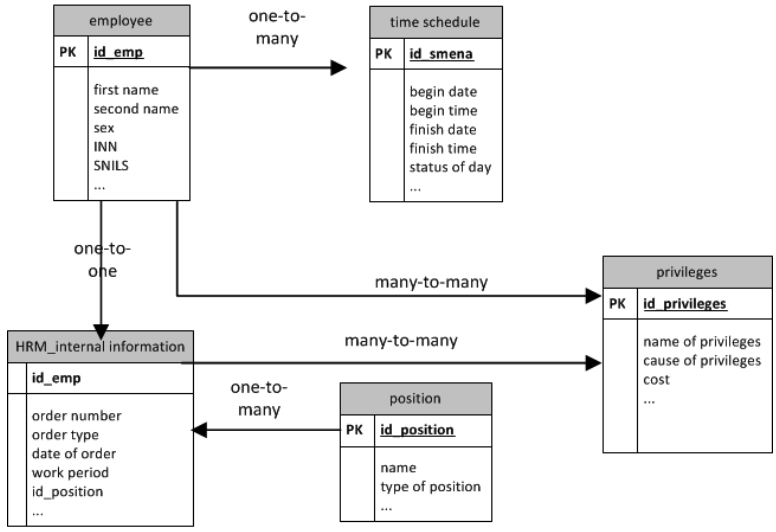


Рисунок 4 – Фрагмент логической модели HRM

Разработанные онтологии (рис.5), позволяют устранить ряд конфликтов: гетерогенность (различие в схемах данных); автономия (предназначена для самостоятельной работы для решения конкретных задач); распределение.

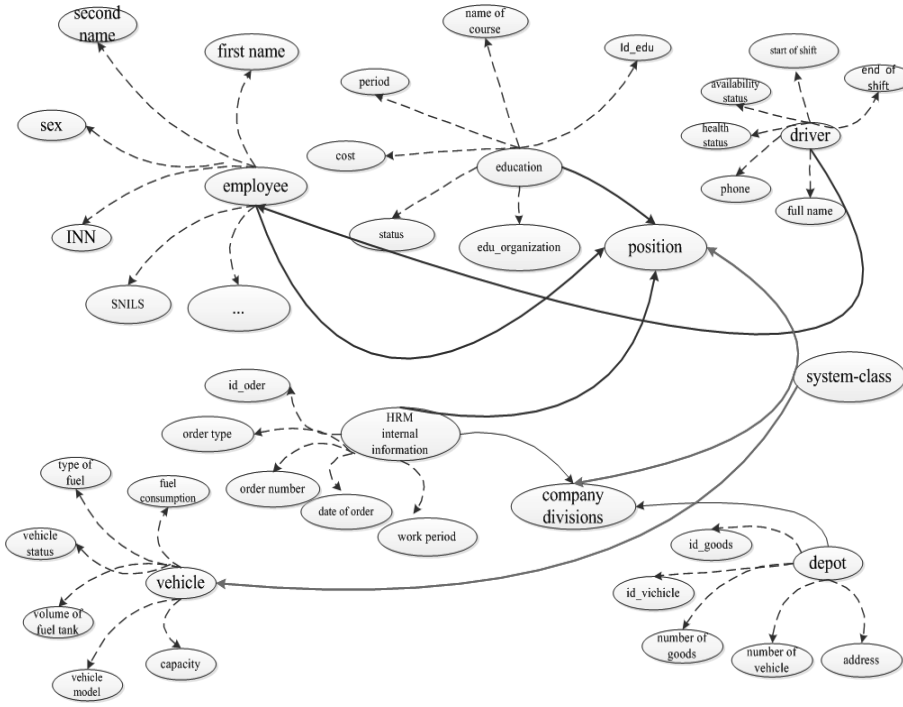


Рисунок 5 – Фрагмент сетевой модели глобальной онтологии

Заключение

Унификация информации при объединении онтологий осуществляется средствами программы-агента. Разработанная система правил логического вывода позволяет осуществить поиск информации. Пользователь получает информацию путем использования программы клиента и системы управления агентами. Достоинства предложенного решения обеспечиваются механизмом унификации информации в виде онтологии и высокой оперативностью обновления информации в глобальной онтологии.

Благодарности

Исследования частично поддержаны грантами РФФИ 16-07-00773 и 18-07-00193.

Список литературы

[1] Методические аспекты искусственного интеллекта Гузаиров М.Б., Юсупова Н.И., Кудряшев А.Ф., Елхова О.И., Попов Д.В., Ризванов Д.А., Еникеева К.Р., Доломатов М.Ю., Ярцев Р.А., Сметанина О.Н., Верхотуров М.А., Верхотурова Г.Н., Макеев Г.А., Гаянова М.М., Бойко М.В., Богданова Д.Р., Климова А.В., Галямов А.Ф., Орехов Ю.В., Орехов Э.Ю. и др. монография / Уфимский государственный авиационный технический университет, Научный совет РАН по методологии искусственного интеллекта, Рецензенты: профессор В.М. Картак, профессор Д.Е. Сорокин. Москва, 2014.

[2] Левашова Т.В., “Принципы управления онтологиями, используемые в среде интеграции знаний”, Тр. СПИИРАН, 1:2 (2002), 51–68.

[3] Isabel F. Cruz and Huiyong Xiao, The Role of Ontologies in Data Integration, Journal Of Engineering Intelligent Systems, 2005, volume 13, pages 245—252.

[4] Модели и программный комплекс для реализации информационного поиска при поддержки управленческих решений. Юсупова Н.И., Сметанина О.Н., Ясинецкий С.П., Климова А.В. Современные проблемы науки и образования. 2014. № 1. С. 214.

[5] Building ontologies for production scheduling systems: towards a unified methodology, Kostas S. Metaxiotis, John E. Psarras, Dimitris Askounis.

[6] The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XL-1/W5, 2015 International Conference on Sensors & Models in Remote Sensing & Photogrammetry, 23–25 Nov 2015, Kish Island, Iran Spatial Data Integration using Ontology-Based Approach S. Hasani a, * , A. Sadeghi-Niaraki a , M. Jelokhani-Niarakib.

[7] Buccella, Agustina, Alejandra Cechich, and Nieves Rodríguez Brisaboa. "An ontology approach to data integration." Journal of Computer Science & Technology 3 (2003).

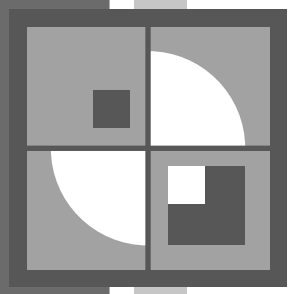
[8] The Development of Ontologies to Support the Decisions in Production Systems Management/Nafisa Yusupova, Olga Smetanina, Aygul Agadullina, Ekaterina Rassadnikova // 2017 Second Russia and Pacific Conference on Computer Technology and Applications (RPC), цифровая библиотека IEEE Xplore, Page(s): 188 – 193. DOI: 10.1109/RPC.2017.8168096

Biography

YUSUPOVA Nafisa Islamovna, professor. Head of the Department of Computational Mathematics and Cybernetics. Dean of the faculty of computer science and robotics, USATU. Diploma of radiophysics (Voronezh State University, 1975). Doctor of Engineering Sciences (USATU, 1998). Research in the field of the critical situation management, informatics.

SMETANINA Olga Nikolaevna, professor of the Department of Computational Mathematics and Cybernetics, USATU. Diploma of Engineer on automated processes of machining and output of information (UAI, 1985). Doctor of Engineering Sciences (USATU, 2012). Research in the field of decision support in the social and economic systems.

RASSADNIKOVA Ekaterina Yurievna, senior lector of the Department of Computational Mathematics and Cybernetics, USATU. Diploma of economist-mathematician (USATU, 2011). Ph.D. in Engineering Science (USATU, 2015). Research in the field of decision support of transport logistics solutions.



Measuring, Control and Diagnostics in Extreme Conditions
Измерения, контроль и диагностика в экстремальных условиях

ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМ ИЗМЕРЕНИЯ РАДИАЛЬНЫХ ЗАЗОРОВ С САМОКОМПЕНСАЦИЕЙ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

Белопухов В.Н., Боровик С.Ю., Кутейникова М.М., Подлипнов П.Е., Секисов Ю.Н., Скобелев О.П.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт проблем управления сложными системами Российской академии наук
443020, Самара, ул. Садовая, 61, Россия
borovik@iccs.ru
тел: +7 (846) 333 26 77

Ключевые слова: *турбомашина, радиальные зазоры, одновитковый вихретоковый датчик, самокомпенсация температурных воздействий, система измерения, принципы построения, алгоритмы*

Abstract

The overview of structural and functional scheme of the system for measuring of radial and axial displacements with self-compensation of temperature influence on eddy-current single-coil sensor is given. The brief description of hardware and software tools of the system is given too.

Известны методы измерения радиальных зазоров (РЗ) между статорной оболочкой и торцами рабочих лопаток в турбомашинах на основе применения одновитковых вихретоковых датчиков (ОВТД) [1-2]. Указанные методы предполагают использование двух ОВТД, включенных в дифференциальную измерительную цепь с импульсным питанием. При этом один датчик выполняет рабочие функции, а второй обеспечивает компенсацию температурных воздействий среды на результат измерения. Очевидным недостатком методов является необходимость в двух установочных отверстиях на статорной оболочке турбомашины, что может негативно сказаться на прочностных свойствах силовой установки. Кроме того, учитывая существенную сложность в подборе пар ОВТД с идентичными параметрами, добиться полной термокомпенсации не представляется возможным.

Это послужило стимулом к разработке методов с самокомпенсацией температурных воздействий, рассчитанных на использование одного ОВТД, выполняющего как рабочие, так и компенсационные функции при единственном установочном отверстии в статорной оболочке [3, 4]. Самокомпенсация осуществляется в процессе вращения рабочего колеса, когда согласно предложенному в [3, 4] методу производится измерение и фиксация экстремальных значений эквивалентной индуктивности первичной обмотки согласующего трансформатора ОВТД при наличии контролируемой лопатки в зоне чувствительности датчика и при ее отсутствии, т.е. при прохождении чувствительного элемента центром межлопаточного промежутка. Затем вычисляется разность полученных результатов, которая не зависит от температурных воздействий на элементы конструкции ОВТД и датчик в целом. Благодаря самокомпенсации, при реализации предлагаемого метода отпадает необходимость в дополнительном ОВТД для термокомпенсации и соответствующем установочном отверстии в статорной оболочке, что и определяет преимущества предлагаемого метода по сравнению с известными.

Доклад посвящен рассмотрению принципов построения систем измерения РЗ в компрессоре, реализующих предложенную идею самокомпенсации температурных воздействий на ОВТД на уровне базовых алгоритмов функционирования системы.

Как известно, в соответствии с предложенным методом измерения РЗ с самокомпенсацией [3], предполагается вычисление разности двух экстремальных значений кодов, относящихся к одной и той же лопатке - кода, соответствующего экстремуму выходного сигнала ОВТД при

прохождении лопаткой его чувствительного элемента и кода, соответствующего прохождению под чувствительным элементом этого же ОВТД центра межлопаточного промежутка.

Определение экстремальных значений кодов, которые соответствуют центрам смежных межлопаточных промежутков, производится на нижнем уровне системы. При этом используется оригинальный способ [5], предусматривающий статистическую обработку кодов, зафиксированных на одном обороте вращения лопаточного колеса. В ходе такой обработки строится распределение кодов, которое позволяет дать оценку наиболее вероятного значения кода, соответствующего центрам всех межлопаточных промежутков рабочего колеса. Такой способ определения экстремальных значений кодов наиболее эффективен, поскольку зависимость кода от времени в области экстремальных значений имеет весьма пологий характер, где применение алгоритмов прямого поиска не обеспечивает необходимой точности. Кроме того, вычисленное таким статистическим способом усредненное значение кода для всех межлопаточных промежутков рабочего колеса позволяет существенно снизить влияние помех на полученный результат.

Что же касается определения экстремальных значений кодов на выходе измерительной цепи с ОВТД при прохождении лопатками его чувствительного элемента, то здесь могут быть использованы различные алгоритмы. Они отличаются способом получения численных оценок и могут быть с разной степенью эффективности применяться для различных режимов работы силовой установки. Так, например, в переходных режимах работы турбомашины целесообразно использовать алгоритмы прямого поиска экстремумов, либо осуществлять их оперативное накопление в буферной памяти системы для дальнейшей обработки в применением различных методов аппроксимации и с дальнейшим поиском экстремума аппроксимированной функции [6, 7]. В свою очередь, на установившихся режимах работы турбомашины с большей эффективностью может быть использован оригинальный статистический алгоритм нахождения экстремумов с заданной точностью без применения аппроксимации огибающих кодов при прохождении лопатками чувствительного элемента ОВТД [8, 9].

Как уже отмечалось, искомые значения РЗ определяются по разности экстремальных значений кодов для каждой лопатки и центра межлопаточных промежутков. В то же время, на основании исследований влияний температуры на ОВТД и измерительную [10, 11] была обнаружена так называемая «недокомпенсация» температурных воздействий на ОВТД. Для ее устранения в работе [12] предложен способ коррекции, предусматривающий умножение полученной разности кодов на безразмерный коэффициент, зависящий от температурных воздействий на ОВТД. При этом информация о температурных воздействиях поступает с встроенной в ОВТД термопары.

Встроенная в ОВТД термопара может использоваться и для уменьшения влияния температуры в газовоздушном тракте на лопатки при проведении индивидуальной градуировки ОВТД при различных температурах. При этом вычисление физических значений искомых РЗ производится традиционным способом с помощью градуировочных характеристик в виде зависимости разности кодов от РЗ и температуры. Описания оборудования для метрологических экспериментов, а также методики получения градуировочных характеристик и их применения в расчетах РЗ можно найти в работах [1, 2].

Рассмотренный выше подход может использоваться и в задачах измерения двухкоординатных смещений торцов лопаток – в радиальном (РЗ) и осевом направлении. В этом случае необходимо использовать кластер из двух ОВТД [1, 2]. При этом преобразования информативных параметров обоих ОВТД, равно как и последующая предварительная обработка, абсолютно идентичны для случая одно- и двух-координатных измерений, а для нахождения искомых РЗ и осевых смещений осуществляется путем решение системы из двух уравнений полученных экспериментально как семейство градуировочных характеристик с учетом температуры в газовоздушном тракте. Описание способов решения таких систем уравнений также приведено в работах [1, 2].

Список литературы

[1] Методы и средства измерения многомерных перемещений элементов конструкций силовых установок / Секисов Ю.Н., Скобелев О.П., Беленький Л.Б. [и др.]; под ред. Секисова Ю.Н., Скобелева О.П. – Самара: Изд-во СамНЦ РАН, 2001. – 188с.

[2] Кластерные методы и средства измерения деформаций статора и координат смещений торцов лопаток и лопастей в газотурбинных двигателях / Л.Б. Беленький, С.Ю. Боровик, Б.К. Райков [и др.]; под общ. ред. Скобелева О.П. – М.: Машиностроение, 2011. – 298с.

[3] Патент 2587644 РФ, МПК G01B 7/14. Способ измерения радиальных зазоров между торцами лопаток рабочего колеса и статорной оболочкой турбомашины / Белопухов В.Н., Подлипнов П.Е., Райков Б.К., Секисов Ю.Н., Скобелев О.П., -2014154334/28; Заявл. 30.12.2014; Опубл. 20.06.2016, бюл. 17.

[4] Белопухов В.Н., Боровик С.Ю., Кутейникова М.М. [и др.] Самокомпенсация температурных воздействий на одновитковый вихретоковый датчик при измерении радиальных зазоров в компрессоре и турбине // Проблемы управления и моделирования в сложных системах: Труды XIX Международной конференции. -Самара: ООО «Офорт», 2017. -с. 535-537

[5] Патент 2651622 РФ, 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., - Заявл. 09.12.2016; Опубл. 23.04.2018, бюл. 12.

[6] Белопухов В.Н., Боровик С.Ю., Кутейникова М.М. Алгоритмы функционирования систем измерения радиальных и осевых смещений торцов лопаток сложной формы // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль, № 4 (18), 2016. – С. 35–46.

[7] Белопухов В.Н., Боровик С.Ю. Алгоритм поиска экстремальных значений кодов в системе измерения радиальных и осевых смещений торцов лопаток сложной формы // Проблемы управления и моделирования в сложных системах: Труды XV Международной конференции. -Самара: Из-во СамНЦ РАН, 2013. -с.650-654.

[8] Патент 2651628 РФ, МПК G01B 7/14. Способ измерения с заданной точностью радиальных зазоров между торцами лопаток рабочего колеса и статорной оболочкой турбомашины при дискретном поступлении информации с датчика / Белопухов В.Н., Боровик С.Ю., Подлипнов П.Е. [и др.], - Заявл. 07.11.2016; Опубл. 23.04.2018, бюл. 12.

[9] Белопухов В.Н., Боровик С.Ю., Подлипнов П.Е. Оценка погрешностей дискретизации при определении экстремальных значений кодов в системах измерения радиальных зазоров в компрессорах турбомашин // Вестник СамГТУ. Серия «Технические науки», №1(57), 2018, -с. 47-54.

[10] Боровик С.Ю., Кутейникова М.М., Секисов Ю.Н. [и др.] Анализ влияния температуры на информативные параметры одновитковых вихретоковых датчиков // Автометрия, Том 53, №4, 2017. –с. 104-111.

[11] Боровик С.Ю., Кутейникова М.М., Секисов Ю.Н. [и др.] Влияние температуры в проточной части турбины на результаты измерений радиальных и осевых смещений торцов лопаток // Автометрия, Том 54, №1, 2018. –с. 124-131.

[12] Белопухов В.Н., Боровик С.Ю., Кутейникова М.М. [и др.] Метод измерения радиальных зазоров в газотурбинном двигателе с самокомпенсацией температурных воздействий на одновитковый вихретоковый датчик // Датчики и системы, №4, 2018.

ФУНКЦИИ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ОДНОВИТКОВЫХ ВИХРЕТОКОВЫХ ДАТЧИКОВ И ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ЦЕПЕЙ С САМОКОМПЕНСАЦИЕЙ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

Белопухов В.Н., Боровик С.Ю., Кутейникова М.М., Подлипнов П.Е., Секисов Ю.Н., Скобелев О.П.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт проблем управления сложными системами Российской академии наук
443020, Самара, ул. Садовая, 61, Россия
borovik@iccs.ru
тел: +7 (846) 333 26 77

Ключевые слова: *метод измерения, радиальные зазоры, самокомпенсация температурных воздействий, одновитковый вихретоковый датчик, семейство функций преобразования*

Abstract

The description of measuring circuit with self-compensation of temperature influence on single-coil eddy-current sensor is given. This circuit is a part of the system for measuring of radial clearances in compressor of gas-turbine engine. The paper presents the results of the investigation of the measuring circuit, namely, the sets of circuit functions of conversion where the initial data are the set of sensor functions of conversion that were obtained by the way of integration of results of simulation of electromagnetic interaction between the sensor and the blade with results of experimental researches of temperature influence on the sensor.

Рассматривается измерительная цепь (ИЦ) с приближенным дифференцированием, дифференциальной схемой на входе преобразователей «ток-напряжение» и АЦП на выходе [1, 2]. Отличительная особенность рассматриваемого варианта ИЦ является включение одновиткового вихретокового датчика (ОВТД) в одно из плеч дифференциальной схемы, в другое плечо - имитатора ОВТД. ИЦ входит в состав системы, в которой реализуется метод измерения радиальных зазоров (РЗ) с самокомпенсацией температурных воздействий на ОВТД. Метод предусматривает фиксацию экстремальных значений кодов АЦП на выходе ИЦ, соответствующих минимальному значению эквивалентной индуктивности согласующего трансформатора (СТ) ОВТД, когда контролируемая лопатка находится в зоне чувствительности ОВТД (условно обозначим это положение рабочего колеса РК I), а также максимальному значению его эквивалентной индуктивности, когда в зоне чувствительности находится центр межлопаточного промежутка (условное положение РК II). Далее вычисляется разность экстремальных значений кода, которая зависит только от РЗ и не зависит от температурных воздействий на чувствительный элемент (ЧЭ), другие элементы конструкции и ОВТД в целом [3, 4].

Вместе с тем, перечисленным операциям предшествуют аналоговые и аналого-цифровые преобразования в ОВТД не только искомых РЗ, но и температуры (положение РК I) и только температуры (положение РК II), а также последующие аналого-цифровые преобразования эквивалентной индуктивности первичной обмотки СТ в ИЦ (соответствующие указанным положениям рабочего колеса турбокомпрессора).

Известно также, что основными характеристиками измерительных преобразователей являются функции преобразования (ФП), которые определяют связь входных и выходных параметров, причем особая значимость ФП проявляется на этапе проектирования систем измерения для количественной оценки их эффективности.

С помощью существующей модели электромагнитного взаимодействия ЧЭ и лопатки получена ФП в виде зависимости эквивалентной индуктивности ЧЭ от РЗ при нормальной тем-

пературе (20°С), которая трансформирована (пересчитана) в первичную обмотку СТ, где результаты моделирования интегрируются с результатами экспериментальных исследований температурных воздействий (320°С и 620°С) на индуктивность первичной обмотки СТ. Итог проведенных операций – семейство ФП ОВТД в виде зависимости эквивалентной индуктивности первичной обмотки СТ от РЗ и температуры (положение РК I) и только от температуры (положение РК II).

На основе исследования ИЦ получено семейство ФП в виде зависимостей цифрового кода от РЗ и температуры (положение РК I) и только от температуры (положение РК II). При этом в качестве исходных данных использовано семейство ФП ОВТД. Показано, что составляющая кодов, связанная с температурой, существенно превышает составляющую, связанную с искомыми РЗ (это является своеобразной «платой» за самокомпенсацию) и приводит к повышению случайных погрешностей из-за влияния неустраненных внешних помех. Предусмотрены меры повышения помехозащищенности ИЦ, а также использование в программном обеспечении системы измерения РЗ алгоритмов статистической обработки и усреднения данных.

Список литературы

[1] Патент 2525614 РФ, МПК G01B 7/14. Устройство для измерения многокоординатных смещений торцов лопаток / Беленький Л.Б., Кутейникова М.М., Логвинов А.В. [и др.] -№0л2012157903/28; Заяв. 27.12.12; Опубл. 20.08.2014 бюл. №23.

[2] Беленький Л.Б., Скобелев О.П. Измерительная цепь с одновитковыми вихретоковыми датчиками и приближенным дифференцированием // Проблемы управления и моделирования в сложных системах: Труды XIV Международной конференции. Самара: Самарский НЦ РАН, 2012, с.602-606.

[3] Патент 2587644 РФ, МПК G01B 7/14. Способ измерения радиальных зазоров между торцами лопаток рабочего колеса и статорной оболочкой турбомашины / Белопухов В.Н., Подлипнов П.Е., Райков Б.К. [и др.], -2014154334/28; Заявл. 30.12.2014; Опубл. 20.06.2016, бюл. 17.

[4] Белопухов В.Н., Боровик С.Ю., Кутейникова М.М. [и др.] Метод измерения радиальных зазоров в газотурбинном двигателе с самокомпенсацией температурных воздействий на одновитковый вихретоковый датчик // Датчики и системы, №4, 2018.

СИНТЕЗ И АНАЛИЗ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ФАЗОВРАЩАТЕЛЕЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ СКОРОСТИ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ

М.А. Габидулин

Московский технологический университет МИРЭА
119454, Москва, пр. Вернадского, 78, Россия
gabidulin_ma@mail.ru
тел: +7 (499) 215-65-65 доб. 4014

Ключевые слова: *синтез, анализ, математические модели, фазовращатели, преобразователи скорости перемещений*

Abstract

The theory of converters of speed - contactless direct-current tachometers - is presented in the form of a scalar product of the signals of the synchronous tachogenerators format obtained by differentiating the signals of the raster sine-cosine converter and collinear to them of the signals received from signals from the same converter. The commonality of the principles of construction of converters of movings and direct-current tachometers on synchronous tachogenerators is revealed, since the principle of action of both is based on the solution of the goniometric phase shifter equation with the help of continuous or discrete scanning. The technique of the analysis and synthesis of analogue and digital-to-analogue structures of tachometrs is resulted.

Введение

Создание прецизионных мехатронных сложных систем предъявляет все возрастающие требования к параметрам цифровых электроприводов. Особенно трудно реализуемо достижение высокого быстродействия и точности в сочетании с плавностью хода в широком диапазоне изменения нагрузки и минимальных массогабаритных размерах информационно-силового модуля. Перечисленным требованиям наиболее полно удовлетворяют безредукторные электроприводы с подчиненным регулированием.

Однако вопросы расширения в них диапазона регулирования вплоть до “ползучих” скоростей и достижения высоких динамических показателей в условиях значительного изменения момента нагрузки по-прежнему весьма актуальны и требуют поиска путей дальнейшего их совершенствования [1-3].

В этом отношении значительный интерес представляют многофункциональные встраиваемые фотоэлектрические цифровые преобразователи угловых перемещений и скорости, в которых с помощью единых оптических дисков статора и ротора сигналы местной, скоростной и позиционной обратных связей формируются раздельно общей считывающей системой. При этом для регулирования скорости вращения требуются преобразователи тахометры, работающие эффективно как на высоких и средних частотах вращения, так и низких и инфранизких частотах вращения, что достижимо, если они имеют адаптивную структуру, изменяющуюся в зависимости от значения измеряемой частоты [3].

Исследования показывают, что для высоких и средних частот оптимальны частотно-импульсные преобразователи, построенные на структурах накапливающих фотоэлектрических цифровых преобразователей перемещений, а для низких и инфранизких частот – бесконтактные тахометры постоянного тока (БТПТ) на растровых синусно-косинусных преобразователях (СКП). Поэтому широкодиапазонные тахометры в верхней части диапазона должны работать как частотные, а в нижней – как амплитудные. Однако вопросы построения амплитудных преобразователей скорости перемещений на основе фазовращателей растровых СКП и электрон-

ных дифференциаторов недостаточно исследованы, что затрудняет выбор их оптимальной структуры при проектировании.

1 Постановка задачи

Обзор и анализ известных работ [1-5] показывает, что тахометры базируются на тех же физических принципах построения, что и преобразователи перемещений, но различаются способами дифференцирования перемещения по времени.

В тахометрах на асинхронных, коллекторных и синхронных тахогенераторах оно осуществляется непосредственно электромеханическим способом в процессе первичного преобразования перемещений.

Из них для систем с широким диапазоном регулирования частот вращения в наибольшей степени отвечают синхронные тахогенераторы (СТГ), обладающие существенными преимуществами по сравнению с асинхронными и коллекторными тахогенераторами. Они отличаются простотой конструкции, отсутствием остаточного напряжения, зоны нечувствительности и могут быть бесконтактными. Благодаря этому СТГ находят широкое применение в безредукторных электроприводах, требующих широкого диапазона регулирования скорости вращения.

В приведенных работах показано, что преобразование с помощью СТГ частоты вращения в постоянное напряжение основано на детектировании амплитудных, действующих или средневыпрямленных значений их выходных напряжений. Из них наибольшее применение получили тахометры с детектированием амплитудных и тахометры с детектированием средневыпрямленных значений.

Тахометры первого типа обеспечивают теоретически точное и безинерционное преобразование частоты вращения в постоянное напряжение. В выходном напряжении отсутствуют переменные составляющие, образующие пульсацию, остаточное напряжение и зона нечувствительности.

Перечисленные достоинства дают возможность строить на основе перемножителей и делителей аналоговых сигналов тахометры, обладающие широким диапазоном изменения частоты вращения, небольшим запаздыванием и малым уровнем помех. Однако применение аналоговых перемножителей и делителей ограничивает их точность.

В отличие от них тахометры второго типа осуществляют преобразование с методической погрешностью. Вместе с тем ее наличие не является принципиальным недостатком, так как при соответствующем выборе числа фаз при детектировании сигналов СТГ посредством многофазных выпрямителей или разрядности АЦП при детектировании их на основе цифроаналоговых перемножителей и делителей ее можно снизить до любой сколь угодно малой величины. Поэтому, несмотря на усложнение, применение аналого-цифровых и цифроаналоговых методов преобразования позволяет повысить точностные и динамические характеристики и реализовать их на современной микроэлементной базе.

Недостатком тахометров на основе СТГ является необходимость применения при их построении двух первичных преобразователей: преобразователя угла и СТГ, что усложняет конструкцию и достижение высоких точностных и динамических характеристик, так как магнитная система СТГ должна обеспечивать модуляцию сигналов по синусоидальному закону.

Обмотки должны быть отсимметрированы и иметь постоянную времени, измеряемую десятыми долями мс, что связано с технологическими трудностями и представляет достаточно сложную задачу.

В этом отношении интерес представляют тахометры, в которых сигналы СТГ формируются непосредственно из сигналов первичного преобразователя угла путем их дифференцирования.

Формирование сигналов формата СТГ электронным путем в цепях вторичного преобразования позволяет строить тахометры на одном ПП, что значительно упрощает конструкцию и

расширяет возможности их построения, так как ПП могут иметь различные физические принципы действия.

Из них наиболее широкую известность получили тахометры, построенные с дифференцированием сигналов СКВТ [1-4]. Однако их недостатком является наличие в них демодуляторов для получения синусно-косинусных сигналов постоянного тока, необходимых для формирования формата СТГ.

Применение растровых СКП, работающих непосредственно на постоянном токе, позволяет упростить схему формирования тахосигнала и повысить быстродействие и точность за счет исключения демодуляторов и сопутствующим им сглаживающих фильтров.

Однако в известных работах рассмотрены частные технические решения и отсутствуют их обобщения, что не позволяет производить целенаправленно выбор и оптимизацию структур БТПТ на их основе.

В работе сформулирована и решена задача анализа и синтеза математических моделей гониометрических ФВ в форме скалярного произведения n-фазных систем измерительных и опорных сигналов пространственных фаз φ и ψ, а на их основе задача синтеза преобразователей скорости перемещений, отвечающих предъявляемым требованиям, что значительно расширяет возможности по выбору их конструктивных параметров при проектировании [4].

2 Синтез и анализ математических моделей фазовращателей преобразователей скорости - бесконтактных тахометров постоянного тока на основе растровых СКП

С целью выявления общих закономерностей построения БТПТ рассмотрим математические модели тахометров с детектированием амплитудных и средневыпрямленных значений сигналов формата СТГ, полученного из сигналов растровых СКП, и произведем их анализ.

Представим в общем виде систему сигналов СТГ в векторной форме

(1) $\mathbf{U} = \left(U_i, i=\overline{1,n}\right)$,

где $U_i = \dfrac{\mathrm{d}\varphi}{\mathrm{dt}}\mathbf{cos}\left(\varphi - \varphi_i\right)$ – сигнал i-ой фазы; $\varphi = N_{\text{п}}\alpha$ – пространственная фаза синусно-косинусных сигналов СКП; $\varphi_i = \dfrac{2\pi}{n}\left(i-1\right)$ – начальный сдвиг i-ой фазы; $N_{\text{п}}$ – коэффициент масштабного преобразования углового перемещения $\alpha = \Omega t$, изменяющегося во времени с угловой скоростью Ω; n – число фаз системы сигналов формата СТГ.

Отсюда усматриваем, что задача формирования выходного сигнала тахометра

(2) $U_{\text{т}} = k_{\text{т}}\Omega$,

где $k_{\text{т}}$ – крутизна характеристики преобразования, в общем случае сводится к нахождению нормы $\left\|\mathbf{U}\right\| = \left(\mathbf{UU}\right)^{\frac{1}{2}}$ вектора $\mathbf{U}$, что равносильно скалярному его умножению на коллинеарный вектор $\mathbf{U}^* = \left(U_i^*, i=\overline{1,n}\right)$ нормы $\left\|\mathbf{U}^*\right\| = \left(\dfrac{n}{2}\right)^{\frac{1}{2}}$ [6]:

(3) $\left\|\mathbf{U}\right\| = \mathbf{UU}^*$,

где $U_i^* = \mathbf{cos}\left(\varphi - \varphi_i\right)$.

Записав (3) в развернутом виде, с учетом (1) находим, что

(4) $\|\mathbf{U}\| = \mathbf{U}\mathbf{U}^{*} = \dfrac{\mathrm{d}\varphi}{\mathrm{dt}} \sum_{i=1}^{i=n} \mathbf{cos}^2\left(\varphi - \varphi_i\right) = k_{\text{ò}}\Omega$,

где $k_{\text{ò}} = \dfrac{nN_{\text{ï}}}{2}$, что совпадает с (2).

Таким образом, теоретически задача построения БТПТ заключается в синтезе точных или приближенных способов вычисления нормы вектора $\mathbf{U}$. Причем тахометрам с детектированием амплитудных значений соответствуют точные способы, а средневыпрямленных значений сигналов СТГ – приближенные способы.

Как известно из теории преобразователей перемещений, скалярное произведение многофазных систем сигналов в форме (3) описывается уравнением многофазного гониометрического фазовращателя [5, 7], реализующего операцию сравнения:

(5) $U_{\text{ãô â}} = \mathbf{U}_{\text{ð}}\mathbf{U}_{\text{ï}} = \sum_{i=1}^{i=n} \mathbf{sin}\left(\psi - \psi_i\right)\mathbf{cos}\left(\varphi - \varphi_i\right) = k_{\text{ãô â}}\,\mathbf{sin}\left(\psi - \varphi\right)$,

где $U_{\text{ð}i} = \mathbf{sin}\left(\psi - \psi_i\right)$, $U_{\text{ï}i} = \mathbf{cos}\left(\varphi - \varphi_i\right)$ – сигналы i-ой фазы многофазных систем сигналов развертки ψ и сигналов ПП; φ – измеряемая фаза; ψ – фаза, пропорциональная выходному сигналу преобразователя перемещений и которая изменяется в процессе преобразования до достижения с известной точностью равенства $\psi \cong \varphi$, соответствующего ортогональности векторов $\mathbf{U}_{\text{ð}}$ и $\mathbf{U}_{\text{ï}}$; $k_{\text{ãô â}} = \dfrac{n}{2}$.

Из (4) можно видеть, что в тахометрах при равенстве $\psi \cong \varphi$ должна обеспечиваться коллинеарность $\mathbf{U}_{\text{ð}}$ и $\mathbf{U}_{\text{ñòã}}$. Отсюда из (5) следует:

(6) $U_{\text{ò}} = \dfrac{\mathrm{d}}{\mathrm{dt}} U_{\text{ãô â}} = \mathbf{U}_{\text{ð}}\mathbf{U}_{\text{ï}}' = k_{\text{ò}}\dfrac{\mathrm{d}\varphi}{\mathrm{dt}}\mathbf{cos}\left(\psi - \varphi\right)$,

где $\mathbf{U}_{\text{ï}}' = \dfrac{\mathrm{d}}{\mathrm{dt}}\mathbf{U}_{\text{ï}}$ – вектор многофазной системы формата СТГ; $k_{\text{ò}} = k_{\text{ãô â}}$, что доказывает общность принципов построения тахометров и преобразователей угла, так как по определению $\Omega = \dfrac{\mathrm{d}\alpha}{\mathrm{dt}}$.

Из (5), (6) следует, что, как и в случае преобразования перемещений α, в процессе преобразования скорости вращения Ω должно осуществляться равенство $\psi = \varphi$. При построении тахометров аналоговыми методами это достигается использованием в качестве ψ непосредственно пространственной фазы φ.

При дискретной развертке в процессе преобразования воспроизводятся дискретные значения

(7) $\psi = \varphi_N$,

где $\varphi_N = Nq$ – уровни квантования φ; q, N – шаг и номер уровня квантования.

Подставив (7) в выражение (6), будем иметь

(8) $U_{\text{ò}} = k_{\text{ò}}\dfrac{\mathrm{d}\varphi}{\mathrm{d}t}\mathbf{cos}\left(\varphi - \varphi_N\right)$.

Из(8) следует, что переход от непрерывной развертки к дискретной развертке приводит к появлению пульсаций $U_{\text{ò}}$, величина которых определяется шагом квантования q.

Полученным результатам нетрудно дать простую геометрическую интерпретацию в рамках векторной алгебры, используя понятия вектор-функции скалярной переменной t и производной вектор-функции по t. Измерительный сигнал преобразователя перемещения можно представить в виде радиус-вектора $\mathbf{r} = \mathbf{r}(t)$ точки M в линейном пространстве со скалярным произведением, годограф которого есть окружность единичного радиуса для $n = 2$, т.е. $\|\mathbf{r}\| = 1$. Тогда производная радиус-вектора $\frac{\mathrm{d}\mathbf{r}}{\mathrm{d}t}$ есть вектор, касательный к годографу радиус-вектора $\mathbf{r} = \mathbf{r}(t)$ в точке M, который по величине и направлению – это скорость перемещения точки вдоль окружности.

$$\frac{d\mathbf{r}}{d\mathrm{t}} = N_{\text{ï}} \frac{d\alpha}{dt} = N_{\text{ï}} \Omega t ,$$

где $N_{\text{ï}}$ – коэффициент масштабного преобразования углового перемещения $\alpha = \Omega t$ в пространственную фазу $\varphi = N_{\text{ï}} \alpha$ сигналов СКП, что совпадает с соотношением (4), если учесть, что $n = 2$, и согласуется с определением угловой скорости $\Omega = \frac{\mathrm{d}\alpha}{\mathrm{dt}}$.

А так как радиус-вектор $\mathbf{r} = \mathbf{r}(t)$ точки и радиус-вектор ее производной $\frac{\mathrm{d}\mathbf{r}}{\mathrm{d}t}$ представляются при реализации преобразователей перемещений и скорости в координатной форме, то связь выражается как $U_{\text{ò}} = \frac{\mathrm{d}}{\mathrm{dt}} U_{\text{âû}}$.

Таким образом, произведенное обобщение показывает, что уравнение многофазного синхронного детектирования в тахометрах соответствует уравнению многофазного гониометрического фазовращателя в преобразователях перемещений, что позволяет использовать при их построении схемотехнику фотоэлектрических цифровых преобразователей перемещений.

3 Синтез и анализ структур тахометров на основе схемотехники фотоэлектрических цифровых преобразователей перемещений

Произведем синтез структур тахометров, построенных на основе способа квадратурного синхронного детектирования сигналов формата СТГ, который основан на перемножении или делении квадратурных сигналов СТГ на квадратурные сигналы СКП и алгебраическом суммировании произведений или частных и получил наибольшее применение ввиду простоты, высокого быстродействия и точности [1-3].

В соответствии с уравнениями квадратурного синхронного детектирования будем иметь

(9) $U_{\text{ò}} = k_{\text{ñó}} k_{\text{ï}} \left(U_{\text{ò}c} U_{\text{c}} - U_{\text{ò}s} U_{s} \right)$,

(10) $U_{\text{ò}} = k_{\text{ñó}} k_{\text{ä}} \left(\frac{U_{\text{ò}c}}{U_{\text{c}}} - \frac{U_{\text{ò}s}}{U_{s}} \right)$,

где $k_{\text{ñó}}$, $k_{\text{ï,ä}}$ – коэффициенты передачи аналоговых сумматора, перемножителей и делителей; $U_{\text{ò}s,c}$, $U_{s,c}$ – синусный и косинусный сигналы СТГ и СКП;

(11) $U_{\text{ò}s,c} = k_{\text{äð}} \frac{\mathrm{d}U_{c,s}}{\mathrm{d}t}$,

(12) $U_s = U_m \sin\varphi$,

(13) $U_c = U_m \cos\varphi$,

где $k_{\text{äð}}$ – коэффициент передачи дифференциаторов; U_m – амплитуда сигналов СКП.

С учетом (11)-(13) из (9), (10) находим

(14) $U_{\text{ò}} = k_{\text{ò}}\Omega$,

где $k_{\text{ò}} = k_{\text{ñó}} k_{\text{ï}} k_{\text{äð}} N_{\text{ï}} U_m^2$ или $k_{\text{ò}} = 2k_{\text{ñó}} k_{\text{ä}} k_{\text{äð}} N_{\text{ï}}$ – крутизна характеристики тахометра.

Отсюда следует, что при квадратурном детектировании осуществляется детектирование амплитудных значений сигналов формата СТГ, т.е. безинерционное преобразование без пульсаций выходного сигнала $U_{\text{ò}}$.

Сопоставление показывает, что по количеству элементов схемы тахометров на перемножителях и делителях равноценны. Схема на перемножителях имеет квадратичную зависимость крутизны выходной характеристики от амплитуды U_m первичных сигналов, в то время как в схеме на делителях крутизна характеристики не зависит от амплитуды U_m.

Однако ее недостаток в том, что деление $U_{\text{ò}s,c}$ на $U_{\text{ò}s,c}$ вблизи нулевых значений $U_{s,c}$ из-за инерционности дифференциаторов сопряжено с большими погрешностями. Так, при наличии фазовых сдвигов Δ сигналов $U_{\text{ò}s,c}$ относительно $U_{s,c}$ будем иметь вместо (14)

(15) $U_{\text{ò}} = k_{\text{ò}} \left(\cos\Delta - \text{ctg}2\varphi \sin\Delta\right)\Omega$.

Из (15) видно, что при наличии $\Delta \neq 0$ в точках $\varphi = k\dfrac{\pi}{2}$, $k = 1, 2...$ погрешность может резко возрастать.

Анализ микросхем делителей показывает, что деление в них реализуется соответствующим подключением четырехквадрантного перемножителя аналоговых сигналов в цепь отрицательной обратной связи операционного усилителя. Однако при этом не обеспечивается деление в четырех квадрантах диапазона изменения делимого и делителя. Кроме того, такая схема имеет меньшее быстродействие в сравнении с перемножителем и меньшую точность. В силу отмеченных недостатков схема тахометра на перемножителях более приемлема.

Для исключения влияния изменений амплитуды первичных сигналов на крутизну $k_{\text{ò}}$ схему тахометра необходимо дополнить делителем (Д), осуществляющим деление выходного сигнала суммирующего устройства (СУ) на опорный сигнал U_0, пропорциональный амплитуде U_m первичных сигналов, как показано на рис. 1, а.

Схема содержит растровый СКП, суммирующие усилители СУ1-СУ4, электронные дифференциаторы ДР1-ДР2, перемножители П1-П2 и делитель Д. СУ1-СУ2 и СУ4 выполнены с дифференциальными входами и формируют разностные сигналы $U_{s,c}$ и $U_{\text{ñó}}$. СУ3 формирует опорный сигнал U_0 суммированием четырехфазной системы первичных сигналов ПП.

При этом выделяется постоянная составляющая U_0 первичных сигналов вида $U_{\text{ï}\,i} = U_{0\text{ï}} + U_{m\text{ï}} \sin\left(\varphi - \varphi_i\right)$, где $\varphi_i = \dfrac{2\pi}{n}\left(i-1\right)$, $n = 4$, а скорректированное выходное напряжение тахометра будет определяться как отношение $U_{\text{ñó}}$ и U_0

(16) $U_{\text{òñêî ð}} = k_{\text{ä}} \dfrac{U_{\text{ñó}}}{U_0}$,

где $U_{\text{ñó}}$ – выходное напряжение СУ4, которое определяется выражением (14).

Учитывая, что наибольшие изменения U_m обусловлены изменениями выходной мощности источника излучения, можно считать

(17) $U_0 = k_{\text{ñó}3} U_m$,

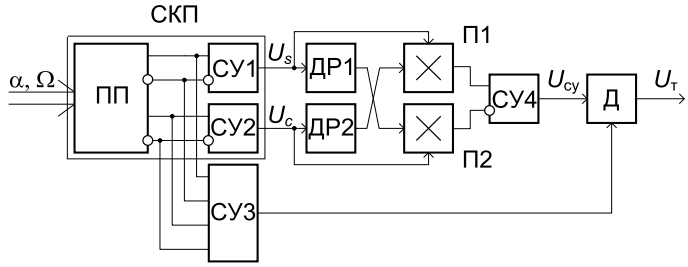
где $k_{\text{ñó}}$ – коэффициент передачи СУ3. С учетом (14), (16) и (17) находим, что

$$U_{\text{òñêî ð}} = k_{\text{òñêî ð}} \Omega,$$

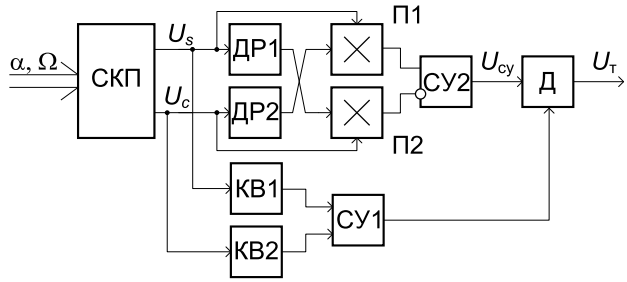
где $k_{\text{òñêî ð}} = \dfrac{k_{\text{ä}} k_{\text{ñó}} k_{\text{ï}} k_{\text{äð}} N_{\text{ï}} U_m}{k_{\text{ñó}3}}$ – скорректированная крутизна характеристики.

Полная компенсация влияния изменения U_m достигается при формировании U_0, функционально связанного с ним квадратичной зависимостью $U_0 = \mathrm{k}_{\text{ñó}2} U_m^2$, что может быть осуществлено с помощью квадраторов КВ1-КВ2, как показано на схеме рис. 1, б.

Однако компенсация влияния U_m достигается в схеме существенным ее усложнением за счет применения двух квадраторов, что более чем в 2 раза увеличивает объем оборудования в сравнении со схемой рис. 1, а.



а)



б)

а) – с формированием опорного сигнала суммированием сигналов четырехфазного ПП;
б) – с формированием опорного сигнала суммированием квадратов сигналов СКП.

Рисунок 1 – Структурная схема БТПТ на перемножителях

Рассмотренные структуры отличаются структурной простотой и при микроэлектронном исполнении, небольшими массогабаритными размерами, однако из-за погрешностей аналоговых перемножителей имеют недостаточную точность [2].

Сопоставив (6) и (9) можно видеть, что квадратурный синхронный детектор есть не что иное, как двухфазный фазовращатель, и, следовательно, рассмотренные структуры представ-

ляют собой частные случаи тахометров, основанные на схемотехнике многофазных гониометрических фазовращателей с непрерывной разверткой $\psi = \varphi$, и при выборе $n = 2$.

Из (6) следует, что для построения таких тахометров необходимо сформировать сигналы форматов СТГ и ПП, представляющих собой *n*-фазные системы синусоидальных сигналов, либо непосредственно из *n*-фазной системы сигналов ПП, либо из сигналов формата СКП.

Их недостатками являются сложность, обусловленная многофазностью. Однако ввиду того, что фильтрующие свойства многофазных систем выше, чем двухфазных, точность структур на их основе может быть выше. Объем оборудования может быть значительно уменьшен при формировании многофазных систем сигналов из сигналов СКП. Однако при этом теряются преимущества многофазных систем, заключающихся в фильтрации высших пространственных гармоник сигналов.

Произведенный анализ выявил ряд возможных вариантов построения тахометров с детектированием амплитудных значений сигналов СТГ. Из них наиболее простым является вариант на двух перемножителях, обеспечивающий высокое быстродействие. Его преимуществом является также то, что он может быть выполнен на стандартной микроэлементной базе. Остальные варианты более сложны в реализации и менее быстродействующие. Общим недостатком рассмотренных схем тахометров является невысокая точность, обусловленная аналоговой схемотехникой обработки сигналов.

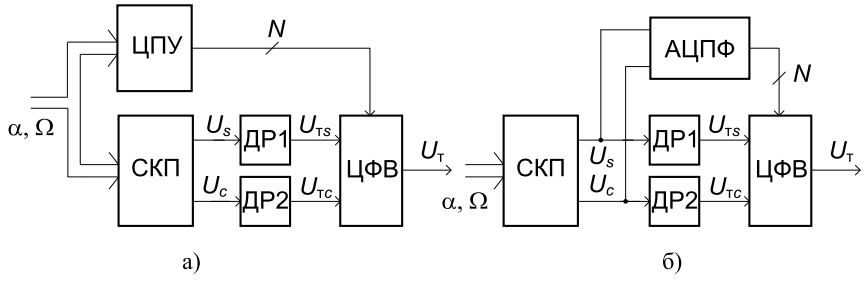
С целью выявления существующих возможностей повышения точности и дальнейшего совершенствования рассмотрим варианты построения тахометров с детектированием средневыпрямленных значений сигналов СТГ, основанных на использовании аналого-цифровой и цифро-аналоговой схемотехники.

Теоретически возможность построения БТПТ с привлечением методов аналого-цифрового и цифро-аналогового преобразований вытекает из идентичности уравнений квадратурного синхронного детектирования и двухфазного фазовращателя, лежащих в основе известных способов построения тахометров и аналого-цифровых преобразователей пространственной фазы (АЦПФ) сигналов СКП, и возможности их решения применением дискретной развертки (7).

Отсюда усматриваем, что для построения тахометра на основе (7) необходимо произвести преобразование угла α в код N с коэффициентом масштабного преобразования СКП и цифро-аналоговое преобразование кода N в соответствии с уравнением (8) цифрового фазовращателя (ЦФВ).

Следовательно, в общем случае схема тахометра должна состоять из растрового СКП, цифрового преобразователя угла (ЦПУ), дифференциаторов ДР1, ДР2 и цифрового фазовращателя ЦВФ, как показано на рис. 2, а. Однако ее недостатком является наличие двух ПП, что может быть оправдано лишь в случае, когда в качестве ЦПУ используется штатный преобразователь электропривода.

В остальных случаях предпочтительным является применение ЦПУ, осуществляющего аналого-цифровое преобразование пространственной фазы СКП и состоящего СКП и АЦПФ, что позволяет построить тахометр на одном ПП (рис. 2, б).



а) – с цифровым преобразователем угла;
б) – с АЦП пространственной фазы СКП.

Рисунок 2 – Обобщенная структурная схема БТПТ на ЦФВ

В зависимости от способов АЦ-преобразования пространственной фазы φ СКП и ЦА-преобразования кода N в синусный и косинусный сигналы развертки $\psi = \varphi_N$ и операций умножения и суммирования возможны различные структуры АЦПФ и ЦФВ, комбинации которых будут порождать различные структуры БТ

Сопоставление уравнений (5), (6) показывает их идентичность, если учесть, что дифференциаторы вносят сдвиг $\frac{\pi}{2}$ на опережение.

Отсюда следует, что при построении цифро-аналоговых тахометров могут быть использованы последовательные, параллельные и параллельно-последовательные структуры ЦФВ, являющиеся основными узлами следящих, параллельных и параллельно-последовательных АЦПФ (СлАЦПФ, ПрАЦПФ, ПрПсАЦПФ), принципы построения и схемотехника которых детально рассмотрены [4,5,8].

Сопоставление показывает, что наиболее простыми в реализации при разрядности φ_N $n \le 5...6$ являются структуры на основе ПрАЦПФ и ПрПсАЦПФ, отличающие технологичностью и высоким быстродействием. Структуры на СлАЦПФ предпочтительны при $n \ge 5...6$. Однако, учитывая, что при $n \approx 5...6$ методическая погрешность, вызываемая пульсациями из-за квантования не превышает 0.1%, что меньше других составляющих погрешности, более предпочтительными являются структуры БТПТ на ПрАЦПФ и ПрПсАЦПФ.

Разработанные структуры БТПТ являются обобщенными и позволяют синтезировать различные частные структуры в зависимости от выбора конкретных технических решений основных функциональных узлов.

В качестве иллюстрации рассмотрим схему тахометра на ПрАЦПФ (рис.3) для случая $n = 2$, где n – число разрядов АЦПФ.

В качестве иллюстрации рассмотрим схему тахометра на ПрАЦПФ (рис.3) для случая $n = 2$, где n – число разрядов АЦПФ.

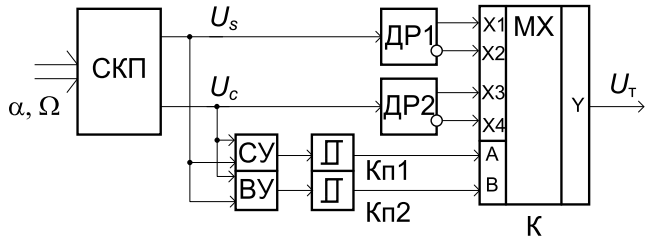


Рисунок 3 –схема БТПТ с коммутатором сигналов формата СТГ

Для данного случая схема существенно упрощается, так как АЦПФ может быть выполнен на двух компараторах (Кп1, Кп2), а фазорасщепитель (ФР) реализуется использованием ДР1, ДР2, имеющих парафазные выходы. ЦФВ при этом представляет собой коммутатор, который управляется двухразрядным кодом компараторов, на входы которых подаются сумма и разность синусного и косинусного напряжений СКП, сформированных с помощью суммирующего и вычитающего устройств (СУ, ВУ). Этим достигается смещение характеристики АЦПФ на половину кванта, что необходимо для уменьшения максимальной величины разности $\Delta\varphi_N = \varphi - \varphi_N$ и, следовательно, вызываемой квантованием пульсаций выходного напряжения.

Как показывает анализ, разработанные структуры цифро-аналоговых тахометров по принципу действия представляют собой бесконтактные аналоги коллекторных тахометров постоянного тока, в которых коммутация многофазных обмоток производится при помощи

щеточного коллектора. Поэтому их достоинствами являются большая надежность, долговечность и меньший уровень коммутационных помех и пульсаций.

Формирование тахосигнала при помощи ЦФВ в сравнении с аналоговыми ФВ более точно и технологично вследствие использования в них цифровой и аналого-цифровой схемотехники, а также линейной зависимости крутизны характеристики от амплитуды U_m первичных сигналов.

Сравнение тахометров, построенных на основе ЦФВ, выполняющих функции квадратурных синхронных детекторов, и на основе многофазных фазочувствительных выпрямителей показывает, что квадратурный синхронный детектор с дискретной разверткой соответствует многофазному фазочувствительному выпрямителю, число фаз которого равно числу квантов дискретной развертки.

Так, в случае выпрямителя размах пульсаций $\Delta U_{\text{п}}$ и среднее значение $U_{\text{ср}}$ выпрямленного напряжения определяются выражениями:

(18) $\Delta U_{\text{п}} = U_m\left(1-\cos\frac{\pi}{n}\right)$,

(19) $U_{\text{ср}} = U_m \mathbf{Sa}\left(\frac{\pi}{n}\right)$,

где $\mathbf{Sa}(x)=\frac{\sin x}{x}$; n – число фаз.

С учетом (18), (19) относительную величину пульсаций можно определить как

(20) $\delta U_{\text{п}} = \frac{1}{2}\frac{\Delta U_{\text{п}}}{U_{\text{ср}}} = \frac{1-\cos\frac{\pi}{n}}{2\,\mathbf{Sa}\frac{\pi}{n}} = \frac{\pi}{2n}\mathbf{tg}\frac{\pi}{2n}$.

В случае квадратурного синхронного детектора величина пульсаций выходного сигнала определяются шагом квантования q и смещением ξ. Наименьший размах пульсаций будет при выборе $\xi = 0.5$, что соответствует случаю, когда равенство $\varphi = \varphi_N$ достигается в середине кванта. При этом относительная величина пульсаций не превышает

$$\delta U_{\text{п}} = \frac{1-\cos 0.5q}{1+\cos 0.5q}.$$

Произведя упрощение, находим

$$\delta U_{\text{п}} = \mathbf{tg}^2\frac{\pi}{2N_{\text{кв}}},$$

где $N_{\text{кв}} = \frac{2\pi}{q}$ – число уровней квантования.

Полученное выражение с точностью до членов высших порядков малости совпадает с выражением (20).

Сравнительный анализ показывает, что тахометры с выпрямителями имеют меньшую точность и при одинаковом уровне пульсаций больший объем оборудования, что связано с формированием многофазной системы сигналов формата СТГ.

Рассмотрим возможность их упрощения и повышения точности путем применения в качестве выпрямителей фазовращателей с импульсным многофазным питанием цепей их опор-

ных сигналов и формирования многофазной системы сигналов формата СТГ из квадратурных сигналов СКП.

Из уравнений (5), (6) следует, что рассматриваемые тахометры должны иметь в общем случае структуру аналогичную структуре тахометров с аналоговыми ФВ с той лишь разницей, что фазорасщепитель сигналов развертки ψ является импульсным, вследствие чего их выходные напряжения будут иметь пульсации.

Произведем анализ возникающих пульсаций, полагая, что импульсный фазорасщепитель (ИФР) вырабатывает из сигналов СКП импульсы типа меандр:

$$U_{\text{ð}j}=\begin{cases}1 & \text{äëÿ}\quad 2k\pi\le\psi\text{-}\psi_j<(2k\text{+}1)\pi,\\ 0 & \text{äëÿ îñòàëüíû õ çí à÷åí èé }\psi\text{-}\psi_j,\end{cases}$$

где $\psi_j=\dfrac{2\pi}{n}(j\text{-}1)$, $j=\overline{1,n}$; n – число фаз; $k=0,\,1,\,2,\ldots$, а сигналы формата СТГ сформированы с помощью ФР сигналов дифференциаторов:

$$(21)\quad U_{\text{ï}\,j}{}'=k_{\text{ô}}\frac{\mathrm{d}\varphi}{\mathrm{d}t}\mathbf{sin}\left(\varphi-\psi_j\right).$$

Для простоты здесь коэффициенты передач звеньев тахометра учтены коэффициентом $k_{\text{ô}}$.

Согласно (6) выходное напряжение тахометра в этом случае будет определяться скалярным перемножением n-фазных систем сигналов ИФР и ФР

$$U_{\text{ô}}=\sum_{j=1}^{j=n}U_{\text{ð}j}U_{\text{ï}\,j}{}'\,.$$

Представив $U_{\text{ð}j}$ в виде $U_{\text{ð}j}=\dfrac{1+\mathbf{sign}\left(\mathbf{sin}\left(\varphi-\psi_j\right)\right)}{2}$, с учетом (21) находим, что $U_{\text{ô}}=k_{\text{ô}}\dfrac{\mathrm{d}\varphi}{\mathrm{d}t}\mathbf{F}(\varphi)$, где $\mathbf{F}(\varphi)$ – функция, характеризующая пульсации $U_{\text{ô}}$.

Учитывая, что $\sum_{j=1}^{j=n}\mathbf{sin}\left(\varphi-\psi_j\right)=0$, функция пульсации равна

$$(22)\quad \mathbf{F}(\varphi)=\frac{1}{2}\sum_{j=1}^{j=n}\left|\mathbf{sin}\left(\varphi-\psi_j\right)\right|.$$

Анализ (22) показывает, что $\mathbf{F}(\varphi)$ представляет собой сумму из $2n$ полуволн синусоиды, взятых по модулю. Причем при четном n сумма состоит из n пар синфазных полуволн, сдвинутых друг относительно друга на $\dfrac{2\pi}{n}$, а при нечетном – из $2n$ полуволн, сдвинутых друг относительно друга на $\dfrac{2\pi}{n}$. сумма состоит из n пар синфазных полуволн, сдвинутых друг относительно друга на $\dfrac{\pi}{n}$.

Отсюда следует, что при четном n сумма будет состоять из n полуволн удвоенной амплитуды, а при нечетном – из $2n$ полуволн единичной амплитуды. Поэтому $\mathbf{F}(\varphi)$ будет представ-

лять собой периодическую функцию φ с периодом, равным $\frac{2\pi}{n}$ для четного *n*, и $\frac{\pi}{n}$ для нечетного *n*.

Можно показать, что при четном *n* функция $\mathbf{F}(\varphi)$ для $\varphi \in \left[\frac{2\pi}{n}(j-1), \frac{2\pi}{n} j\right]$ представляет собой сумму синусоид многофазной системы $U_{\text{i}\,j}'$; $j=\overline{1,n}$

$$\mathbf{F}(\varphi) = \sum_{i=1}^{i=\frac{n}{2}} \mathbf{sin}\left(\varphi - \frac{2\pi}{n}\left(j - i + \frac{n}{2} - 1\right)\right).$$

Произведя суммирование, будем иметь

$$\mathbf{F}(\varphi) = \frac{1}{\mathbf{sin}\frac{\pi}{n}} \mathbf{cos}\left(\varphi - \frac{2\pi}{n}\left(j - \frac{1}{2}\right)\right),$$

где $\varphi \in \left[\frac{2\pi}{n}(j-1), \frac{2\pi}{n} j\right]$. Отсюда следует, что выходной сигнал тахометра будет иметь вид

$$(23)\quad U_{\text{ò}} = \frac{k_{\text{ò}}}{\mathbf{sin}\frac{\pi}{n}} \frac{\mathrm{d}\varphi}{\mathrm{dt}} \mathbf{cos}\left(\varphi - \psi_j - \frac{\pi}{n}\right),$$

где $\varphi \in \left[\frac{2\pi}{n}(j-1), \frac{2\pi}{n} j\right]$, $\psi_j = \frac{2\pi}{n}(j\text{-}1)$, $j = \overline{1,n}$.

Анализ (23) показывает, что ИФВ представляет собой *n*-фазный двухполупериодный выпрямитель, но выгодно отличается тем, что полярность выходного напряжения зависит от направления вращения Ω. Также ИФВ можно рассматривать как цифровой фазовращатель ЦФВ с дискретной разверткой ψ_j, $j = \overline{1,n}$, а ИФР – АЦПФ с числом уровней квантования, равным числу фаз *n*. Сдвиг $\frac{\pi}{n}$ в (24) соответствует смещению уровней квантования на полкванта для расположивинивания погрешности квантования и соответственно уменьшения пульсаций.

Выражение (23) получено для четных *n*. Для нечетных *n* выходное напряжение тахометра может быть получено из (23), если учесть (22) и заменить *n* на 2*n*:

$$(24)\quad U_{\text{ò}} = \frac{k_{\text{ò}}}{2\mathbf{sin}\frac{\pi}{2n}} \frac{\mathrm{d}\varphi}{\mathrm{dt}} \mathbf{cos}\left(\varphi - \psi_j - \frac{\pi}{2n}\right),$$

где $\psi_j = \frac{\pi}{n}(j\text{-}1)$, $j = \overline{1,2n}$

Сравнение (23), (24) показывает, что в схеме с нечетным числом фаз *n* при объеме оборудования, пропорциональном *n*, достигается уровень пульсаций, соответствующий схеме с удвоенным числом фаз. Поэтому при $n = 4$ уровень пульсаций будет выше, чем при $n = 3$.

Учитывая, что сигналы развертки в ИФВ представляют собой логические сигналы, аналоговые перемножители в них могут быть заменены ключами, как показано на рис. 4, на котором изображена схема тахометра с коммутацией сигналов формата многофазных СТГ.

Примером практической реализации схемы может служить тахометр, в котором формирование тахосигнала производится БИС типа L290 [4].

Анализ показывает, что в микросхеме реализован случай $n=4$. Особенность состоит в том, что в схеме исключен аналоговый ФВ сигналов формата СТГ, а ИФР выполнен квадратурным и формирующим разнополярные импульсы.

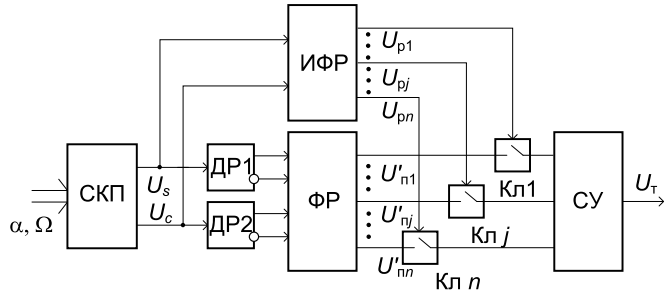


Рисунок 4 –схема БТПТ с коммутацией n-фазной системы сигналов формата СТГ

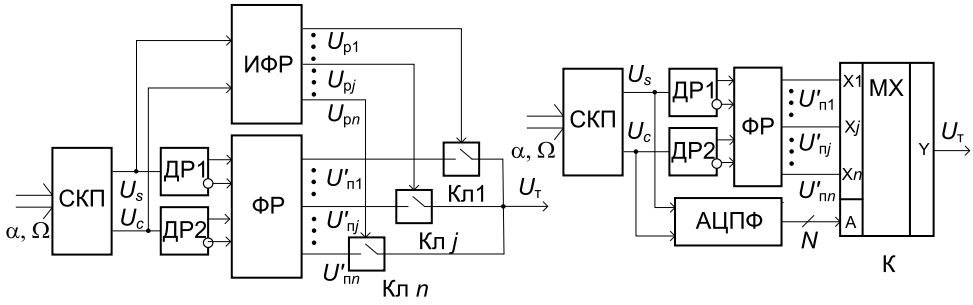
Дальнейшее упрощение схемы может быть достигнуто, если использовать многофазную систему импульсных сигналов $U_{\delta j}$ вида [9]

$$U_{\delta j}=\begin{cases}1 & \text{äëÿ}\quad 2\pi\left(k+\frac{1}{4}-\frac{1}{2n}\right)\le \psi\text{-}\psi_j<2\pi\left(k+\frac{1}{4}+\frac{1}{2n}\right),\\ 0 & \text{äëÿ îñòàëüíûõ çíà÷åíèé }\psi\text{-}\psi_j.\end{cases}$$

Выходное напряжение тахометра в этом случае будет иметь вид

$$(25)\quad U_{\text{ò}}=k_{\text{ò}}\frac{\mathrm{d}\varphi}{\mathrm{dt}}\mathbf{cos}\left(\varphi-\psi_j-\frac{\pi}{n}\right).$$

Сопоставление в (23), (25) показывает, что формирование системы $U_{\delta j}$; $j=\overline{1,n}$ без перекрытия импульсов в $\dfrac{1}{\mathbf{sin}\dfrac{\pi}{n}}$ раз уменьшает уровень выходного сигнала, но при этом не требуется производить суммирование сигналов формата СТГ $U_{\delta j}$, так как в каждый момент времени сигнал присутствует только на выходе одного из ключей. Поэтому выходы ключей могут быть подсоединены к одной общей шине, как показано на рис. 5, а.



а) б)

а) – при коммутации единичным позиционным кодом $U_{\delta j}$; $j=\overline{1,n}$;

б) – при коммутации двоичным позиционным кодом N.

Рисунок 5 – Схема БТПТ с цифровым коммутатором аналоговых сигналов

Однако, как нетрудно заметить полученная схема будет представлять собой схему тахометра на параллельном ЦФВ, так как ИФР можно заменить на АЦПФ, а сборку ключей – коммутатором (рис. 5, б). Отсюда следует, что тахометры с ИФВ являются разновидностью тахометров с ЦФВ. Их особенностью является использование для коммутации единичного кода, что требует большего объема оборудования, чем в случае коммутации двоичным кодом.

Заключение

Таким образом, в работе изложена теория преобразователей скорости – бесконтактных тахометров постоянного тока – в форме скалярного произведения сигналов формата синхронных тахогенераторов, полученных дифференцированием сигналов растрового СКП, и коллинеарных им сигналов, полученных также из сигналов того же растрового СКП.

Выявлена общность принципов построения преобразователей перемещений на растровых СКП и тахометров постоянного тока на СТГ. Показано, что принцип действия и тех и других основан решении уравнения гониометрического фазовращателя с помощью непрерывной или дискретной развертки.

Синтезированы аналоговые и цифро-аналоговые структуры тахометров на растровых СКП и установлено, что наибольшими возможностями повышения точности, быстродействия и упрощения обладают цифро-аналоговые структуры.

Список литературы

[1] Бродовский В.Н. и др. Бесколлекторные тахогенераторы постоянного тока/ В.Н. Бродовский, Б.Н. Коржавов, Ю.Н. Рыбкин; Под ред. В.Н. Бродовского. – М.: Энергоиздат, 1982. – 128с.

[2] Домрачев В.Г., Смирнов Ю.С. Цифроаналоговые системы позиционирования (Электромеханотронные преобразователи). – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 240с.

[3] Габидулин М.А. Анализ и оптимизация встроенных структур совмещенных фотоэлектрических цифровых преобразователей угла и скорости // Сб. трудов 57 НТК. – М.: МИРЭА, 2008. – Ч.3. Технические науки. – С.76-82.

[4] Домрачев В.Г. и др. Схемотехника цифровых преобразователей перемещений: Справоч. пособ. / В.Г. Домрачев, В.Р. Матвеевский, Ю.С. Смирнов. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 392с.

[5] Высокоточные преобразователи угловых перемещений / Э.Н. Асиновский, А.А.Ахметжанов, М.А. Габидулин и др.; Под общ. ред. А.А.Ахметжанова. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 128с.

[6] Френкс Л. Теория сигналов/ Пер. с англ.; Под ред. Д.Е. Вакмана. – М.: Сов. радио, 1974. – 344с.

[7] Габидулин М.А. Синтез фазовращателей преобразователей перемещений// Сб. трудов 53 НТК. – М.: МИРЭА, 2004. – Ч.3. Технические науки. – С.14-19.

[8] Габидулин М.А. Синтез обобщенных блочно-модульных структур параллельно- последовательных АЦП перемещений с растровыми синусно-косинусными преобразователями // Материалы международной н.-т. конференции ИИ-2011. – Донецк, Украина: Изд-во ИПИИ «Наука і освіта», 2011. Т.2. – С. 214-218.

[9] Зверев А.Е, Максимов В.П., Мясников В.А. Преобразователи угловых перемещений в цифровой код. – Л.: Энергия. Ленингр.отд-ние, 1974. – 182с.

[10] Габидулин М.А. Синтез и анализ математических моделей фазовращателей преобразователей перемещений// Проблемы управления и моделирования в сложных системах: Труды XIX Международной конференции/Под ред.: акад. Е.А. Федосова, акад. Н.А. Кузнецова, проф. В.А. Виттиха. – Самара: ООО «Офорт», 2017. – с. 538-546.

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ АККОМОДАЦИИ В НЕЛИНЕЙНЫХ СИСТЕМАХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЛИНЕЙНЫХ МЕТОДОВ

А.Н. Жирабок, А.Е. Шумский, Е.Ю. Бобко, А.В. Зуев

Дальневосточный федеральный университет
6900091, Владивосток, ул. Суханова, 8, Россия
zhirabok@mail.ru
тел: +7 (423) 243 34 72, факс: +7 (423) 243 23 15

Ключевые слова: *нелинейные системы, отказоустойчивость, аккомодация, развязка, логико-динамический подход*

Abstract

The problem of faulty system accommodation for nonlinear dynamic systems is considered. Solution of the problem is related to constructing the control law which provides full decoupling with respect to fault effects. To solve the problem, the logic-dynamic approach is used which allows to investigate nonlinear systems based on methods of linear algebra.

Введение

Известны различные подходы к достижению отказоустойчивости [1]. Один из них заключается в формировании специального управления, которое позволяет при появлении дефекта сохранять важнейшие характеристики системы, возможно, в ущерб второстепенным. Данный подход принято называть аккомодацией к дефектам, для реализации которой разработан ряд методов, в частности, на основе оптимального управления, H_∞-оптимизации, слежения за эталонной моделью, адаптивного управления [1]. Особенностью всех этих методов является необходимость оперативного оценивания искажаемых дефектами параметров системы и формирования нового закона управления на основе полученных оценок.

С целью повышения эффективности аккомодации в настоящей работе предлагается использовать метод полной развязки от воздействий, вызываемых дефектами. Реализация этого метода не требует предварительного оценивания параметров, но гарантирует не искажаемое дефектами движение системы лишь в некотором подпространстве ее пространства состояния.

Известно решение задачи развязки [2, 3] для нелинейных систем, описываемых моделью

$$(1)\quad x(t+1) = f(x(t), u(t), d(t)), \qquad y(t) = h(x(t)),$$

где f и h – произвольные нелинейные функции, функция $d(t)$ отражает дефекты в системе, при их отсутствии $d(t) = 0$, при появлении $d(t)$ становится неизвестной функцией времени. Задача полной развязки ставится следующим образом: для заданной функции $y_*(t) = h_*(x(t))$ построить компенсатор S_0, описываемый моделью

$$(2)\quad x_0(t+1) = f_0(x_0(t), u(t), y(t)), \qquad u(t) = g_0(x_0(t), y(t), v(t)),$$

так, чтобы значения $y_*(t)$ при $t \geq 0$ в замкнутой системе были независимы от функции $d(t)$, где $v(t)$ – новое управление.

Коротко опишем решение этой задачи [2, 3]. Напомним, что функция α называется (h, f)-инвариантной, если $\alpha(f(x,u,d)) = f_*(\alpha(x), h(x), u, d)$ для некоторой функции f_*; функция α называется f-инвариантной, если $\alpha(f(x,u,d)) = f_{**}(\alpha(x), u, d)$ для некоторой

функции f_{**}; функция α называется контролируемо инвариантной , если она f -инвариантна в замкнутой системе с компенсатором (2). Для формулировки главного результата введем векторную функцию α^0 с максимальным числом компонент такую, что $\alpha^0(f(x,u,d))$ не зависит от переменной d .

Теорема [2, 3]. Выход $y_*(t)$ системы (1) может быть развязан от функции $d(t)$ с помощью компенсатора (2), если существуют (h,f) -инвариантная функция α и контролируемо инвариантная функция ξ такие, что

(3) $\alpha^0 \le \alpha \le \xi \le h_*$,

где запись $\beta \le \gamma$ означает, что существует функция δ такая, что $\delta(\beta(x)) = \gamma(x)$ для всех x [4].

В [2, 3] предложен способ определения функций α и ξ, и также построения компенсатора (2) с вектором состояния $x_0 = \alpha(x)$.

На основе полученного решения полной развязки решается задача аккомодации [3, 5], в которой для системы (1) находится функция h_* с максимальным числом компонент такая, что с помощью компенсатора (2) переменная $y_*(t) = h_*(x(t))$ может быть развязана от $d(t)$. Получение такой функции обеспечивает максимизацию размерности подпространства, в котором происходит не искажаемое дефектами движение системы.

Для решения задачи используется математический аппарат алгебры функций, который требует выполнения ряда специальных операций с нелинейными функциями, поэтому ниже для решения используется логико-динамический подход (ЛДП) [6], в котором функция α ищется в классе линейных функций и решение может быть получено линейными методами.

1 Решение задачи развязки на основе логико-динамического подхода

1.1 Полная развязка для линейной части

Напомним, что для применения ЛДП исходная система должна быть приведена к виду

$$(4)\quad x(t+1) = Fx(t) + Gu(t) + Dd(t) + C\begin{pmatrix} \varphi_1(A_1x(t), u(t)) \\ \dots \\ \varphi_q(A_qx(t), u(t)) \end{pmatrix}, \quad y(t) = Hx(t), \quad y_*(t) = H_*x(t).$$

Здесь F и G – матрицы, описывающие линейную часть системы; H, H_*, C и D – постоянные матрицы; $\varphi_1, \dots, \varphi_q$ – произвольные нелинейные (возможно, негладкие) функции, $A_1, \dots, A_q$ – матрицы-строки. Предполагается, что компенсатор S_0 описывается моделью

$$(5)\quad x_0^+ = F_0x_0 + G_0u + J_0y + C_0\begin{pmatrix} \varphi_1(A_{01}z_0, u) \\ \dots \\ \varphi_q(A_{0q}z_0, u) \end{pmatrix}, \quad u = g_0(x_0, y, v),$$

x_0 – вектор состояния, F_0, G_0, J_0, C_0, $A_{01}, \dots, A_{0q}$ – матрицы, подлежащие определению, $z_0 = (x_0^{\mathrm{T}} \quad y^{\mathrm{T}})^{\mathrm{T}}$. Для упрощения здесь и далее будут использоваться обозначения x^+ и x вместо $x(t+1)$ и $x(t)$, аналогично – для других переменных.

Напомним основные шаги ЛДП:

1) замена нелинейной системы (4) ее линейной частью;
2) решение проблемы для полученной линейной системы с дополнительными ограничениями;

3) преобразование найденного решения для линейной системы путем добавления преобразованной нелинейной части в модель, построенную на шаге 2.

Решение рассматриваемой задачи будет состоять в нахождении для системы (4) матриц, соответствующих функциям в (3), для которых выполняются отношения также в соответствии с (3).

Нетрудно видеть, что аналогом функции α^0, для которой $\alpha^0(f(x,u,d))$ не зависит от переменной $d(t)$, служит матрица D^0 максимального ранга такая, что $D^0 D = 0$. Аналогом векторной функции α служит матрица Φ, для которой справедливы следующие уравнения, соответствующие введенному понятию (h,f)-инвариантности и условию $\alpha^0 \le \alpha$:

(6) $\Phi F = F_0 \Phi + J_0 H, \quad G_0 = \Phi G, \quad \Phi D = 0$.

Также известно, что два дополнительных отношения

(7) $C_0 = \Phi C, \quad A = A_0 (\Phi^{\mathrm{T}} \quad H^{\mathrm{T}})^{\mathrm{T}}$

справедливы для нелинейной части [6]; матрицы F_0, J_0, G_0, A_0, C_0 подлежат определению.

Последнее выражение в (7) является дополнительным ограничением на матрицу Φ, которое учитывается на шаге 2 ЛДП. Равенство (7) выполняется, если и только если строки матрицы A линейно зависят от строк матриц Φ и H, что эквивалентно равенству

(8) $\mathbf{rank}(\Phi^{\mathrm{T}} \quad H^{\mathrm{T}}) = \mathbf{rank}(\Phi^{\mathrm{T}} \quad H^{\mathrm{T}} \quad A^{\mathrm{T}})$.

Если модель (4) содержит несколько нелинейностей, матрица A в (6) и (7) заменяется на A_i, $i = 1,\ldots,q$. Отметим, что из $D^0 D = 0$ и $\Phi D = 0$ следует, что $\Phi_1 = Q D^0$ для некоторой матрицы Q. Матрицы Q и J_0 ищутся как решения уравнения [7]

(9) $(Q \quad -J_{01} \quad \ldots \quad -J_{0k})(V^{(k)} \quad B^{(k)}) = 0$,

где

$$V^{(k)} = \begin{pmatrix} D^0 F^k \\ H F^{k-1} \\ \cdots \\ H \end{pmatrix}, \qquad B^{(k)} = \begin{pmatrix} 0 & D^0 F D & D^0 F^2 D & \ldots & D^0 F^{k-1} D \\ 0 & H D & H F D & \ldots & H F^{k-2} D \\ \ldots & \ldots & \ldots & \ldots & \ldots \\ 0 & 0 & 0 & \ldots & 0 \end{pmatrix}.$$

Для построения системы S_0 примем $k := n - p$ и проверим условие

(10) $\mathbf{rank}\,(V^{(k)} \quad B^{(k)}) < l(k+1)$.

Если оно выполняется, то существует такая строка $(Q \quad -J_{01} \quad \ldots \quad -J_{0k})$, что (9) имеет решение. Тогда строки матрицы Φ могут быть найдены из (6), $G_0 = \Phi G$, матрица F_0 ищется в каноническим виде [7]. В результате линейная часть системы S_0, инвариантная к $d(t)$, построена.

Если (8) не выполняется, положим $k := k - 1$ и повторим проверку условия (10). Если (8) не выполняется для всех k, проблема аккомодации не может быть решена.

Таким образом, предложенный подход позволяет найти решение для линейной части. Более детальный анализ требуется для учета нелинейной составляющей.

1.2 Полная развязка с учетом нелинейной составляющей

Рассмотрим множество всех линейно независимых решений уравнения (9) для некоторого k, представленных в виде

(11) $(Q^{(1)} \quad -J_{01}^{(1)} \quad \ldots \quad -J_{0k}^{(1)})$, …, $(Q^{(N)} \quad -J_{01}^{(N)} \quad \ldots \quad -J_{0k}^{(N)})$,

N – количество таких решений.

Теорема. Пусть матрицы $\Phi^{(1)},\ldots,\Phi^{(N)}$, полученные на основе (6), описывают множество линейно независимых решений задачи для линейной части. Тогда произвольная линейная комбинация решений из (11) с весовыми коэффициентами $v_1,\ldots,v_N$ дает матрицу $\Phi = v_1\Phi^{(1)} + \ldots + v_N\Phi^{(N)}$, которая также описывает некоторое решение этой задачи.

Предположим, что значение k максимально и удовлетворяет условию (10), а множество всех решений представлено в виде (11). Чтобы найти вектор $v = (v_1,\ldots,v_N)$ с учетом нелинейной части, перепишем (7) в виде

(12) $A = A_{01}\begin{pmatrix} v\Phi_1^{\Sigma} \\ \ldots \\ v\Phi_k^{\Sigma} \end{pmatrix} + A_{02}H$,

где

$$A_0 = (A_{01} \quad A_{02}), \qquad \Phi_1^{\Sigma} = \begin{pmatrix} \Phi_1^{(1)} \\ \ldots \\ \Phi_1^{(N)} \end{pmatrix}, \ldots, \Phi_k^{\Sigma} = \begin{pmatrix} \Phi_k^{(1)} \\ \ldots \\ \Phi_k^{(N)} \end{pmatrix}, \qquad \Phi^{\Sigma} = \begin{pmatrix} \Phi_1^{\Sigma} \\ \ldots \\ \Phi_k^{\Sigma} \end{pmatrix}.$$

По аналогии с (7), уравнение (12) имеет решение, если

(13) $\mathbf{rank}(\Phi^{\Sigma T} \quad H^{T}) = \mathbf{rank}(\Phi^{\Sigma T} \quad H^{T} \quad A^{T})$.

Предполагая, что (13) выполняется, рассмотрим для простоты случай, когда A – матрица-строка. Здесь (12) можно представить в виде $A = (a_1 v \quad \ldots \quad a_k v)\Phi^{\Sigma} + A_{02}H$, где $A_{01} = (a_1 \quad \ldots \quad a_k)$, или в виде $A = A_v\Phi^{\Sigma} + A_{02}H$, где A_v считается неизвестной матрицей. Решим это алгебраическое уравнение и найдем матрицы A_v и A_{02}. Если A_v может быть представлена в виде $(a_1 v \quad \ldots \quad a_k v)$ для некоторых коэффициентов $a_1,\ldots,a_k$ и вектора $v = (v_1, \ldots, v_N)$, то поиск решения закончен, в результате получаются матрицы $A_{01} = (a_1 \quad \ldots \quad a_k)$, и A_{02} и вектор v весовых коэффициентов. Матрицы Q, J_0 и Φ можно найти из равенств

$Q = \sum_{i=1}^{N} v_i Q^{(i)}$, $J_{0j} = \sum_{i=1}^{N} v_i J_{0j}^{(i)}$, $\Phi_j = \sum_{i=1}^{N} v_i \Phi_j^{(i)}$, $j = 1,2,\ldots,k$; $G_0 = \Phi G$, $C_0 = \Phi C$.

В результате динамическая часть компенсатора, описанная моделью (5), построена.

Так как размерность k – максимальная, лучшим вариантом для функции α в (3) будет $\alpha(x) = \Phi x$.

2 Построение аналога функции ξ

Для построения матрицы Φ_* – аналога функции ξ – введем новую матрицу C^*: если $C(i,j) \neq 0$ и функция φ_j содержит компоненты вектора управления u, полагаем $C^*(i,j) = 1$, в противном случае $C^*(i,j) = 0$.

Обозначим через r_i' минимальное целое p такое, что $H_{*i}F^{p-1}G \neq 0$, $i = 1,2,\ldots,L$; через w_i минимальное целое p такое, что $H_{*i}F^{p-1}D \neq 0$, $i = 1,2,\ldots,L$; через r_i^* минимальное целое p такое, что $H_{*i}F^{p-1}C^* \neq 0$, $i = 1,2,\ldots,L$; L – размерность вектора y_* в (4). Нетрудно видеть, что r_i' и r_i^* представляют собой относительные степени переменной y_{*i} для управления u, связанные с линейным и нелинейным вхождением этого управления в динамику системы. Положим $r_i = \mathbf{min}(r_i', r_i^*)$, $i = 1,2,\ldots,L$. По аналогии с [2] будем считать, что $w_i > r_i$, $i = 1,2,\ldots,L$.

Для ограничения класса функций ξ линейными функциями сделаем допущение.

Допущение А1. $r_i = r_i'$ для всех $i = 1,2,\ldots,L$, т.е. относительные степени переменной y_{*i} для управления u связаны только с линейным вхождением управления в динамику системы.

Положим $y_{*1} = H_{*1}x$, …, $y_{*1}^{r_1} = H_{*1}F^{r_1-1}x$; ясно, что переменная

$$y_{*1}^{r_1+} = H_{*1}F^{r_1-1}x^+ = H_{*1}F^{r_1-1}(Fx + Gu + \Psi(x,u)) = H_{*1}F^{r_1}x + H_{*1}F^{r_1-1}Gu + \psi_1(x),$$

зависит от управления; здесь $\psi_1(x) = H_{*1}F^{r_1-1}\Psi(x,u)$ – нелинейная функция, не зависящая от управления в силу допущения А1.

Рассмотрим множество уравнений

$$\begin{aligned} &H_{*1}F^{r_1}x + H_{*1}F^{r_1-1}Gu + \psi_1(x) = v_1, \\ &H_{*L}F^{r_L}x + H_{*L}F^{r_L-1}Gu + \psi_L(x) = v_L \end{aligned} \tag{15}$$

Введем матрицы

$$H_*^{(i)} = \begin{pmatrix} H_{*i} \\ \cdots \\ H_{*i}F^{r_i-1} \end{pmatrix}, \quad i = 1,2,\ldots,L, \quad \hat{H}_* = \begin{pmatrix} H_{*1}F^{r_1-1}G \\ \cdots \\ H_{*L}F^{r_L-1}G \end{pmatrix}.$$

Анализ ранга матрицы $\hat{H}_*$ позволяет рассмотреть различные варианты решения уравнения (15). Для простоты рассмотрим случай, когда ранг матрицы $\hat{H}_*$ равен L.

Положим далее

$$\Phi_* = \begin{pmatrix} H_*^{(1)} \\ \ldots \\ H_*^{(L)} \end{pmatrix}.$$

Можно показать, что матрица Φ_* служит аналогом функции ξ и эта матрица является F-инвариантом линейной части замкнутой системы.

По аналогии с (8), выполнение равенства

$$\mathbf{rank}(\Phi_*) = \mathbf{rank}\begin{pmatrix} \Phi_* \\ A \end{pmatrix} \tag{16}$$

означает, что в линейную систему, построенную на основе матрицы Φ_*, можно добавить нелинейную составляющую.

Аналогом условия $\alpha \le \xi$ в (3) служит равенство, подобное (16):

$$\mathbf{rank}(\Phi) = \mathbf{rank}\begin{pmatrix} \Phi \\ \Phi_* \end{pmatrix}. \tag{17}$$

Если оно выполняется, проблема аккомодации имеет решение, в противном случае решение не существует. Ниже будем полагать, что условия (16) и (17) выполняются. Из (17) следует, что $\Phi_* = Q\Phi$ для некоторой матрицы Q.

Так как ранг матрицы $\hat{H}_*$ равен L, то уравнения (15) могут быть решены относительно компонент вектора управления $u(t)$ в виде $u(t) = g'(x(t), v(t))$ для некоторой функции g'. Поскольку матрица Φ является аналогом (h, f)-инвариантной функции α и $\Phi_* = Q\Phi$, то переменная $x(t)$ в $u(t) = g'(x(t), v(t))$ может быть выражены в терминах состояния $x_0 = \Phi x$ и вектора выхода y, в результате чего она принимает вид статической части компенсатора (5). В предположении, что ранг матрицы $\hat{H}_*$ равен L, можно получить явное выражение для функции g_0 путем обращения этой матрицы в (15).

3 Решение задачи аккомодации

На основе полученных результатов задача аккомодации формулируется следующим образом. Найти матрицу H_* максимальной размерности такую, чтобы задача аккомодации стала разрешимой.

Алгоритм (решение задачи аккомодации)

Шаг 1**.** Найти матрицу Φ и положить $H_* := \Phi$.

Шаг 2**.** Для переменной $y_* = H_* x$ найти относительные степени r_i', w_i и r_i^*. Полагая, что $r_i' = r_i^*$, проверить неравенство $w_i > r_i$; если оно не выполняется, удалить *i*-ю строку из матрицы H_*, $i = 1,2,\ldots,L$. Обозначить полученную в результате этих действий матрицу также через H_*, через L – число ее компонент.

Шаг 3**.** Найти матрицу $H_*^{(i)}$ и проверить условие $\mathbf{rank}(\Phi) = \mathbf{rank}(\Phi^{\mathrm{T}} \quad H_*^{(i)\mathrm{T}})$. Если оно не выполняется, удалить *i*-ю строку из матрицы H_*, $i = 1,2,...,L$. Обозначим полученную в результате матрицы также через H_*, через L – число ее компонент.

Шаг 4. Вычислить матрицу Φ_*; можно показать, что для нее выполняется условие (17). Проверить условие (16). Если оно не выполняется, задача не имеет решения.

Шаг 5**.** На основе полученной на шаге 3 матрицы H_* построить матрицу $\hat{H}_*$ и проверить условие $\mathbf{rank}(\hat{H}_*) = L$. Если оно выполняется, перейти к шагу 6, в противном случае найти $M \times L$ матрицу P такую что $\mathbf{rank}(P\hat{H}_*) = M$ и принять $\hat{H}_* := P\hat{H}_*$ (матрица P отбирает линейно независимые строки матрицы $\hat{H}_*$.

Шаг 6**.** Построить статическую часть компенсатора, решая уравнения (15) относительно $u(t)$ в форме $u(t) = g'(x(t), v(t))$ и затем – в искомом виде $u = g_0(x_0, y, v)$.

Еще одним элементом решения задачи аккомодации является система S_*, используемая следующим образом. Когда дефект возник и обнаружен, то проблема управления исходной системой решается на основе системы S_*, результатом чего является управление $v(t)$, далее с помощью функции g_0 рассчитывается управление $u(t)$. Поскольку система S_* не содержит неизвестную функцию $d(t)$, достигается эффект аккомодации к дефектам [3, 5].

Для построения системы S_* полагаем $x_* := \Phi_* x$ и преобразуя правую часть выражения $x_*^+ = \Phi_* x^+$ к виду $x_*^+ = f_*(x_*, v)$; последнее возможно в силу того, что матрица Φ_* является

аналогом управляемо инвариантной векторной функции. Пример решения одной из задач теории управления (задачи терминального управления) на основе предложенного подхода рассмотрен в [4].

4 Пример

Рассмотрим систему управления

$$x_1^+ = x_3 + x_6 + x_4 + u_3 + d_1, \qquad x_2^+ = \mathbf{sign}(x_3) + x_6 + u_1,$$
$$x_3^+ = -x_3 x_4, \qquad x_4^+ = x_4 + x_5 + u_1,$$
$$x_5^+ = x_3 + x_4 + d_2, \qquad x_6^+ = x_2^2 + x_1 + u_2,$$
$$y_1 = x_1, \quad y_2 = x_5.$$

В соответствии с правилами реализации ЛДП [5], скорректируем исходную модель путем введения некоторых формальных членов следующим образом: член $x_3 - x_3$ во второе уравнение, $x_3 + x_4 - x_3 - x_4$ в третье и $x_2 - x_2$ в пятое. В результате мы получим следующие матрицы и нелинейности, описывающие систему:

$$F = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & -1 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}, \quad G = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}, \quad H = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}, \quad C = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, \quad D = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{pmatrix},$$

$$\varphi_1(x,u) = \mathbf{sign}(x_3) - x_3, \qquad A_1 = (0\ 0\ 1\ 0\ 0\ 0),$$
$$\varphi_2(x,u) = x_3 x_4 + x_3 + x_4, \qquad A_2 = (0\ 0\ 0\ 1\ 0\ 0),$$
$$\varphi_3(x,u) = x_2^2 - x_2, \qquad A_3 = (0\ 1\ 0\ 0\ 0\ 0).$$

Найдем матрицу

$$D^0 = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}.$$

Можно показать, что матрица Φ, являющаяся аналогом функции α, совпадает с D^0.

На шаге 2 принимаем $H_* := \Phi$, так как нелинейности не содержат управление, полагаем $C^* := 0$, Нетрудно проверить, что $L = 4$, $r_1' = r_3' = r_4' = 1$, $r_2' = 2$, $r_1^* = r_2^* = r_3^* = r_4^* = \infty$ и $w_1 = w_2 = 3$, $w_3 = w_4 = 2$. Так как $w_i > \mathbf{min}(r_i, r_i^*)$ для всех i, допущения А1 выполняется.

По построению

$$\Phi_* = \begin{pmatrix} H_{*1} \\ H_{*2} \\ H_{*2}F \\ H_{*3} \\ H_{*4} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}.$$

Поскольку условия (16) и (17) выполняются, нелинейную составляющую можно добавить в линейную модель и рассматриваемая проблема имеет решение. Далее,

$$\hat{H}_* = \begin{pmatrix} H_{*1}F^{r_1-1}G \\ \cdots \\ H_{*L}F^{r_L-1}G \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{pmatrix};$$

поскольку $\mathbf{rank}(\hat{H}_*) = 2 < 4$, на шаге 5 найдем матрицы

$$P = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, \quad \hat{H}_* := P\hat{H}_* = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}.$$

Очевидно, что уравнения (15) с $\hat{H}_*$ имеют решение для u_1 и u_2. Примем

(18) $v_1 := x_4 + x_5 + u_1, \quad v_2 := x_2^2 + x_1 + u_2.$

Поскольку $x_0 = \Phi x$, примем

$$(x_{01}, x_{02}, x_{03}, x_{04})^{\mathrm{T}} := (x_2, x_3, x_4, x_6)^{\mathrm{T}}$$

и построим динамическую часть компенсатора:

$$x_{01}^+ = \mathbf{sign}(x_{02}) + x_{04} + u_1, \quad x_{02}^+ = -x_{02}x_{03},$$
$$x_{03}^+ = x_{03} + y_2 + u_1, \quad x_{04}^+ = x_{02}^2 + y_1 + u_2.$$

После замены (x_2, x_3, x_4, x_6) на $(x_{01}, x_{02}, x_{03}, x_{04})$ в (18) получаем $v_1 := x_{03} + y_2 + u_1$ и $v_2 := x_{02}^2 + y_1 + u_2$, статическая часть компенсатора имеет следующий вид:

$$u_1 = v_1 - x_{03} - y_2, \quad u_2 = v_2 - x_{02}^2 - y_1, \quad u_3 = v_3.$$

Так как третья строка матрицы Φ_* линейно выражается через остальные, удалим ее, положим

$$(x_{*1}, x_{*2}, x_{*3}, x_{*4})^{\mathrm{T}} := (x_2, x_3, x_4, x_6)^{\mathrm{T}}$$

и получим описание системы S_*:

$$x_{*1}^+ = \mathbf{sign}(x_{*2}) + x_{*4} + v_1 - x_{*3} - y_2, \quad x_{*2}^+ = -x_{*2}x_{*3},$$
$$x_{*3}^+ = v_1, \quad x_{*4}^+ = v_2.$$

Благодарности

Работа поддержана грантом РНФ (проект 16-19-00046).

Список литературы

[1] Blanke M., Kinnaert M., Lunze J., Staroswiecki M. Diagnosis and fault tolerant control. Berlin: – Springer-Verlag, 2003.
[2] Kaldmae A., Kotta U., Shumsky A., Zhirabok A. Measurement feedback disturbance decoupling in discrete-time nonlinear systems // Automatica. 2013. Vol. 49. – P. 2887–2891.
[3] Kaldmae A., Kotta U., Jiang B., Shumsky A., Zhirabok A. Faulty plant reconfiguration based on disturbance decoupling methods // Asian Journal of Control. 2016. Vol. 8. No. 3. – P. 858–867.
[4] Жирабок А.Н., Шумский А.Е. Алгебраические методы анализа нелинейных динамических систем. Владивосток: – Дальнаука, 2008.
[5] Шумский А.Н., Жирабок А.Н. Метод аккомодации нелинейных динамических систем к дефектам // Изв. РАН. Теория и системы управления. 2009. № 4. – С. 62–70.
[6] Жирабок А.Н., Усольцев С.А. Линейные методы при диагностировании нелинейных систем // Автоматика и телемеханика. 2000. № 7. – С. 149–159.
[7] Жирабок А.Н., Шумский А.Е., Павлов С.В. Диагностирование линейных динамических систем непараметрическим методом // Автоматика и телемеханика. 2017. № 7. – С. 3-21.

РЕКУРРЕНТНЫЙ АЛГОРИТМ ОЦЕНИВАНИЯ ИМПУЛЬСНОЙ ПЕРЕХОДНОЙ ФУНКЦИИ ЛИНЕЙНОЙ ДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ МЕТОДА СТАТИСТИЧЕСКОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ И БИНАРНОГО ДИСКРЕТНО-ВРЕМЕННОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ СИГНАЛОВ

В.Н. Якимов, В.И. Батищев, А.В. Машков

Самарский государственный технический университет
443100, Самара, ул. Молодогвардейская, 244, Россия
yvnr@ihotmail.com, vib@list.ru, mavstu@list.ru
тел: +7 (846) 337-12-62

Ключевые слова: *статистическая идентификация, динамическая система, бинарное знаковое аналого-стохастическое квантование, знаковый сигнал, отсчет времени*

Abstract

The problem of statistical identification of the pulse transient function of a linear dynamic system is considered. The solution of this problem is based on the use of binary sign analog-stochastic quantization for digital representation of the input and output signals of the system. The transition to the processing of binary sign signals allowed the integration operation to be calculated analytically. The main result is the development of a digital recurrent algorithm for calculating the estimates of the pulse transient function. This algorithm does not require a preliminary evaluation of correlation functions. The results of experimental studies are presented.

Введение

Одним из распространенных представлений оператора преобразования линейной динамической системы во временной области является импульсная переходная функция (ИПФ). К настоящему времени достаточно полно разработаны теоретические основы для количественной оценки ИПФ [1-5]. При этом с развитием теории цифровой обработки сигналов широкое распространение получили цифровые подходы к вычислению ИПФ.

Существующие цифровые алгоритмы оценивания ИПФ позволяют обеспечить эффективную обработку цифровых отсчетов анализируемых сигналов. Однако в реальных условиях в сумме с основными информативными сигналами одновременно регистрируются и внешние по отношению к ним мешающие шумы и помехи. В этом случае особое значение приобретает представление сильно зашумленных сигналов в цифровом виде. Малое число разрядов АЦП может оказаться недостаточным для точного представления сигналов. Решение данной проблемы за счет простого увеличения числа разрядов АЦП приводит к усложнению процедур цифрового представления и последующей обработки дискретных отсчетов сигналов. При этом число уровней квантования может быть ограничено или зависеть от разрешающей способности датчиков, регистрирующих сигналы. Кроме того, при равномерном шаге квантования по уровню помехозащищенность от шумов будет разной для полезных сигналов с малой амплитудой и с большой. Относительная погрешность квантования для сильных сигналов будет меньше, а для слабых сигналов она будет больше. В соответствии с этим актуальным является выбор первичного преобразования сигналов, которое обеспечивало бы рациональное цифровое представление сигналов.

В последнее время наблюдается определенный интерес к развитию методов идентификации систем, основанных на предельно грубом бинарном квантовании сигналов [6-8]. Использование таких методов объясняется тем, что они приводят к техническому упрощению процедуры первичного преобразования сигналов в цифровую форму и обеспечивают снижение вы-

числительных затрат. Несмотря на все преимущества, которые обеспечивает бинарное квантование, у него имеется и существенней недостаток. Оно ведет к снижению объема информации об исследуемых сигналах. Кроме того, как правило, существующие подходы к идентификации систем с использованием данного вида квантования предполагают бинарное преобразование только выходного сигнала, а входной сигнал считается известным или задается как тестирующий с известными характеристиками. Однако на практике идентификация ИПФ с применением тестирующих сигналов может быть затруднена или даже привести к нарушению процесса штатного функционирования системы. Поэтому целесообразно, сохранив преимущества бинарного квантования, обеспечить идентификацию ИПФ в условиях естественного наблюдения за входными и выходными сигналами системы. С этой точки зрения особый интерес представляет нахождение ИПФ на основе метода статистической идентификации.

1 Постановка задачи

Если на входе и выходе системы действуют сигналы $X(t)$ и $Y(t)$, и их можно рассматривать как случайные функции, то в своем классическом варианте задача статистической идентификации сводится к решению интегрального уравнения Винера-Хопфа [1,3,5,9]:

$$(1)\quad R_{XY}(\tau)=\int_0^{\infty} R_{XX}(\nu)h(\tau-\nu)d\nu\,,$$

где $R_{XX}(\tau)$ – корреляционная функция (КФ) сигнала $X(t)$; $R_{XY}(\tau)$ – взаимная корреляционная функция (ВКФ) сигналов $X(t)$ и $Y(t)$; $h(t)$ – ИПФ.

Уравнение Винера-Хопфа решается с учетом условия физической реализуемости динамической системы, т.е. для $t<0$ принимают $h(t)=0$. Также учитывают, что для устойчивых систем $\lim\limits_{t\to\infty} h(t)=0$. Поэтому идентификацию ИПФ осуществляют на интервале $0\le t\le t_{\max}$, где $t_{\max}$ – момент времени, начиная с которого ИПФ не выходит за переделы установленного коридора [1]. На практике также от теоретических КФ и ВКФ переходят к их оценкам $\hat{R}_{XX}(\tau)$ и $\hat{R}_{XY}(\tau)$, которые вычисляются экспериментально на интервале $0\le t\le T$ по центрированным реализациям сигналов $X(t)$ и $Y(t)$. Операция центрирования предполагает предварительное удаление постоянной составляющей. При этом $T\ge\tau_x$ и $T\ge\tau_{xy}$, где τ_x и τ_{xy} – соответственно интервал корреляции сигнала $X(t)$ и интервал взаимной корреляции сигналов $X(t)$ и $Y(t)$. Как следует из уравнения Винера-Хопфа должно выполняться условие $T\ge t_{\max}$. В соответствии с этим уравнение для статистической идентификации ИПФ принимает вид [9]:

$$(2)\quad \hat{R}_{XY}(\tau)=\int_0^{\tau}\hat{R}_{XX}(\nu)h(\tau-\nu)d\nu\,,\ 0\le\tau\le t_{\max}\,.$$

Аналог этого уравнения в дискретной форме определяется соотношением [1,3,9]:

$$(3)\quad \hat{R}_{XY}(k\Delta\tau)=\Delta\tau\sum_{n=0}^{k}\hat{R}_{XX}(n\Delta\tau)h(\Delta\tau(k-n))\,,$$

где $\Delta\tau$ – интервал дискретизации во времени КФ и ВКФ.

Тогда при условии, что $\hat{R}_{XX}(0)\ne 0$, отсчеты ИПФ вычисляются следующим образом:

$$(4)\quad h(0)=\frac{\hat{R}_{XY}(0)}{\Delta\tau\hat{R}_{XX}(0)},\quad h(k\Delta t)=\frac{1}{\Delta\tau\hat{R}_{XX}(0)}\left(\hat{R}_{XY}(k\Delta\tau)-\Delta\tau\sum_{n=1}^{k}\hat{R}_{XX}(n\Delta\tau)h(\Delta\tau(k-n))\right).$$

Непосредственное использование соотношений (4) приводит к необходимости выполнения двух самостоятельных вычислительных процедур в процессе идентификации ИПФ:

1) на первом этапе вычисляются два множества оценок $\hat{R}_{XX}(n\Delta\tau)$ и $\hat{R}_{XY}(k\Delta\tau)$;
2) на втором этапе по полученному множеству оценок $\hat{R}_{XX}(n\Delta\tau)$ и $\hat{R}_{XY}(k\Delta\tau)$ вычисляются непосредственно дискретные отсчеты $h(k\Delta t)$.

Такой подход требует выбора способа вычисления оценок $\hat{R}_{XX}(n\Delta\tau)$ и $\hat{R}_{XY}(k\Delta\tau)$. Эти оценки являются статистическими характеристиками. При классическом подходе к их вычислению в цифровом виде они требуют выполнения большого числа многоразрядных операций цифрового умножения.

Таким образом, актуальное значение приобретает задача разработки такого подхода к практической реализации процесса статистической идентификации, который, во-первых, сохранял бы преимущества бинарного преобразования входного и выходного сигналов системы, а, во-вторых, позволял бы реализовать цифровой алгоритм оценивания ИПФ без предварительного вычисления оценок КФ и ВКФ. Все это должно обеспечить снижение трудоемкости и упрощение процедуры вычисления отсчетов ИПФ в цифровом виде.

2 Разработка алгоритма статистической идентификации с использованием бинарного знакового аналого-стохастического квантования

Решение поставленной задачи основано на использовании бинарного знакового аналого-стохастического квантования для первичного преобразования в цифровую форму входного и выходного сигналов системы. Особенностью такого бинарного квантования является применение равномерно распределенного вспомогательного случайного сигнала (ВСС) в качестве стохастического порога квантования [10-12].

Бинарное знаковое аналого-стохастическое квантование позволяет выполнять грубое двухуровневое преобразование без систематической погрешности независимо от статистических свойств анализируемых сигналов [10-12]. Следовательно, оно предоставляет возможность осуществлять идентификации ИПФ, когда закон распределения входного и выходного сигналов системы произволен и заранее не известен.

Результат бинарного знакового аналого-стохастического квантования можно интерпретировать как ограниченный по уровню двумя значениями -1 и $+1$ непрерывный во времени знаковый сигнал. Пусть в процессе выполнения трех независимых процедур бинарного знакового аналого-стохастического квантования на интервале времени T сформирован знаковый сигнал $z_1(t)$, а на интервале времени $2T$ сформированы знаковые сигналы $z_2(t)$ и $z_3(t)$:

$$z_1(t) = \mathbf{sgn}\{\overset{o}{x}(t) + \xi_1(t)\},\ z_2(t) = \mathbf{sgn}\{\overset{o}{x}(t) + \xi_2(t)\} \text{ и } z_3(t) = \mathbf{sgn}\{\overset{o}{y}(t) + \xi_3(t)\},$$

где $\mathbf{sgn}\{...\}$ – оператор функции знакового преобразования; $\overset{o}{x}(t)$ и $\overset{o}{y}(t)$ – центрированные реализации сигналов $X(t)$ и $Y(t)$; $\xi_1(t)$, $\xi_2(t)$ и $\xi_3(t)$ – однородные ВСС, которые являются независимыми относительно друг друга и по отношению к сигналам $X(t)$ и $Y(t)$.

Мгновенные значения каждого из ВСС $\xi_1(t)$, $\xi_2(t)$ и $\xi_3(t)$ равномерно распределены в пределах интервала от $-\xi_{\max}$ до $+\xi_{\max}$, где $\xi_{\max} \geq |\overset{o}{x}(t)|_{\max}$ и $\xi_{\max} \geq |\overset{o}{y}(t)|_{\max}$. Здесь $|\overset{o}{x}(t)|_{\max}$ и $|\overset{o}{y}(t)|_{\max}$ – максимально возможные по абсолютной величине значения, которое могут принимать преобразуемые реализации $\overset{o}{x}(t)$ и $\overset{o}{y}(t)$.

Учитывая специфику бинарного формирования знаковых сигналов $z_1(t)$, $z_2(t)$ и $z_3(t)$, динамику их изменения во времени можно однозначно представить с помощью значений в начальный момент времени квантования t_0 и множеств отсчетов времени, в которые они меняют свое текущее значение на противоположенное. В соответствии с этим для этих сигналов будем иметь начальные значения $z_1(t_0)$, $z_2(t_0)$ и $z_3(t_0)$ и три множества отсчетов времени $\left\{ t_i^{z_1} : 1 \le i \le I-1 \right\}$, $\left\{ t_j^{z_2} : 1 \le j \le J-1 \right\}$ и $\left\{ t_q^{z_3} : 1 \le q \le Q-1 \right\}$. Границы временных интервалов будут равны $t_0^{z_1} = t_0^{z_2} = t_0^{z_3} = t_0$, $t_I^{z_1} = T$, $t_J^{z_2} = 2T$ и $t_Q^{z_3} = 2T$. Без нарушения общности в постановке задачи можно считать, что $t_0 = 0$.

Оценки $\hat{R}_{XX}(n\Delta\tau)$ и $\hat{R}_{XY}(k\Delta\tau)$ будем искать в следующем виде [10,12-15]:

(5) $\hat{R}_{XX}(n\Delta\tau) = \xi_{\max}^2 T^{-1} \int_0^T z_1(t) z_2(t + n\Delta\tau) dt$ и $\hat{R}_{XY}(k\Delta\tau) = \xi_{\max}^2 T^{-1} \int_0^T z_1(t) z_3(t + k\Delta\tau) dt$.

Оценки (5) являются несмещенными, т.е. они не приводят к появлению дополнительных систематических погрешностей [10,12,13]. Подставим эти оценки в (4).Тогда, получаем:

(6) $h(k\Delta\tau) = wH(k\Delta\tau)$,

(7) $H(k\Delta\tau) = \int_0^T z_1(t) \left[z_3(t + k\Delta\tau) - \Delta\tau \sum_{n=1}^{k} z_2(t + n\Delta\tau) h(\Delta\tau(k-n)) \right] dt$,

где $w = \xi_{\max}^2 \big/ \Delta\tau T \hat{\sigma}_{xx}^2$ и $\hat{\sigma}_{xx}^2 = \hat{R}_{XX}(0)$.

Далее задача сводится к вычислению отсчетов $H(k\Delta\tau)$. Здесь существенное значение имеет реализация операции интегрирования. Выполнение этой операции в цифровом виде во многом будет определять вычислительную эффективность процедуры идентификации ИПФ.

В пределах интервалов времени $t_i^{z_1} \le t \le t_{i+1}^{z_1}$ знаковый сигнал $z_1(t)$ остается постоянным и равен -1 или $+1$. Поэтому интеграл в (7) можно представить в виде суммы интегралов:

(8) $H(k\Delta\tau) = z_1(t_0) \sum_{i=0}^{I-1} (-1)^i \left[\int_{t_i(z_1,k)}^{t_{i+1}(z_1,k)} z_3(t) dt - \Delta\tau \sum_{n=1}^{k} h(\Delta\tau(k-n)) \int_{t_i(z_1,n)}^{t_{i+1}(z_1,n)} z_2(t) dt \right]$,

где $t_i(z_1,k) = t_i^{z_1} + k\Delta\tau$ и $t_{i+1}(z_1,k) = t_{i+1}^{z_1} + k\Delta\tau$; $t_i(z_1,n) = t_i^{z_1} + n\Delta\tau$ и $t_{i+1}(z_1,n) = t_{i+1}^{z_1} + n\Delta\tau$.

Для знакового сигнала $z_3(t)$ границам интервала $t_i^{z_1} + k\Delta\tau \le t \le t_{i+1}^{z_1} + k\Delta\tau$ соответствуют моменты времени $t_{m(i,z_3)}^{z_3} = t_i^{z_1} + k\Delta\tau$ и $t_{m(i,z_3)+r(i,z_3)+1}^{z_3} = t_{i+1}^{z_1} + k\Delta\tau$. Индексы $m(i,z_3)$ и $r(i,z_3)$ являются целыми числами и обозначены так, чтобы показать их зависимость от номера интервала. В соответствии с этим будем иметь отсчеты времени $\left\{ t_{m(i,z_3)+1}^{z_3}, t_{m(i,z_3)+2}^{z_3}, \ldots, t_{m(i,z_3)+r(i,z_3)}^{z_3} \right\}$, которые принадлежат множеству $\left\{ t_q^{z_3} : 1 \le q \le Q-1 \right\}$ и определяют те моменты времени, в которые знаковый сигнал $z_3(t)$ на интервале времени $t_i^{z_1} + k\Delta\tau < t < t_{i+1}^{z_1} + k\Delta\tau$ последовательно пересекает нулевой уровень. В свою очередь для знакового сигнала $z_2(t)$ границам интервала $t_i^{z_1} + n\Delta\tau \le t \le t_{i+1}^{z_1} + n\Delta\tau$ будут соответствовать моменты времени $t_{m(i,z_2)}^{z_2} = t_i^{z_1} + n\Delta\tau$ и $t_{m(i,z_2)+r(i,z_2)+1}^{z_2} = t_{i+1}^{z_1} + n\Delta\tau$. В пределах этих границ получаем множество отсчетов времени

$\left\{t^{z_2}_{m(i,z_2)+1}, t^{z_2}_{m(i,z_2)+2}, \ldots, t^{z_2}_{m(i,z_2)+r(i,z_2)}\right\}$, которые принадлежат множеству $\left\{t^{z_2}_j : 1 \le j \le J-1\right\}$ и определяют те моменты времени, когда сигнал $z_2(t)$ последовательно пересекает нулевой уровень на интервале времени $t^{z_1}_i + n\Delta\tau < t < t^{z_1}_{i+1} + n\Delta\tau$.

С учетом введенных обозначений отсчетов времени, а также в виду того, что знаковые сигналы $z_2(t)$ и $z_3(t)$ имеют значения равные только -1 или $+1$, интегралы в (8) могут быть вычислены аналитически. После их вычисления получаем [16]:

(9) $h(0) = A_0 / B_0$, $h(k\Delta\tau) = H_\Sigma(k\Delta\tau)/B_0$,

(10) $A_0 = \sum_{i=0}^{I-1}(-1)^i a_i(0)$, $B_0 = \Delta\tau \sum_{i=0}^{I-1}(-1)^i b_i(0)$, $H_\Sigma(k\Delta\tau) = \sum_{i=0}^{I-1}(-1)^i \left[a_i(k\Delta\tau) - \Delta\tau C_i(k\Delta\tau)\right]$,

(11) $a_i(k\Delta\tau) = z_3(t^{z_1}_i + k\Delta\tau) \sum_{q=m(i,z_3)}^{m(i,z_3)+r(i,z_3)+1} (-1)^{q-m(i,z_3)+1} \lambda_q t^{z_3}_q$,

(12) $b_i(n\Delta\tau) = z_2(t^{z_1}_i + n\Delta\tau) \sum_{j=m(i,z_2)}^{m(i,z_2)+r(i,z_2)+1} (-1)^{j-m(i,z_2)+1} \gamma_j t^{z_2}_j$.

(13) $C_i(k\Delta\tau) = \sum_{n=1}^{k} b_i(n\Delta\tau) h(\Delta\tau(k-n))$,

$\lambda_q = 1$: $q = m(i,z_3)$ и $q = m(i,z_3) + r(i,z_3) + 1$. $\lambda_q = 2$: $q \in [m(i,z_3)+1; m(i,z_3)+r(i,z_3)]$.

$\gamma_j = 1$: $j = m(i,z_2)$ и $j = m(i,z_2) + r(i,z_2) + 1$. $\gamma_j = 2$: $j \in [m(i,z_2)+1; m(i,z_2)+r(i,z_2)]$.

Соотношения (9)-(13) определяют алгоритм рекуррентного вычисления отсчетов ИПФ в дискретные моменты времени $0 \le k\Delta\tau \le T$ с интервалом дискретизации $\Delta\tau$. На рисунке 1 представлена краткая запись основных этапов выполнения этого алгоритма. В общем случае число подлежащих вычислению отсчетов ИПФ равно $K_{\max} = \mathbf{int}\left[T/\Delta\tau\right]$.

3 Результаты численного эксперимента

Экспериментальные исследования вычислительных возможностей разработанного алгоритма оценивания ИПФ осуществлялись с использованием имитационного моделирования информативных сигналов и процедуры бинарного знакового аналого-стохастического квантования. В частности был использован пример, рассмотренный в [3]. В этом примере исследовалось колебательное звено, описываемое дифференциальным уравнением:

$T_0 y''(t) + 2T_0\varsigma y'(t) + y(t) = x(t)$.

ИПФ такого звена определяется аналитическим выражением:

$$h(t) = \frac{1}{T_0\sqrt{1-\varsigma^2}} \exp\left(-\frac{\varsigma}{T_0}t\right) \sin\left(\frac{\sqrt{1-\varsigma^2}}{T_0}t\right),\ t > 0.$$

В качестве одного из возможных входных сигналов использовался синусоидальный сигнал с единичной амплитудой, частотой $\omega_0 = 2\pi f = 1/T_0$ и случайной фазой равномерно распределенной от –π до +π. Этому сигналу соответствует выходной синусоидальный отклик:

$$y(t) = \frac{1}{2\varsigma} \sin(\omega_0 t - \pi/2).$$

Процедура идентификации отсчетов ИПФ осуществлялась в пределах временного интервала $0 \le t \le 1$. На рисунке 2 представлен график идентифицированной импульсной переходной функции, полученный для 100 ее отсчетов, где $T_0 = 0{,}06$.

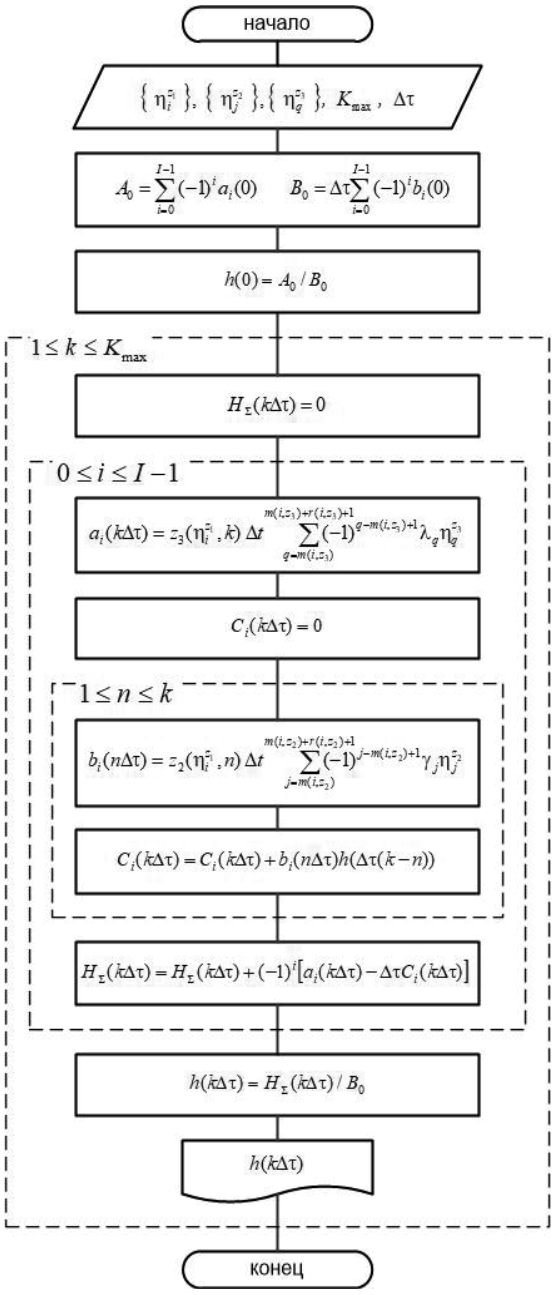


Рисунок 1 – Краткая запись схемы алгоритма вычисления оценок ИПФ

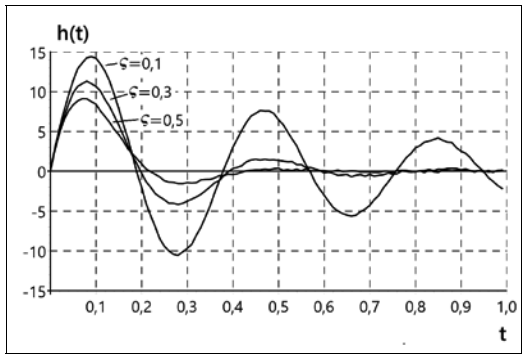


Рисунок 2 – Идентифицированная импульсная переходная функция

Заключение

В основу разработки рассмотренного алгоритма для статистической идентификации ИПФ положено использование бинарного знакового аналого-стохастического квантования в качестве первичного преобразования в цифровую форму входного и выходного сигналов системы. Данный вид квантования позволяет выполнять предельно грубое двухуровневое преобразование без систематической погрешности независимо от статистических свойств анализируемых сигналов. Это обеспечивает возможность проведения статистической идентификации ИПФ в условиях, когда закон распределения входного и выходного сигналов системы произволен и заранее не известен. При этом не требуется никакой дополнительной модели или любых предыдущих знаний о вероятностных распределениях внешних шумов и помех.

Переход к знаковым сигналам в интегральных оценках КФ и ВКФ позволил операции интегрирования вычислить аналитически. Это избавило от необходимости выбора процедуры численного интегрирования, что исключает методическую погрешность, вызванную выполнением этой операции в цифровом виде. При этом исходное

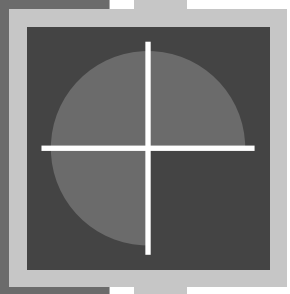
уравнение для вычисления отсчетов ИПФ в процессе аналитического вычисления интегралов преобразовано таким образом, что исключена необходимость предварительного вычисления оценок КФ и ВКФ. В результате весь процесс статистической идентификации ИПФ практически свелся к вычислению коэффициентов $a_i(k\Delta\tau)$ и $b_i(n\Delta\tau)$, определяемых соотношениями (11) и (12), которые не требуют осуществлять обработку многоразрядных цифровых отсчетов входного и выходного сигналов системы. Согласно этим соотношениям вычислительный процесс предполагает выполнение цифровых процедур, которые в своей основе сводятся к реализации логических операций и арифметических операций суммирования и вычитания, связанных с обработкой целочисленных значений отсчетов времени, которые получены в процессе дискретно-временного представления результата бинарного знакового аналого-стохастического квантования. Последнее обстоятельство способствует повышению оперативности цифрового вычисления отсчетов ИПФ.

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (гранты 16-08-00252 и 16-08-00269).

Список литературы

[1] Алексеев А.А., Кораблев Ю.А., Шестопалов М.Ю. Идентификация и диагностика систем. – М.: Издательский центр «Академия», 2009. – 352 с.
[2] Методы классической и современной теории автоматического управления. Т.1: Математические модели, динамические характеристики и анализ систем автоматического управления / Под ред. К.А. Пупкова, Н.Д. Егупова. – М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. – 656 с.
[3] Методы классической и современной теории автоматического управления. Т.2: Статистическая динамика и идентификация систем автоматического управления / Под ред. К.А. Пупкова, Н.Д. Егупова. – М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. – 640 с.
[4] Ljung L. System Identification: Theory for the User (2nd Edition). – Prentice Hall PTR, 1999. – 609 p.
[5] Isermann R., Münchhof M. Identification of Dynamic Systems. An Introduction with Applications. – Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2011. – 705 p.
[6] Wang L.Y., Zhao W.X. System identification: New paradigms, challenges, and opportunities // Acta Automatica Sinica. 2013. V. 39. No 7. Pp. 933-942.
[7] Wang L.Y., Zhang J.F., Yin G.G. System identification using binary sensors // IEEE Transactions on automatic control. 2003. V. 48. No. 11. Pp. 1892–1907.
[8] Casini M., Garulli A., Vicino A. Input design in worst-case system identification using binary sensors // IEEE Transactions on automatic control. 2011. V. 56. No. 5. Pp. 1186-1191.
[9] Keesman K.J. System Identification: An Introduction. – Springer-Verlag London, 2011. – 323 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] Якимов В.Н. Обобщенная математическая модель двухуровневого знакового преобразования // Техника машиностроения. 2000. № 4. С. 72-74.
[12] 16. Мирский Г.Я. Характеристики стохастической взаимосвязи и их измерения. – М.: Энергоиздат, 1982. – 320 с.
[13] Якимов В.Н. Цифровой корреляционный анализ на основе интервального представления результата знакового преобразования случайных процессов // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2001. № 11. С. 61-66.
[14] Якимов В.Н. Структурное проектирование цифровых коррелометров для оперативного корреляционного анализа на основе знакового аналого-стохастического квантования // Измерительная техника. 2007. № 4. С. 6-11.
[15] Yakimov V.N. The structural design of digital correlometers for operational correlation analysis based on sign-function analog-stochastic quantization. // Measurement Techniques. Publisher: Springer New York. 2007. V. 50. No. 4. Pp. 356-363.
[16] Якимов В.Н., Батищев В.И., Машков А.В. Статистическая идентификация линейных динамических систем с использованием знакового аналого-стохастического квантования входного и выходного сигналов // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2017. Т. 18. №9. С. 604-611.



Biocybernetics and Bioinformatics

Биокибернетика и биоинформатика

HOLISTIC APPROACH TO ORIGIN OF AGING AND BLACK BOX PHENOMENOLOGY OF MACRO-SYSTEMS BEHAVIOUR IN DIFFERENT ENVIRONMENTS

A.V. Khalyavkin[1,2], V.N. Krut'ko[2,3]

[1]Emanuel Institute of Biochemical Physics of RAS
119334, Moscow, Kosygin Str., 4, Russia
antisenesc@mail.ru
tel: +7 (495) 939-74-39, fax: +7 (499) 137-41-01

[2]Institute for Systems Analysis Federal Research Center "Computer Science and Control" of RAS
119333, Moscow, Vavilov Str., 44-2, Russia
antisenesc@mail.ru
tel: +7 (499) 135-79-01, fax: +7 (499) 783-91-32

[3]Sechenov First Moscow State Medical University
119991, Moscow, Bolshaya Pirogovskaya Str., 2-4, Russia
krutkovn@mail.ru
tel: +7 (499) 135-79-01

Key words: *origin of aging, systems approach, environmental influences, self-maintenance, stem cell potential, holistic black box phenomenology, plasticity of aging, mortality statistics*

Abstract

Для понимания причин и механизмов старения полезен системный поход, т.к. организм является сложной системой, состоящей из иерархии взаимодействующих подсистем. Эти подсистемы подчинены общим целям, координируясь и направляясь системами управления организмом. Поэтому индивид функционирует как единое целое. Поскольку устойчивость реально устойчивых систем и режимов возможна лишь в ограниченном диапазоне внешних условий, то теории управления и системного подхода достаточно для того, чтобы и найти первопричину старения, и понять механизм его реализации. Ведь именно при выходе из зоны адекватных режимов функционирования, диктуемых внешней средой, даже потенциально нестареющие объекты, такие как «бессмертные» клетки и гидры, начинают стареть «по Гомперцу», т.е. с ростом смертности по экспоненте, как у людей.

Introduction

Aging is perceived as an enigmatic phenomenon not because its main initiator has not yet been discovered, but because it exists despite the fact that all components of a complex organism are theoretically capable of complete self-renewal. Properties of somatic stem cells as well as analysis of regularities of survival kinetics of cohorts and of statistics of their mortality depending on both environmental conditions and life activity regimens induced by them [1-6]. This allows us to understand why we age despite having potentially ageless somatic stem cells [6], in other words "why the body, consisting of potentially immortal cells, is getting old" [7]. The systems approach is useful for understanding the causes and mechanisms of aging, because the organism represents a complex system consisting of a hierarchy of cooperating subsystems. Since the functioning of subsystems is subordinated to general purposes and is coordinated and managed by the organism control systems, it functions as a single unit.

1 Using the Systems Approach to Resolve the Enigma of Aging

Monitoring of the local characteristics of ecological niche via the sensory organs and tracking systems allows control units and regulatory blocks of the individual adequately respond to most requirements imposed on an organism by his environment.

The multidimensional phase space of environmental influences (the “environmental pressure”) can correspond to the multidimensional phase space of the individual's reactions (states). Obviously, in reality the second space is much smaller than the first one (embedded into the first one), because usually organisms are adapted to a wide, but limited range of changes in external conditions that characterize their habitat (ecological niche). And with aging, the space of permissible body states has been steadily shrinking (homeostasis with homeostenosis). This leads to an increase in mortality with age, even at constant (in average) environmental pressure. After all, an increasing proportion of external influences and internal fluctuations begin to exceed the decreasing reserve capacities of the individual to resist them.

A recognized explanation for this age-related reduction in the volume of the permissible "phase space" has not yet been found. It is assumed that this "effect of pebble-leather" is associated with local shortcomings (a constructive inability to completely self-renewal of all components of the organism), a central cause (the implementation of the genetic program of aging necessary for the population turnover) or their combination.

However, external peak loads and internal fluctuations always ensure non-zero mortality and hence a complete replacement of generations and population turnover, regardless of the presence or absence of aging.

The potential ability to complete self-maintenance components of the body in species with repeated reproduction cycles finds more and more confirmations. Therefore, another explanation of the root causes of natural, non-pathological aging of the individual is necessary, for example, the explanation associated with the peculiarities of the functioning of its control systems in different environmental conditions.

Let in the phase space of viable states of the organism the virtual representing point, or generalized set point of control systems, corresponds to the current demand of the external environment. Such a correspondence allows the control systems to set and maintain an adequate level of physiological activity of the individual.

Let us consider the simplest case of environmental perturbations without a trend. Then, the set point will fluctuate in the range of permissible values around a certain average level. The value of this level, along with the boundaries of the whole permissible phase space, will be maintained by the homeostatic block of the control system. When the pressure of the external environment is shifted, the homeostatic block must support the oscillations of the set point around the new value in the phase space of the viable states of the organism.

Suppose that this does not always happen. Let us assume that the multidimensional space of the viable states of the organism consists of an inner region (core) and an outer shell. For the core, homeostasis without homeostenosis is postulated, while the outer envelope is characterized by homeostasis with homeostenosis. That is, in the phase subspace of the envelope, the homeostatic block is not able to keep neither the virtual set point of the control systems (at normal regulation with respect to it) at the level corresponding to the current demand of the external environment, nor the boundaries of the region of admissible states of the organism. The latter begins to contract, and the set point begins to drift away from the core zone, inadequately affecting the coordinating and correcting functions of the body's control systems, leading to a "system divergence", which is characteristic of aging. The rates of these changes determine the rate of aging and should depend on the difference between the boundary of the non-homeostenotic core and the initial location of the set point corresponding to the specific environmental pressure.

The patterns and regularities of mortality statistics and biological data are consistent with the approach presented. Let us consider them in more detail.

2 Our Extension of the Gompertz Model of Aging

A simple model illustrating the proposed concept is constructed on the basis of the first-ever mathematical model of mortality and aging, suggested by Gompertz [8]. His model describes the fact that in some populations at certain age intervals the relationship between mortality rate $M(t)$ (relative rate of dying of individuals of the same age) and age is fairly well approximated by the exponential equation (*Gompertz Law*)

(1) $M(t) = M_0 \, \mathbf{exp} \, (at)$,

where M_0 is a conditionally initial (or "starting") mortality rate, found by extrapolating the exponential portion of the mortality rate $M(t)$ to the initial age $t = 0$; a is the kinetic parameter, that is, the tangent of the slope of this line in semi-logarithmic coordinates. Or, otherwise, the relative rate of increase in the mortality rate $M(t)$, characterizing the rate of aging. At the same time, Gompertz discussed the possible prerequisites leading to the differential equation

(2) $dM / M(t) = adt$,

one of the solutions of which is the dependence (1). However, equation (2) and its solution (1) describe changes in mortality rates only due to aging. For this reason we modified equation (2) by adding a symmetric member associated with the relative change in the mortality rate only due to changes in the environmental pressure

(3) $dM / M(t, P) = adt + BdP$,

where B is the coefficient of proportionality, and P is the environmental pressure, given in relative units. That is, P is the ratio of the observed environmental pressure to the minimum pressure at which the corresponding set point of the control systems is located at the core-shell boundary of the stable "non-aging zone".

Let us investigate differential equation (3) in external conditions, under which the corresponding set point is outside the stable core zone, that is, in the body regimes with aging ($P < 1.0$, $a > 0$). It is known that the set of external conditions (P) has a certain effect on the kinetic parameter a. Therefore, as the linear approximation of the dependence of a on P in the vicinity of the lower boundary of the optimum zone ($P = 1.0$), we take the expression $a(P) = A(1 - P)$, where A is the coefficient of proportionality. Then the equation (3) can be rewritten as follows

(4) $dM / M(t, P) = A(1 - P)dt + BdP$.

One of the solutions of equation (4) will be

(5) $M(t, P) = M(0, 0) \, \mathbf{exp} \, [BP + \int_0^t A(1 - P)dt]$.

Taking into account that $M(0, 1) = M(0, 0) \, \mathbf{exp} \, B$, we rewrite equation (5) as

(6) $M(t, P) = M(0, 1) \, \mathbf{exp} \, [B(P - 1) + \int_0^t A(1 - P)dt]$.

For the sake of simplicity, we will not take into account the possibility of a significant trend in changes in the environmental pressure. Then, for any unchanged standard environmental pressure $P < 1.0$, acting from the moment $t = 0$ to a hypothetical cohort of potentially ageless individuals, the dependence of mortality rate from age (6) will be

(7) $M(t, P) = M(0, 1) \, \mathbf{exp} \, [-B(1 - P)] \, \mathbf{exp} \, [A(1 - P)t]$.

Since $A(1 - P)$ is the kinetic parameter a, expression (7) naturally corresponds to the *Gompertz Law* (1), in which the initial mortality rate M_0 is defined as

(8) $M_0 = M(0, 1) \, \mathbf{exp} \, [- (B/A)a]$.

Such a real interdependence between the parameters M_0 and a (8) was first noted for humans back in 1960 [9]. Its semi-logarithmic representation is known as one of the regularities of mortality statistics (sometimes unreasonably criticized) - *the Strehler-Mildvan Correlation* between $\mathbf{ln}M_0$ and a

(9) $\mathbf{ln}M_0 = \mathbf{ln}M - aT$.

Here parameter M is the characteristic mortality rate at $a = 0$ (non-senescence), and parameter $T = B/A$ is the characteristic age, which is very close to the average life expectancy of real populations. The inverse value of the parameter $M = M(0, 1)$, allows to estimate the life expectancy in the natural environment at zero rate of aging. Estimates for humans, rats, and fruit flies yield biologically acceptable values.

Thus, a minimal model is proposed here that explains the emergence of aging in potentially ageless individuals when they function outside sustainable modes of life. This model is based on the modification of the classical Gompertz model [8]. The difference is that in our model the parameters of the Gompertz law (the initial mortality rate M_0 and the kinetic parameter a) began to depend on the whole set of external conditions characterized by the parameter P. It follows from our model that potentially ageless individuals must inevitably age under environmental pressure, which is outside the adequate range of external conditions, inducing full self-maintenance of the organism. That is, at $P < 1$, when the set point of control systems is localized outside the stable core. At the same time, if according to the Gompertz law (1) the age-related growth in the rate of mortality increases exponentially, then its parameters are consistent with the empirical correlation of the Strehler-Mildvan (9).

Conclusion

In recent years the identification of the considerable plasticity of aging rate and ability of stem cells not to age can be considered as a significant scientific achievement. The systems approach is useful for understanding the causes and mechanisms of aging, because the organism represents a complex system consisting of a hierarchy of cooperating subsystems. Since the functioning of subsystems is subordinated to general purposes and is coordinated and managed by the control systems of the organism a body functions as a single unit.

The general concept of this paper is a notion that even a potentially non-senescent organism will age under inadequate conditions (like a non-melting piece of ice taken from the deepfreeze inevitably starts to melt at the temperatures above 273.15^0 K). This conclusion is consistent with patterns of mortality and with ageless potential of somatic stem cells. Therefore, there is no need to buildup and explore too complicated “systems models of intrinsic aging” in order to understand the origin of this mainly extrinsic root cause of natural aging. In our case a simple phenomenological black-box approach with Input-Output analysis is sufficient. Here Input refers to the environmentally dependent initial mortality rate, whereas Output is a rate of age-related increase of mortality rate. If one takes into account the fact that robustness of really “sustainable” systems and modes is possible only in a certain limited range of environmental conditions, then the control theory and systems approach are sufficient both to discover the root cause of aging and to understand the underlying mechanisms of its implementation. After all, it is when leaving the area of adequate functioning modes determined by the environment that even potentially non-senescent immortalized cells and hydras start aging with the exponential growth of mortality, the mode typical for humans, too.

In this connection, there are good reasons to believe that individuals from many species with repeated reproductive cycles, including humans, can be potentially non-senescent. They age because of functioning under conditions preventing their full self-maintenance at the unstable regimens. Comparison of age-related dependences of mortality in countries with different standards of living (e.g. [1, 9]) or in one country in a historical retrospective shows that the development of civilization distances humans farther away from adequate “self-supporting” modes of life, accelerating aging and reducing the probability of exceptional super-longevity. But this is happening against the background of steady growth of life expectancy due to decrease in mortality primarily at early ages.

References

[1] Khaliavkin A.V. Influence of environment on the mortality pattern of potentially non-senescent organisms. General approach and comparison with real populations // Advances in Gerontology. - 2001. – 2. - P. 46-47. www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11582767

[2] Khalyavkin A.V., Yashin A.I. Nonpathological senescence arises from unsuitable external influences // Annals of the New York Academy of Sciences. – 2007. – 1119. – P. 306-309.

[3] Khalyavkin A.V. From macro- to nano-systems and back in search of the primary cause and control of aging // Instabilities and Control of Excitable Networks: From Macro- to Nano Systems: Proceedings of the International Conference (25-30 May 2012, Dolgoprudny, Russia). – Moscow: MAKS-Press. 2012. – P. 69-76. DOI: 10.13140/2.1.4408.0326

[4] Khalyavkin A.V. Phenoptosis as genetically determined aging influenced by signals from environment // Biochemistry (Moscow). – 2013. – 78(9). – P. 1001-1005. DOI: 10.1134/S0006297913090058

[5] Khalyavkin A.V., Krut'ko V.N. Aging is a simple deprivation syndrome driven by a quasi-programmed preventable and reversible drift of control system set points due to inappropriate organism-environment interaction // Biochemistry (Moscow). – 2014. – 79(10). – P. 1133-1135. DOI: 10.1134/S0006297914100150

[6] Khalyavkin A.V., Krut'ko V.N. How regularities of mortality statistics explain why we age despite having potentially ageless somatic stem cells. Biogerontology. – 2018. – 19(1). – P. 101-108.

[7] Frolkis, V. V., Muradian, Kh. K. Life Span Prolongation. – CRC Press, Boca Raton (Florida), 1991. 425 p.

[8] Gompertz B. On the nature of the function expressive of the law of human mortality and on the mode of determining the value of life contingencies. Phil. Trans. R. Soc. – 1825. – 115. – P. 513-585.

[9] Strehler B.L., Mildvan A.S. General theory of mortality and aging. Science. - 1960. - 132(3418). - P. 14-21.

Biography

Dr. Alexander Khalyavkin is the Academic Secretary of Gerontological Society of RAS (Moscow Branch), Senior Researcher of the Emanuel Institute of Biochemical Physics of RAS and Senior Researcher of the Institute for Systems Analysis FRC CSC RAS (Moscow). His Alma mater was the Moscow Institute of Physics and Technology. His postgraduate training was at the Gamaleya Institute for Epidemiology and Microbiology (Moscow). He has completed his PhD in Immunology at 1980. He is author and lecturer of courses "Introduction to Biogerontology" for the Moscow Institute of Physics and Technology (1991-2000). He cooperated with Max Planck Institute for Demographic Research (2001-2009). His research interests include theoretical aspects of biomedicine, biogerontology and biodemography. His main aim is a clarification of the basic laws of aging and a search for the root causes of this process on the basis of holistic approach, including a study of kinetics of survival and the mortality statistics of biological objects as well as a study of the integrated effect of environmental factors on the rate of aging of living systems. He developed approaches to the understanding of some aspects of the reproduction control of normal and malignant cells. He studied non-canonical (growth control) function of the immune system and mechanism for switching of symmetric to asymmetric mitosis in stem cells. www.researchgate.net/profile/Alexander_Khalyavkin/

COMPLEX SYSTEM DESIGN WITH DESIGN LANGUAGES: METHOD, APPLICATIONS AND DESIGN PRINCIPLES

Samuel Vogel[1] and Stephan Rudolph[2]
Institute for Aircraft Design, University of Stuttgart, Pfaffenwaldring 31, D-70569 Stuttgart
samuel.peter.vogel@gmail.com[1], stephan.rudolph@ifb.uni-stuttgart.de[2]

Keywords: *industrial product design, graph-based design languages, design theory, design methods*

Abstract
Графическая нотация унифицированного языка моделирования UML представлена как средство кодирования и автоматизации процесса проектирования и оптимизации продуктов или сложных систем. Язык проектирования состоит из словаря (то есть цифровых строительных блоков) и набора правил (то есть знаний о цифровой композиции) вместе с методикой их применения (то есть методикой цифрового кодирования процесса проектирования). Механизм, основанный на правилах, создает центральную и согласованную глобальную структуру данных продукта (так называемый граф проектирования). После генерации такой абстрактной модели автоматически создаются инженерные модели, специфичные для конкретной предметной области, и результаты их использования возвращаются в центральную модель проектирования для последующих дизайнерских решений или оптимизации. Языки проектирования синтезируются «вручную», но интерпретируются автоматически в так называемом компиляторе проекта. Подход, основанный на применения графических языков программирования, успешно реализован при проектировании объектов в аэрокосмической промышленности (спутники, самолеты), автомобилестроении (каркасные конструкции, автомобильные кабины), общем машиностроении (роботы, цифровые фабрики) и при производстве потребительских товаров (кофеварки). Были разработаны и опробованы различные стратегии и механизмы автоматизации процессов проектирования. При этом использовались всевозможные частные методы: автоматизированный учет ограничений, фрактальные паттерны проектирования, деревья принятия решений и т.д. Исходные данные и знания определяли стратегию глобального проектирования - сверху вниз или снизу вверх. Принципы снижения и преодоления сложности - паттерны проектирования, парадигмы проектирования (т.е. понимание, что форма следует за функцией или, наоборот, функция следует за формой) и стратегии разработки (разделение и подавление), - широко заимствованы из информатики.

Introduction

The digitization of industrial processes, e.g. in the context of Industry 4.0, makes new design processes possible. The automation of the product development process promises a considerable increase in efficiency. Especially designs and decisions of the very early concept phase have a very large influence on the later life cycle costs of the product [1]. The development of modern and more competitive products requires to go even closer to the limits of what is physically feasible in order, for example, to squeeze the last bit of weight advantage or efficiency out of a product or system. Modern products are integrating typically multiple physical domains (mechanics, thermodynamic, electronics, logistics, …) as well as a lot of system levels consisting of sub-systems or parts that mutually build on each other. The combination of both, multiple domains together with a number of system entities results in a high level of design and process complexity that has to be handled. Digitized design processes can be used to cope with this complexity and to find more optimal product designs in even earlier project phases. This digitization mainly comprises the computer-aided synthesis of designs (CAD) including the automated generation of functional validation calculations and simula-

tions (structural mechanics, fluid mechanics, controls...). In fact, a virtual product design shall be automatically generated and optimized based on given product requirements to optimally meet the performance targets. In this paper graph-based design languages are presented as a method to implement such digital and re-executable representations of (conceptual) design actions. At first, the method of graph-based design languages itself is explained. The method is proven for more than fifteen years and has been mainly developed in the Similarity Mechanics Group of the Institute for Statics and Dynamics (ISD), which moved now to the Institute of Aircraft Design (IFB) at the University of Stuttgart. Second, scientific applications are shown as well as an early industrial stage application. Finally, a collection of design principles to handle the complexity in product design is presented that have been identified in the scientific work with design languages over the past years.

1 Method

The method of graph-based design languages [2] is a further evolution step of generative, computer-based synthesis methods [3]. These synthesis methods can be divided in to string-based, shape-based and graph-based representations. From the viewpoint of the authors graph-based design languages belong to the most generic and abstract means of knowledge representation across different domains due to its graph representation. Alternative computer-based synthesis methods such as shape grammars [3] define a rule set on elementary shapes (vocabulary) which is recursively called in a production system to generate more complex shapes. Graph-based design languages expand this concept by generalizing the vocabulary to conceptual objects together with an adaptive procedural rule sequence.

Philosophical Motivation Rudolph gives a philosophical motivation for the design language concept in [4]. First it is observed that during the product design process different areas of concept, each with different levels of knowledge, are traversed. It is distinguished between the first area called 'believe' which covers uncertain design targets as simplicity, aesthetics or adequacy. The second concept is 'ability' which covers more concrete but still not exact formulated design aspects as Design for Manufacturing, Design for Assembly, Design for Recycling. The third concept covers exact aspects and is called 'knowledge'. It contains physical formulas and other reproducible, mathematically formalizable and provable laws and know-how. All three aspects have to be represented by one unified description to come to a proper formalization of the design process. Rudolph proposes a language-based representation that is closely related to natural languages which are a convenient candidate as they are able to cover all three conceptual areas presented above.

Class Diagram (Vocabulary) Instead of words in natural languages, parametrized objects that are instantiated from classes form the vocabulary of graph-based design languages. The graph-based design languages use the Unified Modeling Language (UML) as representation and modeling language whose roots are in the model-based software engineering [5]. The vocabulary is modeled as class diagram as shown in figure 2 top. The entities and parts that take part in the product design are casted into classes and enriched with parameters that represent e.g. physical or cost variables. Equations and constraints can be additionally modeled in the classes and are processed in an integrated solution path generator [6]. The equation and constraint network that is built on the instantiation of the classes is automatically solved in the solution path generator with an integrated computer algebra system.

Rules (Grammar) The engineering entities of the class diagram are rule-based instantiated into objects with specific parameter values. Graphical rules with a left-hand side (LHS) and a right-hand side (RHS) define the instantiation as manipulation on the instance diagram. The instance diagram contains the so-called design graph which is the unique abstract central-model of the product design. The design graph of an exhaust aftertreatment system is shown in figure 2 bottom. The design instances in the design graph are linked with each other according to the associations that are defined in the class diagram. The instance on the LHS of the graphical rule is looked-up in the design graph and replaced with the instance pattern on the RHS. The first rule is called 'axiom' and has an empty LHS as the design graph is empty in the beginning (figure 2 center left). In the 'axiom' the requirements

and given boundary conditions are typically added. The graphical rule in figure 2 center right shows the incremental design step that adds a 'SCR-System' entity to the initial 'combustion engine'.

Production System The design process itself is then split into an incremental rule sequence. This predefined rule sequence in graphically modeled in an activity diagram and is called production system. Beside the graphical rules as building blocks an activity diagram can hierarchically host sub-activities which are activity diagrams themselves. As third object interface calls can be modeled that trigger the execution of engineering applications in so-called process chains that are described in the following section. The activity diagram in figure 2 top center shows from the left two calls of graphical rules followed by a two times alternating sub-activity and interface call. As fourth element which is not shown so-called decision nodes are available to branch the rule sequences in the production system in dependence of the state of the design graph.

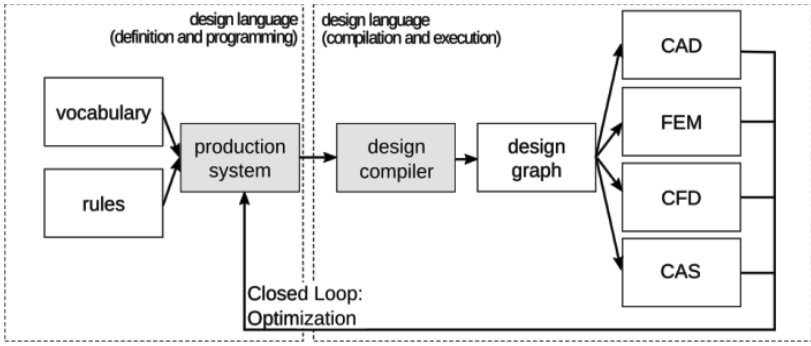


Figure 1 – Information architecture of graph-based design languages

Information Architecture The figure 1 shows the information architecture that hosts the previous presented elements and shows their interaction. The class diagram (vocabulary), the rules as well as the production system represent, as digital blueprint of the design process, the design knowledge. The manual modeling of the class diagram, the rules and the production system is done in a so-called design compiler. For the presented work the commercially available Design Compiler 43V2 (www.iils.de) was used. The design language is executed in the design compiler which runs the production system. The design compiler provides engineering plugins that provide own class diagrams that can be used to model generic engineering tasks as CAD model creation and simulation model execution for evaluation and validation. These externally called engineering task called 'process chains' and are shown in figure 1 on the right side. The process chains extract the required information from the central design graph and create the CAD and simulation models automatically by executing model-to-model transformations. Results of the simulations runs are fed back to the design graph for sub sequent rules and operations.

2 Applications

A broad range of products has been designed using graph-based design languages. From applications in aerospace [7, 8] through consumer products [9] and off-road machinery components [10] up to automotive [11], the method has been successfully applied mainly in a scientific context. The scope of design languages has been prototypically extended up to downstream stages of the life-cycle by generating and designing the digital factory for a product in addition to the product itself [12]. Additional work has been done in the implantation of algorithms to automate engineering tasks as routing of cables and wires [8] and the automated creation of pipework in given installation spaces [13]. These intelligent wiring and piping algorithms become necessary as graph-based design languages fully automate the design process and therefore need to be able to create an intelligent integration and interaction of system components in given installation spaces for different product architectures.

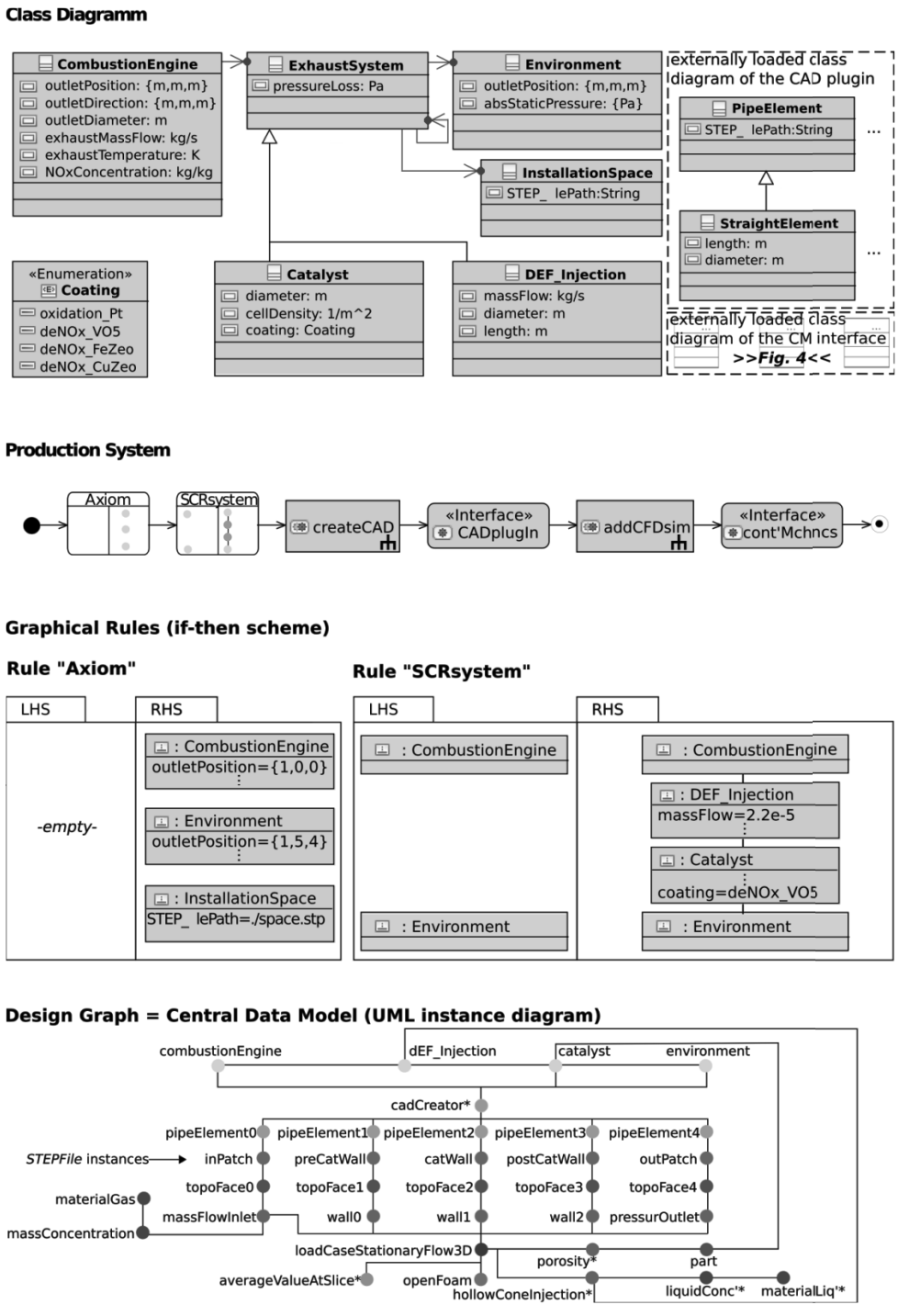


Figure 2 – Schematic graph-based grammar of an exhaust system and its main building blocks

Figure 3 shows results of a graph-based design language that automates the layout design of an airplane's air cabin [8]. Beginning with the requirements, the designer can (manually) define the seating requirements based on a number of ratios. A ratio might define how many passengers share the same lavatory in a certain class. Together with the air planes main dimensions and the design language uses this as input conditions for a subsequent automated dimensioning and design of the air cabin (figure 3 bottom left). Beside the creation and integration of the 3D model (figure 3 top left) of the air cabin seating and infrastructure components (overhead bins, lavatories, kitchen,…) the systems and control units of the electrical infrastructure are automatically positioned for each seating arrangement (figure 3 top mid-left). Finally the electrical connections are automatically routed in the available and previously created 3D space according to additionally given constraints from e.g. electromagnetic compatibility.

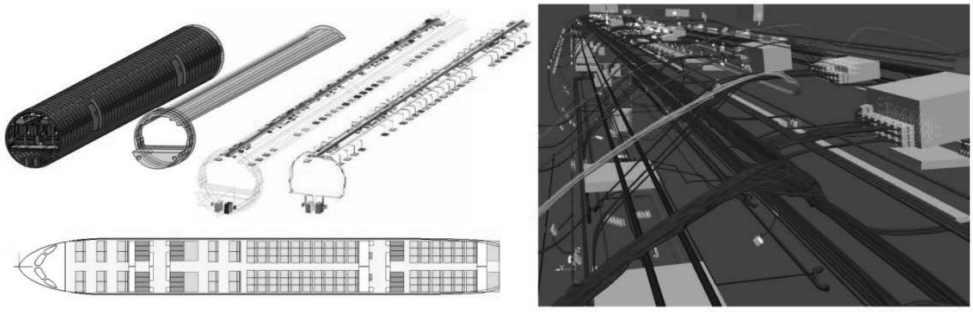


Figure 3 – Air cabin design with automated generation of electric and climate system. Reproduced from [8]

Using the graph-based design language reduces the time needed for an air cabin layout from many weeks and months to a few hours. The complexity of the interaction of the coupled systems and components (figure 3 right) is handled through the interplay of the production system and the design rules together with the intelligent algorithms to solve the integration tasks of positioning and wiring the electrical components. Different air cabin designs can thus be automatically evaluated and optimized in terms of total weight, cable length and wiring compatibility and validity [8].

Figure 4 shows the result and intermediate steps of a graph-based design language for creating a small satellite [7]. The design language starts from a given mission that defines payload, target orbit, energy and information demand of the payload as requirements. The rule set creates a complete virtual mockup based on the given requirements (figure 4 top row). The design language includes the automated creation and dimensioning of the control systems as well as the thermal validation as shown in figure 4 bottom left. Critical figures, such as the mass, energy and momentum balance, are calculated and balanced. A mission related communication system is chosen based on the mission figures. All critical subsystems are selected and in the subsequent integration step spatially arranged (packaged) and finally, with the previously mentioned routing algorithm, connected by wire (figure 4 bottom right). The integration of the components is validated for the defined orbits in terms of thermal loads arising from the incoming sun light as well as heat sources from components and systems (figure 4 bottom left).

Finally, figure 5 shows results of a design language for the automated functional optimization of SCR (selective catalytic reaction) exhaust aftertreatment systems, that reduce the emissions of internal combustion engines [10,13]. At the beginning a combustion engine is given in terms of mass flow and exhaust temperature as well as emissions and emission target. An installation space is also given, where the exhaust aftertreatment has to fit in (blue box figure 5 top right). The catalyst is analytically dimensioned in the beginning. Based on this size a CAD model of the catalyst housing is created. The catalyst box is automatically positioned in the installation space and finally a constraint pipework, based on standardized pipe bends, is created to connect the exhaust system components with the en-

gine and the environment. The final CAD model is automatically meshed and a fluid simulation is created to determine the emission reduction efficiency as well as the pressure loss of the system (figure 5 center bottom). A finite element simulation to evaluate the thermal expansion of the system is created and executed as well (figure 5 center top). The whole design language is integrated into a design of experiments/optimization framework to conduct a design space exploration and to determine the pareto-front as best possible trade-off between competing design targets (pressure loss and emission reduction efficiency). The system was proven to scale very well on high performance clusters. Thousands of variants could be created and evaluated within a few weeks. Using this approach the physical limits of the exhaust aftertreatment architecture could be determine for the given requirements which is a very useful and valuable information, especially in an early project phase.

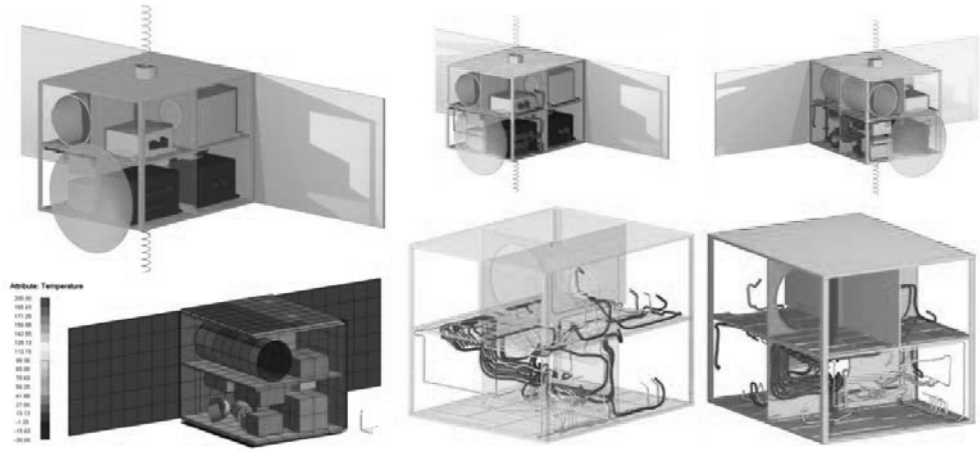


Figure 4 – Satellite design with graph-based design languages. Reproduced from [7]

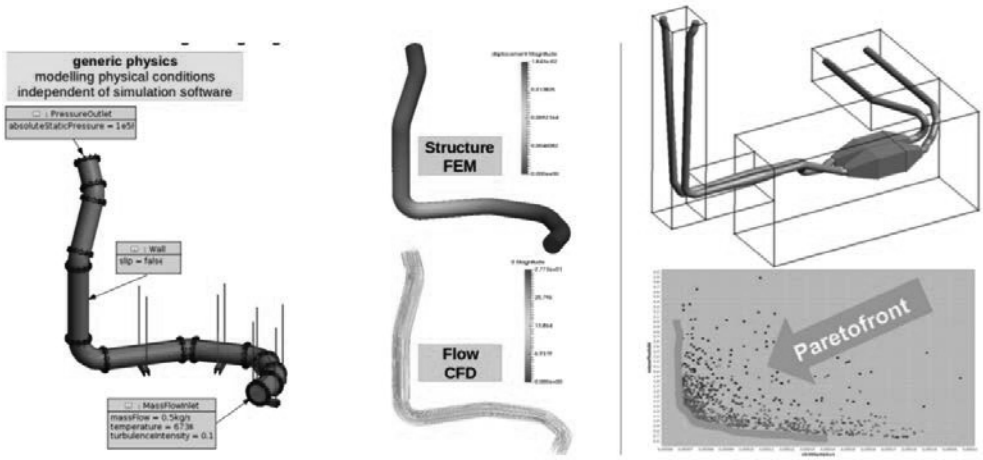


Figure 5 – Graph-based desing language for developing SCR exhaust aftertreatment systems in given installation spaces. Reproduced from [10, 13]

3 Design Principles

Different design strategies and mechanisms have been identified and applied in the automation of the design processes. Some principles have been identified by working on the explicit scientific problem of handling the complexity of engineering design and working on an engineering design theory. Others just emerged in application-centered design language projects as by-product.

Top-Down and Bottom-Up The work in [14] proposes to distinguish between top-down and bottom-up designs. The definitions in [14] can be directly quoted: "In the bottom-up approach it is attempted to achieve a higher level functionality by systematically combining basic building blocks into assemblies." A bottom-up design occurs especially in domains where only limited knowledge is available in advance. This phenomena often occurs in designs with non-linear physics, as fluid flows in the exhaust system example presented above, where small changes in geometry can produce significant changes in the overall physical behavior (e.g. flow separation). "In the top-down approach design synthesis ... is beginning with the requirements definition, the evolution of the design object is constituted out of subsequent decompositions from abstract conceptual descriptions into more detailed functional representations which finally find an embodiment into material components." The presented satellite example is an example for a bottom-up design where a priori knowledge is used to synthesize designs directly from the requirements.

Dimensionless Evaluation Rudolph identifies the evaluation of engineering objects as crucial challenge in the (automated) design of products [15] as the a chosen evaluation directly influences and determines the evolution of a product in optimization. Using the Pi-theorem with its dimensionless figures addresses the main problems of evaluation ("How can the evaluation of parts and components be found and represented? How are are partial results aggregated into a single evaluation? How are the goal criteria structured, arranged and are they complete? [15]). In this sense a complete description of a product entity in terms of design parameters and evaluation figures forms a valid evaluation: "any minimal description in the sense of the Pi-theorem is an evaluation" [15].

Declarative Constraint Processing In the process of designing complex products, consisting of many components, systems and spanning over multiple physical domains, large equation systems arise from the aggregation of analytical models that are part of each subsystem and component. This equation system is automatically assembled in the graph-based design language and subsequent automatically processed and solved in a so-called solution path generator [16]. Using the solution path generator a declarative processing of the equation and constraint system is ensured and the designer is freed from pre-defining a solution sequence. In addition, sensitivity analysis can be automatically executed to determine the critical design drivers and main dependencies within a product design [6].

Self-Similar, Nested Design Patterns The production system and a generic rule sequence was examined and a self-similar design pattern is postulated in [17]. It is called integrated design pattern and explained as: "The design cycle is an iterative sequence of design synthesis, analysis and evaluation. The design synthesis itself is subdivided into the definition of requirements, the decomposition, the formulation of functional solutions and the combinatorial exploration process." It combines aspects of both, the top-down and bottom up approaches into a "real world problem" pattern. It is observed that this pattern typically occurs in a hierarchical, nested manner on different granularity levels.

Dimension-Based Design Sequence The paper [10] deals with the problem of splitting the design process into a sequential step-by-step process. It is shown, that in order to find a global design optimum a dimensioning and integration of sub-systems and components has to occur simultaneously in one design step. But this implies that the optimal design parameter values have to be determined at once, forming a very high-dimensional optimization problem which practically can't be solved. A design sequence can then be deduced based on the mathematical dimension of the design parameters: When two systems are sequentially integrated, the (common) design parameters of the lower dimensional system have to be fixed before fixing the design parameters of the higher dimensional system ("Begin with the system that has less degrees of freedom").

Design Patterns and Paradigms In the creation of a graph-based design languages it is possible to adopt design patterns [18] from object-oriented software engineering [18]. The use of object-oriented design patterns in design languages is made possible by the extension of classes by methods and interfaces proposed in [19]. The design patterns are solutions for recurring kind of problems in programming as for object creation, object composition (structural) and for object interaction (communication). They are typically made of two or more classes that are associated with each other and/or inherit behavior from each other, together with abstract methods in the classes and a defined interplay and usage of these methods to solve a specific problem. The 'Design for X' paradigms [4], mentioned above in the philosophical motivation, can also be seen as a kind of design pattern. As these paradigms are less specific than the previously presented design patterns from object-oriented software engineering they are part of the 'ability' concept area. This paradigms help the designer to structure the design process, at least mentally, when designing a graph-based design language. Nevertheless, it is often possible to transform the less specific paradigms in to rule-based heuristics when implementing a design language.

Discussion

In this paper an overview on graph-based design languages that automate recurring design tasks was given. The concept of graph-based design languages allows a graphical programming of design processes which helps to manage the complexity in product design by separating the data model from the operational procedural aspects in an object-oriented way. Using the object-oriented UML as modeling language allows a compact representation of the product entities that avoids redundancy through inheritance between and decomposition into classes. Storing engineering knowledge in incremental rules and adaptive rule sequences allows a hierarchical decomposition of the engineering process itself into smaller chunks that can be more easily captured and overviewed by the engineer even for complex products and systems. The presented example applications show that the method of graph-based design languages is able to solve real world engineering problems in a fraction of the time that would be necessary in manual engineering. In fact, the design time collapses to the addition of the (potentially concurrent) run-times of the algorithms which is close to the lower theoretical limit. Futhermore, a graph-based design language, when embedded in an optimization framework, is often able to find more optimal engineering solutions as can be found in a conventional engineering process. The presented language is able to capture engineering knowledge digitally which leads to a highly scalable and re-executable digital blueprint of recurring design tasks. Nevertheless, a significant upfront invest is necessary as implementing a product's generic design process is apparently more expensive than creating a few product designs by hand. The wide acceptance of this kind of modeling method in industry is at the moment therefore still often hindered by the traditional 'silo mentality' present in today's companies which look on the profitability of the individual business unit instead on the profitability of the company overall. The design principles are providing solutions to handle the occurring complexity in product design. They can be used on different levels and stages during the implementation of engineering processes. The presented principles are derived from frequently occurring patterns that can be reused and applied in different contexts. Handling the complexity in product design is crucial task as the complexity of the products themselves is increasing and even more domains and disciplines have to be considered to get a holistic evaluation, validation and optimization of a product's life cycle from cradle to grave. Graph-based languages are a method to push the limits of the still controllable complexity in industrial engineering further away.

References

[1] G. Pahl, W. Beitz, J. Feldhusen, K.H. Grote. Engineering Design: A Systematic Approach. Series: Solid mechanics and its applications, Springer London, 2006.

[2] B. Kröplin and S. Rudolph. Entwurfsgrammatiken - Ein Paradigmenwechsel? Der Prüfingenieur, 26:34{43, 2005.

[3] E. Antonsson and J. Cagan: Formal Engineering Design Synthesis. Cambridge University Press, 2001.

[4] S. Rudolph. Übertragung von Ähnlichkeitsbegriffen. Habilitationsschrift, Universität Stuttgart, 2002.

[5] A. Reichwein. Application-specific UML Profiles for Multidisciplinary Product Data Integration. PhD thesis, Universität Stuttgart, 2011.

[6] M. Bölling. Lösungspfadbasierte Analysen im Entwurf komplexer Systeme. PhD thesis, Universität Stuttgart, 2013.

[7] J. Gross. Aufbau und Einsatz von Entwurfssprachen zur Auslegung von Satelliten. PhD thesis, Universität Stuttgart, 2014.

[8] S. Rudolph, J. Beichter, M. Eheim, S. Hess, M. Motzer, and R. Weil. On multi-disciplinary architectural synthesis and analysis of complex systems with graph-based design languages. In 62. Deutscher Luft- und Raumfahrtkongress (DGLR 2013), Stuttgart, September 10-12, 2013.

[9] C. Tonhäuser and S. Rudolph: Individual Coffee Maker Design Using Graph-Based Design Languages. In: Gero J. (eds.) Design Computing and Cognition '16, pp 513-533, 2016. Springer, Cham.

[10] S. Vogel. Über Ordnungsmechanismen im wissensbasierten Entwurf von SCR-Systemen. PhD thesis, Universität Stuttgart, 2016.

[11] M. Haq and S. Rudolph: A design language for generic space-frame structure design. In: Int. J. Comput. Appl. Technol., Band 30(1/2): S. 77-87, 2007.

[12] P. Arnold and S. Rudolph: Bridging the gap between product design and product manufacturing by means of graph-based design languages. In: TMCE, 2012.

[13] S. Vogel and S. Rudolph: Automated Piping with Standardized Bends in Complex Systems Design. In: Proceedings of the Seventh International Conference on Complex Systems Design & Management, CSD&M Paris, 2016.

[14] R. Alber and S. Rudolph. A Generic Approach for Engineering Design Grammars. In: AAAI Spring Symposium Technical Report SS-03-02, March 24-26, 2003.

[15] S. Rudolph. Eine Methodik zur systematischen Bewertung von Konstruktionen. PhD thesis, Universität Stuttgart, 1995.

[16] M. Bölling and S. Rudolph: Multi-disciplinary airship design using a graph-based design language. In: DGLR Jahrestagung, Band I, 2005.

[17] T. Kormeier and S. Rudolph. On self-similarity as a design paradigm. In Proceedings of IDETC/CIE, International Design Engineering Technical Conference and Computers and Information in Engineering Conference, September 24-28, 2005.

[18] E. Gamma: Design Patterns: Elements of Reusable Object-oriented Software. Pearson Education, 2004 (Addison-Wesley Professional Computing Series).

[19] Samuel Vogel and Peter Arnold. Object-orientation in graph-based design grammars. Computing Research Repository, abs/1712.07204, 2017.

ОЦЕНКА ХАРАКТЕРИСТИК РЕЗОНАНСА ДЛИННЫХ ТРУБЧАТЫХ КОСТЕЙ НА ОСНОВЕ МЕТОДА ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ БИОМЕХАНИЧЕСКИХ ПРОБ

Р.В. Насыров, А.С. Кружков
ФГБОУ ВО УГАТУ
450008, Уфа, ул. К.Маркса, 12, Россия
nrash@yandex.ru
тел: +7 (347) 2

Ключевые слова: *резонанс, функциональные биомеханические пробы, длинные трубчатые кости*

Abstract
The results of the study of long human tubular bones performed by the method of functional biomechanical tests are considered. The amplitude and phase frequency characteristics of the response to mechanical vibrations of the low frequencies of the acoustic range are considered as informative parameters. Resonance characteristics are used as the most informative parameters.

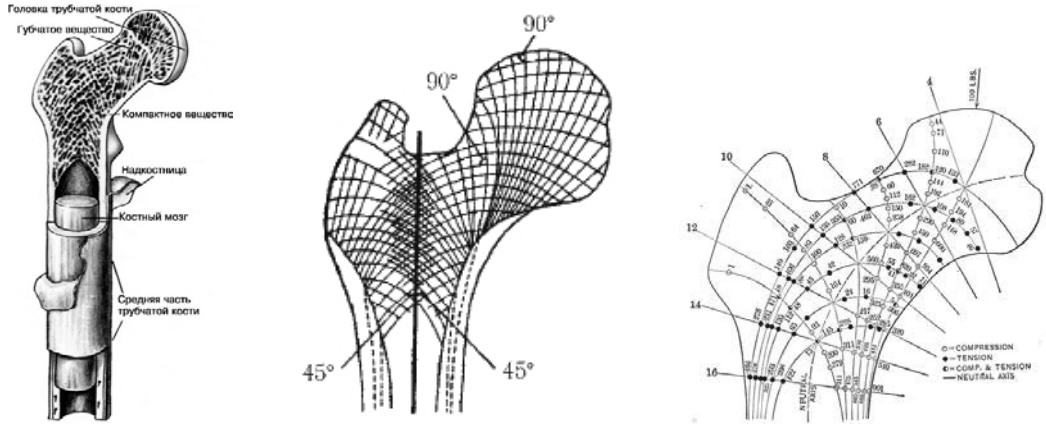
Введение

Актуальность темы исследования обусловлена необходимостью разработки устройств и методик неинвазивной оценки функционального состояния костей человек для снижения лучевой нагрузки. С системных позиций оценка такого состояния может базироваться на нескольких показателях, таких как плотность костной ткани, скорости распространения акустической волны, частотные характеристики костной ткани. Однако наибольший интерес представляет выявление взаимосвязи характеристик резонанса длинных трубчатых костей и биомеханических свойств таких костей. При этом для реализации таких исследований требуются новые средства измерения и методики их применения, проведение анализа получаемых данных с целью выявление информативных параметров поведения объекта исследования и определения зависимостей между параметрами объекта и его биомеханическими свойствами.

1 Постановка задачи

Анализ структуры и внутреннего строения длинных трубчатых костей (рис.1а), представленные в литературе по анатомии человека [9, 11] показывает наличие в них структурных компонентов, обеспечивающих продольную прочность в диафизах и пространственных прочность в эпифизах. К таким структурным компонентам относятся компактное (кортикальное) вещество средней части трубчатой кости и костные пластинки эпифизов, пространственно ориентированных так, что они образуют жесткую конструкцию (рис.1б). Это позволяет, несмотря на относительно слабые механические свойства основного компонента – губчатой костной ткани, выдерживать значительные нагрузки статического и динамического характера за счет распределения усилия сжатия и растяжения (рис.1в).

Отметим, что совокупность костных пластинок эпифизов и компактного вещества средней части костей образуют единую достаточно жесткую механическую систему. Эти же компоненты обеспечивают проводимость механических воздействий как в ударной форме, так и в форме механических колебаний. Таким образом, подавая тестовые воздействия на один из концов длинной трубчатой кости и снимая ответную реакцию на другом можно оценивать характер проводимости механических воздействий и, косвенно, состояние кости в целом.



а) б) в)

а) общее строение,
б) взаимное расположение костных пластинок эпифиза [9,11],
в) распределение напряжений сжатия/растяжения в эпифизе [12]

Рисунок 1 – Длинная трубчатая кость

Для достижения цели исследования в работе предлагается использовать метод функциональных биомеханических проб, заключающийся в организации механического воздействия определенного вида на длинную трубчатую кость, получении реакции на такое воздействие и расчет основных характеристик [1,2,3]. При этом в рамках рассматриваемого исследования необходимо проводиться анализ частотных характеристик реакции длинной трубчатой кости в ответ на гармоническое тестовой воздействие. В качестве основной гипотезы выступало наличие резонансных частот колебаний длинной трубчатой кости в нижнем диапазоне звуковых частот.

2 Метод исследования

Для определения характеристик объект исследования, основными из которых являются параметров проводимости длинных трубчатых костей была создана исследовательская установка, схема которой представленная на рис.2.

Исследовательская установка включала следующие компоненты: персональный компьютер обеспечивающий управление экспериментом и получением данных измерений; двухканальный цифровой осциллограф, управляемый персональным компьютером по локальной сети со своим IP-адресом; генератор синусоидальных сигналов, управляемый по USB-порту; устройство формирования гармонического воздействия, предназначенное для аудиометрии костной проводимости; в качестве датчика выступал чувствительный микрофон с усилителем.

При разработке использовалось открытое программное обеспечение, при этом в качестве базового выступала операционная система Linux, в качестве программного средства получения, преобразования и обработки результатов измерений был использован язык Python и доступные модули управления лабораторным оборудованием.

Для решения основной задачи исследования в качестве тестовых воздействий были использованы гармонические колебания конечной длительности. Использовался набор последовательных частот, менявшиеся с фиксированным шагом. Для обеспечения воспроизводимости результатов измерения повторялись для каждой частоты.

Преобразование результатов измерений с целью выделения сдвига фазы и изменения частоты, а также определения зависимости этих параметров от частоты тестового воздействия проводилось с использованием известного преобразования Гильберта [4,6].

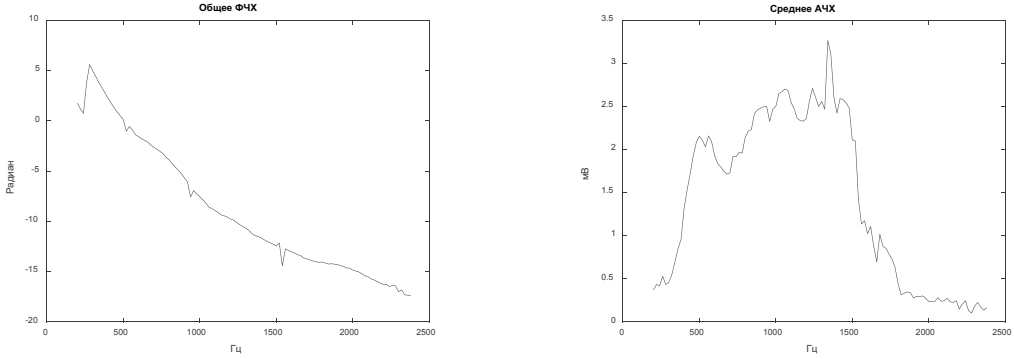


Рисунок 2 – Схема исследовательской установки для изучения свойств длинных трубчатых костей по методу ФБМП

В качестве признаков резонанса выступали характерная форма ФЧХ и наличие максимума на АЧХ. Пробное исследование проводилось на лицах в возрастной группе 20-25 лет. В качестве объекта исследования использовалась локтевая кость. При анализе тестового и принимаемого сигналов рассчитывались сдвиг фаз между подаваемым и измеряемым сигналом [5] и амплитуда принимаемого сигнала.

3 Анализ результатов

Типичная реакция, полученная в результате воздействия, могут представлены в виде графиков фазо-частотной и амплитудно-частотной характеристик, изображенные на рис.3.



а) б)

Рисунок 3 – Типичные ФЧХ и АЧХ результирующих сигналов (откликов)

Совместный анализ ФЧХ и АЧХ позволили выделить максимум амплитудной характеристики, соответствующий частоте f=1340 Гц (рис.3б), которую исходя из изложенных выше предположений можно рассматривать как резонансную частоту акустических колебаний длинной трубчатой кости.

Для определения примерной скорости прохождения акустических колебаний были использованы известные соотношения [8]. В частности, выражение для круговой частоты в форме $2fL = lc$ для главной частоты l=1 в условиях резонанса позволяет оценить скорость прохождения акустической волны. Для имеющихся данных при f=1340 Гц, и средней длины кости L=0,28 м получим оценку величины скорости распространения акустической волны $c = 2 * 1340 * 0{,}28 = 750{,}4$ м/с. Такое значение существенно – в 5-6 раз меньше известных данных [10]. Полученное отличие результатов вызвано, по-видимому, несколькими причинами. Во-первых, существенное снижение скорости распространение колебаний акустического диапазона вызвано влиянием мягких тканей, участие которых должно быть отражено в методике и модели распространения колебаний. Во-вторых, возможно, требуется привлечение более качественных датчиков в канале измерения. Вместе с тем в соответствии с основными положениями теории колебаний [7] полученные реакции можно рассматривать как вынужденные колебания при наличии комплексного линейного вязкого сопротивления.

Заключение

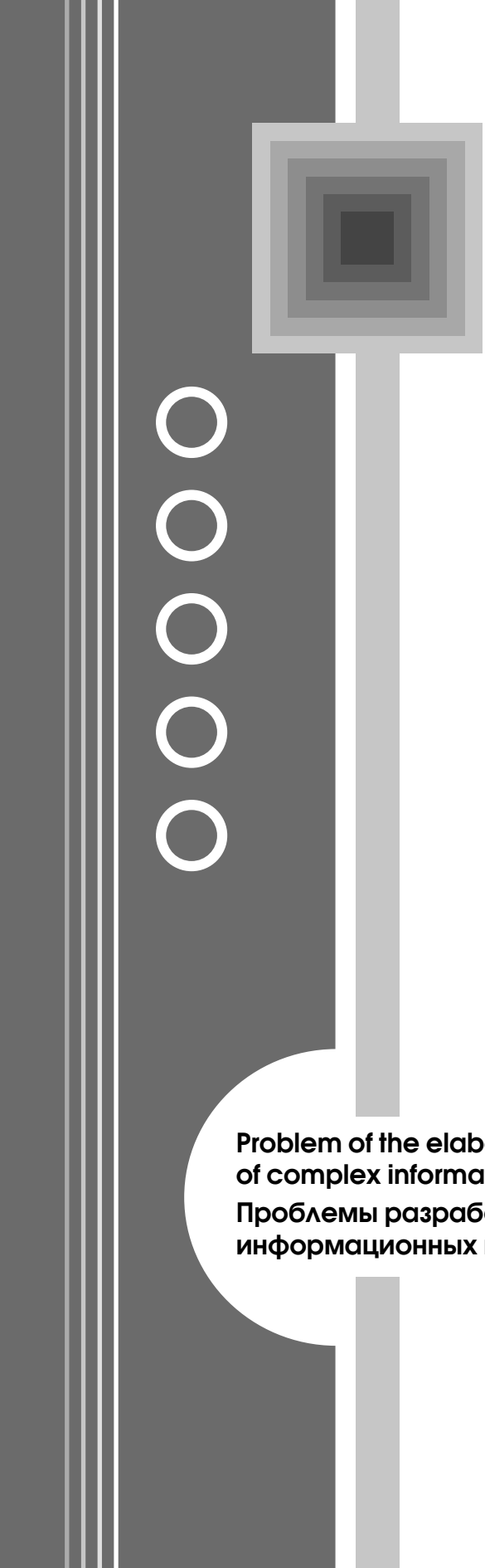
Использование понятия резонанса для оценки биомеханических свойств длинных трубчатых костей является продуктивным. Полученные результаты показывают, что несмотря на некоторые недостатки предложенный метод и устройства могут быть использованы для оценки параметров проводимости акустических колебаний.

Благодарности

Работа поддержана грантом РФФИ № 17-48-020074\17.

Список литературы

[1] Бакусов, Л.М. Метод функциональных биомеханических проб (на английском языке)/ Л.М.Бакусов, Р.А.Васин, Р.В.Насыров, В.В.Мальханов// Российский журнал "Биомеханика", 1998, №1–2, С.58–63.
[2] Бакусов, Л.М. Применение метода функциональных биомеханических проб для исследования состояния позвоночника человека/ Л.М.Бакусов, А.Е.Лепилин, Р.В.Насыров // Мехатроника. Москва-Новые технологии, 2001, №6, С.44–48.
[3] Бакусов Л.М. Качественный анализ скрининговых функциональных биомеханических проб на основе сокращенной выборки данных/ Л.М.Бакусов, Р.В.Насыров, Т.Б. Минасов/ Современные проблемы науки и образования, 2013, № 6, URL: http://science-education.ru/ru/article/view?id=11193 (дата обращения 30.04.2018)
[4] Баскаков С.И. Радиотехнические цепи и сигналы/ С.И.Баскаков–М.:Высшая школа, 2000.–462 с.
[5] Измерение фазового сдвига квазигармонических сигналов// В.К. Игнатьев, А.В. Никитин, С.В. Юшанов/ Вычислительные методы и программирование. 2013. Т. 14.–С.424-431.
[6] Интегральные уравнения. (Введение в теорию), Краснов М. Л., Главная редакция физико-математической литературы изд-ва «Наука», 1975.–303 с.
[7] Теория колебаний//Под ред. Колесникова К.С.–М.:Изд-во МГТУ им.Н.Э.Баумана, 2003.–272 с.
[8] Красильников В.А., Звуковые волны в воздухе, воде и твёрдых телах/ В.А.Красильников, М.: Государственное издательство технико-теоретической литературы, 1954.–440с.
[9] Курепина М. М., Воккен Г. Г. Анатомия человека: Учебник для биол. фак. пед. ин-тов. - 4-е изд., перераб. - М.: Просвещение, 1979. - 304 с., ил.
[10] Основы биомеханики биосовместимых материалов и биологических тканей: учебное пособие/ Хлусов И.А., Пичугин В.Ф., Рябцева М.А. – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2007. − 149 с.
[11] Синельников Р.Д. Атлас анатомии человека, Т.1// Р.Д.Синельников, Я.Р.Синельников–М.:Медицина, 1996.–344 с.
[12] Anatomy of the human body by Henry Gray/ Twentieth Edition by W.H.Lewis/ Baltimore: LEA&FEBIGER, 1918.–1396 p.



Problem of the elaboration and implementation of complex informational and cyber systems

Проблемы разработки и реализации сложных информационных и киберсистем

МЕТОД ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СОСТОЯНИЯ ЗАЩИЩЕННОСТИ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

П.А. Глыбовский, С.В. Новиков, А.М Сухов
ОАО «РТИ»
127083, Москва, ул. 8-го Марта, д. 10, стр. 1, Россия
DStupin@oaorti.ru
тел: +7 (495) 788-09-48, факс: +7 (495) 614-22-62

Ключевые слова: *информационная безопасность, угрозы информационной безопасности, компьютерные атаки, защищенность информационной системы, технологии прогнозирования защищенности, эффективность мер защиты информации*

Abstract
Systems of an assessment of security, security policy, safety model, protection subsystem, self-organization methods.

Введение

К основным принципам создания системы оценки защищенности информационной инфраструктуры и анализа прогнозов показателей уровня защищенности относятся [1-5]:

- комплексное оценивание соответствия типовым требованиям РД РФ, международных стандартов;
- количественное оценивание текущего уровня безопасности, задание допустимых уровней рисков;
- выявление и блокирование наиболее опасных уязвимостей до осуществления атак на уязвимые ресурсы;
- определение функциональных отношений и зон ответственности при взаимодействии подразделений и лиц по обеспечению информационной безопасности;
- регулярные доработки организационно-распорядительной документации, модификация технологических процессов и модернизация технических средств защиты.

Задачей долгосрочного прогнозирования процесса (или временного ряда) является определение его систематической составляющей, называемой трендом. Общие тенденции изменения временных рядов могут иметь регулярный (например, возрастающий) или циклический характер и описываться, соответственно, как полиномиальными, так и циклическими трендами. В ряде случаев тренд может являться функцией не только времени, но и ряда других наблюдаемых величин, и параметров (при этом он применяется для построения так называемых нормативных прогнозов), флуктуации и нерегулярные составляющие временных рядов включают в себя ошибки измерения, а также отклонения от тренда, вызываемые воздействием не учитываемых, изменчивых факторов. Как правило, при синтезе трендов оптимальной сложности организуется перебор большого числа трендов-претендентов по критериям [6-8]: *регулярности; минимума смещения; баланса переменных; комбинированным критериям*.

1 Критерий регулярности

Проверочная последовательность используется в методе группового учета аргументов (МГУА) для выбора числа членов и степени уравнения регрессии: это позволяет получить наиболее регулярное решение (оптимальной сложности), малочувствительное к небольшим

изменениям исходных данных. Такое решение дает небольшую ошибку на новых точках, в чем и состоит основная цель МГУА в задачах однократного (краткосрочного) прогноза и, иногда, идентификации. Величина критериев регулярности вычисляется по данным отдельной проверочной последовательности.

Разделение исходной выборки на две последовательности - обучающую и проверочную - производится по одному из следующих приемов:

Опытные точки ранжируются в ряд по дисперсии (квадрат расстояния от центра «тяжести» пространственной фигуры, охватывающей все представляющие точки):

$$(1)\quad D_i^2 = \sum_{i=1}^{n}\left(x_{ij} - \overline{x}_i\right)^2$$

где $j=1,2,...,N$; N – общее число точек; n – число аргументов;

$$\overline{x}_i = \frac{1}{N}\sum_{j=1}^{N} x_{ij}.$$

В этом случае для определения коэффициентов частных описаний используются возможно более удаленные точки.

После ранжировки по дисперсии можно произвести дополнительное разделение точек на нечетные - четные. В таком случае первая и вторая части последовательности имеют близкие статистические свойства.

Если исходные данные снимаются в строгой временной последовательности (например, опытные данные физического поля или технологического процесса), то ранжировка точек в ряд недопустима. В этом случае можно применить деление точек по четным и нечетным индексам. После разделения по тому или другому способу первые N_A точек составляют обучающую последовательность, следующие N_B точек - проверочную.

В качестве критериев регулярности используются:

- относительная среднеквадратичная ошибка

$$(2)\quad \Delta^2(B) = \frac{\sum_{i=1}^{N_B}\left(q_i^* - q_i\right)^2}{\sum_{i=1}^{N_B}\left(q_i^*\right)^2} \to \min;$$

- коэффициент корреляции

$$(3)\quad K_{qq}^* = \frac{\sum_{i=1}^{N_B} q_i^* q_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^{N_B}(q_i^*)^2 \sum_{i=1}^{N_B} q_i^2}} \to 1;$$

- индекс корреляции

$$(4)\quad \rho = \sqrt{1 - \frac{\sum_{i=1}^{N_b}(q_i^* - q_i)^2}{\sum_{i=1}^{N_b}(q_i^* - \overline{q}_i^*)^2}} \to 1,$$

где $\Delta(B)$ - относительная среднеквадратичная ошибка; q_i, q_i^* - полученное по модели и действительное значение выходной величины в i-й точке $(t = 1, 2, \ldots \ldots, N_B)$; N_B - число точек проверочной последовательности:

$$\overline{q}_i^* = \frac{1}{N_B}\sum_{i=1}^{N_B} q_i^*.$$

Величины $\Delta^2(B)$, K_{qq^*}, ρ вычисляются на проверочной последовательности B. Чем меньше величина относительной среднеквадратичной ошибки или чем больше величина коэффициента корреляции или индекса корреляции, тем модель более регулярна.

Значения коэффициента корреляции и индекса корреляции в меньшей степени зависят от конкретного процесса и более подходят для сравнения результатов моделирования, чем значение среднеквадратической ошибки на проверочной последовательности.

2 Критерий минимума смещения

Более устойчивыми к помехам являются различные формы критерия минимума смещения, так как, хотя при увеличении помех минимальное значение показателя смещения тоже увеличивается, минимум получается при одной и той же сложности модели, отвечающей истинной модели (это объясняет, почему такой критерий рекомендуется для решения задачи открытия законов). При малых шумах в исходных данных критерий регулярности и критерий несмещенности равноценны и приводят обычно к одинаковым результатам.

Общая, основная идея построения критерия минимума смещения состоит в том, что модели, получаемые при использовании различных частей таблицы исходных данных, должны по возможности мало отличаться друг от друга, а при полном отсутствии смещения - совпадать. Это означает, что если исходные данные разбиты на две части, A и B, то модель, полученная на множестве точек A, должна возможно меньше отличаться от модели, полученной на множестве точек B.

Для расчета показателя смещения все имеющиеся экспериментальные данные делятся на две части A и B. Сначала первая последовательность данных является обучающей, а вторая проверочной. Уравнения регрессии (частные модели), получаемые при этом, обозначим $q(A) = f(x_i,x_j)$. Далее первая последовательность служит проверочной, а вторая — обучающей, что выражается уравнением регрессии (частной моделью) $q(B) = f(x_i,x_j)$. Близость этих уравнений оценивается по величине среднеквадратического расхождения их выходов, рассчитанных по всем табличным точкам:

$$(5) \qquad n_{см}^2 = \frac{\sum_{i=1}^{N}\left[q_i(A) - q_i(B)\right]^2}{\sum_{i=1}^{N} q_{1табл}^2}.$$

В некоторых алгоритмах применяются следующие разновидности показателя смещения, основанные на анализе решений:

$$(6) \qquad n_{см}^2 = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\left[q_i(A) - q_i(B)\right]^2 \to 0.$$

$$(7)\quad n_{см}^2 = 2\frac{\sum_{i=1}^{N} q_i(A)q_i(B)}{\sum_{i=1}^{N}(q_i^2(A)+q_i^2(B))} \to 1.$$

В том случае, когда все особым образом нормированные аргументы частных моделей МГУА имеют примерно одинаковые максимальные и минимальные значения, для оценивания частных описаний можно воспользоваться критерием минимума смещения коэффициентов

$$(8)\quad n_{см}^2 = \frac{\sum_{i=1}^{N}(a_i - b_i)^2}{\sum_{i=1}^{N}(a_i^2 - b_i^2)},$$

Критерий баланса позволяет выбрать наилучший прогноз системы переменных набора так называемых «вееров» прогнозов (трендов) для каждой переменной.

3 Критерий баланса

Среди комбинаций трендов (по одному из «веера» каждой переменной), дающих малое, близкое к нулю значение критерия баланса переменных, обязательно находится одна комбинация, отвечающая действительному ходу процесса, так как закон, связывающий переменные, постоянен во времени. Однако среди таких комбинаций могут быть и ложные, не отвечающие ходу процесса, поэтому необходимо выделить «истинный» баланс среди нескольких «ложных». Для решения этой задачи рекомендуется использовать дополнительные ограничения (критерий «физической реализуемости прогноза» и селекцию модели по двум целесообразно выбранным критериям).

При реализации критерия баланса в виде «кольца разностей прямых и обратных функций» необходимо иметь в виду, что в случае тождественности f_j и $f_{jобр}$. Величина B не позволяет сделать однозначный выбор модели, поэтому рекомендуется переход к показателю

$$(9)\quad B^N = \sum_{i=1}^{m}\left(\frac{\sum_i\left[(q_i(i)-f_i(i))^2 + (q_i(i)-f_{iооб}(i))^2\right]}{\sum_i x_i^2(i)}\right).$$

В случае дифференциальных прогнозирующих моделей выход за пределы интервала интерполяции при формировании критерия баланса осуществляется при многошаговом интегрировании уравнений динамики. Наиболее точные прогнозы получаются при использовании в критерии истинных функций баланса, определяемых из физических соображений.

Комбинированный критерий селекции, его разновидности и свойства. Выбор критерия отбора (селекции) определяется типом решаемой задачи, принадлежит автору модели и отражает его цели. По рекомендациям, приведенным в работе, можно целесообразно выбрать один из эвристических критериев. Однако в некоторых ситуациях требования к моделям оказываются противоречивыми и не могут быть выражены в виде одного минимизируемого критерия. Кроме того, иногда выбранный критерий селекции не обеспечивает единственности выбора структуры модели или же требует слишком больших вычислений, так что желательно сокращение объема перебора. В ряде случаев может оказаться недостаточной «плавность» критерия, и требуется предварительно сократить число оцениваемых моделей, чтобы попасть в область надежной селекции.

В том случае, когда необходимо согласование нескольких противоречивых свойств (качеств) модели, рекомендуется перейти к комбинированным критериям, которые обычно формируются из составляющих критериев *K(1)* и *K* (2):

(10) $K_{комб} = \sqrt{\lambda K_1^2 + (1-\lambda)K_2^2}, 0 < \lambda < 1,$

и находить модели, не улучшаемые по обоим критериям, а при изменении $\lambda_{во}$ всем интервале *[0,1]* построить множество паретовских структур моделей.

Комбинированный критерий, учитывающий исходные критерии, может формироваться и в виде

(11) $K_{комб} = \sqrt{\lambda(\frac{K_1}{K_{1\max}})^2 + (1-\lambda)(\frac{K_2}{K_{2\max}})^2}, 0 < \lambda < 1,$

приведенном к безразмерным величинам, что необходимо в том случае, когда K_1 и K_2 имеют различные единицы измерения и различный физический смысл.

Комбинированные критерии селекции. Теория самоорганизации подчеркивает, что целесообразный выбор критериев селекции и порядка их использования принадлежит человеку. В качестве составляющих K1 и K2 в комбинированных критериях могут быть использованы: *Δ(B)* - критерий регулярности, $n_{см}$ - критерий минимума смещения, B_i - различные виды критериев баланса переменных, i^2 - критерий устойчивости прогнозов.

Ориентировочно можно сформулировать следующие правила применения комбинированных критериев селекции:

1) Для алгебраических (полиномиальных) моделей, не содержащих среди аргументов время (т. е. для моделей, не предназначенных для долгосрочного прогноза), следует применять комбинированный критерий «смещение плюс регулярность»

(12) $K_1 = \sqrt{n_{см}^2 + \Delta^2(B)} \to \min.$

2) Для гармонических и алгебраических моделей, использующих функции времени (т. е. предназначенных для долгосрочного прогноза), в случаях, когда известен или может быть открыт закон физического баланса переменных, рекомендуется критерий «смещение плюс баланс переменных»

(13) $K_2 = \sqrt{n_{см}^2 + b^2} \to \min$

3) Для дифференциальных моделей (в виде конечно-разностных уравнений), предназначенных для многократного долгосрочного прогноза при помощи пошагового интегрирования, рекомендуется комбинированный критерий «несмещенность плюс устойчивость прогноза»

(14) $K_3 = \sqrt{n_{см}^2 + i^2(N)} \to \min$

При использовании дифференциальных моделей результаты долгосрочного прогноза могут быть неудовлетворительными, если вычислительная процедура не обладает достаточной устойчивостью, т. е. приводит к накоплению ошибок. Существует два способа достижения устойчивых результатов: усреднение некоторого числа лучших частных моделей на каждом ряду селекции или только в конце синтеза модели; использование комбинированного критерия K_3, содержащего требования устойчивости. Величина i^2 *(N)* формируется как сумма квадратов разностей табличных значении выхода модели и рассчитанных в процессе многократного интегрирования уравнения динамики [9-13].

Заключение

Предложен метод самоорганизации моделей на основе применения внешних критериев. Структура модели оптимальной сложности соответствует минимуму внешнего критерия. Принцип самоорганизации состоит в том, что при постепенном усложнении моделей некоторые критерии (имеющие свойства «внешнего дополнения») проходят через свой минимум. При помощи перебора моделей становится возможным найти этот минимум и определить единственную модель оптимальной сложности [14-17]. Для прогноза показателей уровня защищенности АИС был разработан нечеткий групповой метод обработки данных. Данный прогноз имеет важное значение для оценки требуемых показателей уровня защищенности АИС и дальнейшем планировании мер обеспечения защиты информации от несанкционированного доступа.

Благодарности

Работа выполнена при поддержке грантов: гранта РФФИ (№ 16-29-04268 офи_м), гранта Президента РФ (НШ-6831.2016.8).

Список литературы

[1] Ивахненко А. Г., Зайченко Ю. П., Димитров В. Д. Принятие решений на основе самоорганизации. М., Сов. радио, 1975.
[2] Геловани В.А., Ковригин 0.В., Смольянинов Н.Д. Методологические вопросы построения экспертных интеллектуальных систем. Системные исследования. Методологические проблемы: Ежегодник. М.: Наука, 2013.
[3] Дж. Кумбс М. Экспертные системы: концепции и примеры. Пер. с англ. – Москва: Финансы и статистика, 2015.
[4] Девянин П.Н. и др. Теоретические основы компьютерной безопасности. – М., 2000.
[5] Петренко С.А., Ступин Д.Д. Национальная система раннего предупреждения о компьютерном нападении: научная монография / под общей редакцией С. Ф. Боева. Университет Иннополис. – Иннополис: «Издательский Дом «Афина», 2017. – 440 с.
[6] Петренко С. А., Петренко А. С. Новая Доктрина информационной безопасности Российской Федерации // Защита информации. Инсайд. – 2017. – № 1 (73) . – С. 33–39.
[7] Петренко С.А., Шамсутдинов Т.И., Петренко А.С. Научно-технические задачи развития ситуационных центров в Российской Федераци // Защита информации. Инсайд. – 2016. – № 6 (72) . – С. 37–43.
[8] Петренко А. С., Петренко С. А. Проектирование корпоративного сегмента СОПКА // Защита информации. Инсайд. – 2016. – № 6 (72). – С. 47–52.
[9] Петренко А. С., Петренко С. А. Первые межгосударственные киберучения стран СНГ: «Кибер-Антитеррор-2016» // Защита информации. Инсайд. – 2016. – № 5 (71). С. 57–63.
[10] Петренко А. С., Бугаев И. А. Петренко С.А. Система управления: мастер-данными СОПКА // Защита информации. Инсайд. – 2016. – № 5 (71). – С. 37–43.
[11] Петренко А. С., Петренко С. А. Технологии больших данных (Big Data) в области информационной безопасности // Защита информации. Инсайд. – 2016. – № 4 (70). – С. 82–88.
[12] Петренко С.А., Курбатов В.А., Бугаев И.А., Петренко А.С. Когнитивная система раннего предупреждения о компьютерном нападении// Защита информации. Инсайд. – 2016. – № 3 (69). – С. 74–82.
[13] Петренко С. А., Петренко А. А. Онтология кибербезопасности самовосстанавливающихся Smart Grid // Защита информации. Инсайд. – 2016. – № 2 (68). –С. 12–24.
[14] Петренко А. А., Петренко С. А. Способ повышения устойчивости LTE-сети в условиях деструктивных кибератак // Вопросы кибербезопасности. – 2015. – № 2 (10). –С. 36–42.
[15] Петренко А. А., Петренко С. А. Киберучения: методические рекомендации ENISA // Вопросы кибербезопасности. 2015. – № 3 (11).– С. 2–14.
[16] Петренко А. А., Петренко С. А. НИОКР агенства DARPA в области кибербезопасности // Вопросы кибербезопасности. – 2015. – № 4 (12). – С. 2–22.
[17] Петренко С. А., Петренко А. С. От обнаружения к предупреждению: тенденции и перспективы развития ситуационных центров в Российской Федерации // Интеллект & Технологии. – 2017. – № 1 (12). – С. 68–71.
[18] Петренко С. А., Петренко А. С. Новая Доктрина как импульс для развития отечественных технологий информационной безопасности // Интеллект & Технологии. 2017. – № 2 (13). – С. 70–75.
[19] Петренко С. А., Петренко А. С. Лекция 12. Перспективные задачи информационной безопасности // Интеллектуальные информационные радиофизические системы. Вводные лекции / [А. О. Армяков и др.; под ред. С. Ф. Боева, Д. Д. Ступина, А. А. Кочкарова]. – Москва: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2016. – С. 155–166.

МЕТОД РАССЛЕДОВАНИЯ ИНЦИДЕНТОВ КИБЕРБЕЗОПАСНОСТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОФИЛИРОВАНИЯ ПОВЕДЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ СЕТЕВЫХ ОБЪЕКТОВ

В.Н. Калинин, А.Г. Ломако, В.А. Овчаров, С.А Петренко
ОАО «РТИ»
127083, Москва, ул. 8-го Марта, д. 10, стр. 1, Россия
S.Petrenko@rambler.ru
тел: +7 (495) 788-09-48, факс: +7 (495) 614-22-62

Ключевые слова: *система раннего предупреждения, информационная безопасность, угрозы информационной безопасности, компьютерные атаки, кибербезопасность, профилирование динамических сетевых объектов.*

Abstract
The formulation of the problem and possible technologies for early detection and prevention of impacts on information resources of the critical infrastructure of the Russian Federation are considered. The possible architecture of a cognitive early warning system of a computer attack is proposed.

Введение

Ужесточение требований к ИБ информационно-телекоммуникационных систем (ИТКС), обусловленное угрозами тяжелейших последствий от разнородно-массовых компьютерных атак (КА) на элементы критической информационной инфраструктуры [3, 4, 16, 17, 25], приводит к необходимости непрерывного объективного оценивания состояния сетевых объектов ИТКС [5, 6, 18, 19] при расследовании инцидентов ИБ. В современных ИТКС реализованы сложнейшие механизмы взаимодействия разнородных динамических систем [20], состоящих из большого числа компонентов различной степени автономности, в разноплановой программно-аппаратной конфигурации, связанных между собой различными по используемым технологиям и скорости передачи каналами связи (КС) и обменивающиеся данными различных типов.

В соответствии с ISO/IEC TR 18044:2004 далее под инцидентом ИБ будем понимать нежелательное или неожиданное событие (или совокупность таких событий), которое может скомпрометировать процессы информационного взаимодействия в администрируемой сети или угрожает ее информационной безопасности. Расследование инцидентов ИБ – это процесс идентификации уязвимых состояний субъектно-объектного взаимодействия сетевых объектов, по результатам которого формируется диагноз нежелательного события, включающий сведения об эксплуатируемой уязвимости, профиль нарушителя и его действия по реализации атакующего воздействия.

В статье рассматривается подход с использованием профилирования сложных динамических систем в условиях неполноты и противоречивости информации о состоянии сетевых объектов в силу технологических ограничений современных средств мониторинга. В развитие предлагается научно-технологический аппарат итерационного диагностирования потенциально опасных состояний сложных динамических систем с использованием коммуникационных (Pr_1), поведенческих (Pr_2) профилей и профилей защиты (Pr_3) сетевых объектов. Он призван моделировать потенциально возможное поведение нарушителя при реализации угроз сетевой

безопасности и принимать решения по организации специальных сценариев наблюдения и недопущению инцидентов ИБ.

Решение задачи профилирования поведения сетевых объектов для расследования (профилактики) инцидентов ИБ [21, 22] поддерживается комплексом математических моделей и технологических средств [1], используемых на различных этапах реализации политики безопасности (ПБ) и администрирования ИТКС [9, 13, 14, 15].

1 Подход к расследованию инцидентов ИБ с использованием профилирования поведения динамических сетевых объектов

В отличие от известных подходов к расследованию инцидентов ИБ [9, 10, 11, 26], предлагаемый сценарий реализуется как на этапах первичной обработки результатов мониторинга, так и на этапах анализа и обобщения разнородной информации о процессах функционирования исследуемой сети и отдельных ее элементов (устройств и ресурсов). На первом этапе (аналитического описания процессов Pr_1 ,…, Pr_n субъектно-объектного взаимодействия в ИТКС G_1) расследования (рис.1), администратору необходимо учитывать структурные и функциональные характеристики объектов эксплуатации, состав и специфику системного и прикладного ПО, характеристики системы эксплуатации. Это необходимо для формирования наборов количественных (B_1) и качественных (B_2) признаков, отображающих варианты развития ситуаций нарушения ИБ в контролируемой ИТКС.

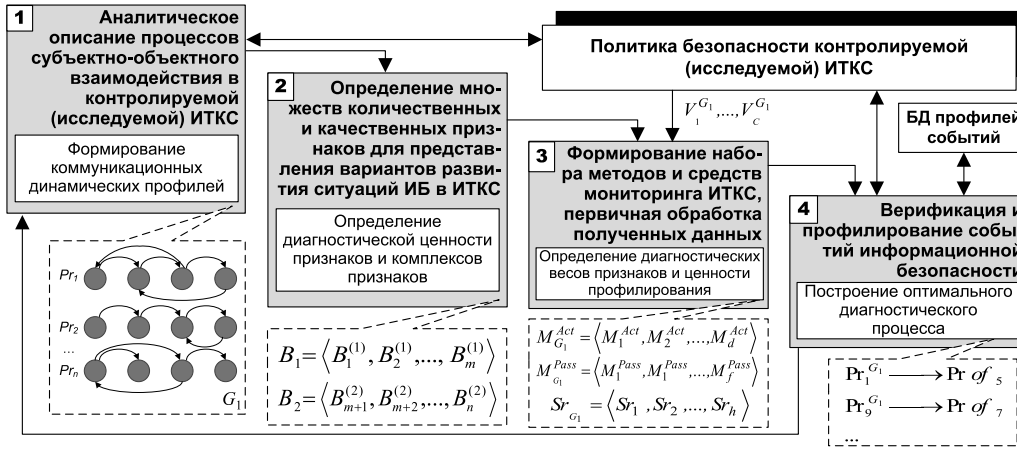


Рисунок 1 – Схема процесса расследования инцидентов ИБ

Исходя из специфики и особенностей возмущений процессов функционирования и состава множеств признаков, на третьем этапе формируется набор методов (активного ($M_{G_1}^{Act}$) и (или) пассивного ($M_{G_1}^{Pass}$)) и средств (Sr_{G_1}) мониторинга ИТКС G_1, которые должны учитывать тип воздействия нарушителей $V_1^{G_1},...,V_C^{G_1}$ и их взаимосвязь с моделью угроз, разработанной в политике безопасности (ПБ) ИТКС. На данном этапе также определяются степени взаимосвязи между альтернативными группами признаков негативных воздействий, последствия (ущерб) от их проявления и формируется перечень мероприятий по локализации инцидента. После проведения соответствующих процедур итерационного диагностирования и первичной обработки полученных данных осуществляется верификация действий нарушителя и соответствующих событий ИБ, и формируются профили соответствующих инцидентов.

Таким образом, результативность расследования инцидентов ИБ обеспечивается при диагностировании потенциально уязвимых состояний объектов сетевой инфраструктуры, определении типа и критичности уязвимости, а также формировании плана мероприятий по устранению выявленных эксплуатируемых уязвимостей. Сформулированный подход к расследованию инцидентов ИБ на основе профилирования поведения динамических сетевых объектов потребовал решения задачи диагностирования сложных динамических систем в условиях временной ненаблюдаемости процессов субъектно-объектного взаимодействия.

2 Формализация задачи диагностирования сложных динамических систем в условиях временной ненаблюдаемости процессов их субъектно-объектного взаимодействия

Сетевой объект ИТКС является сложной динамической системой, функционирующей в условиях временной ненаблюдаемости или частичной наблюдаемости процессов субъектно-объектного взаимодействия с другими объектами и (или) ИТКС. Как было отмечено в [25], общей задачей диагностирования систем является определение состояния объекта и совокупности мониторируемых параметров, по которым можно судить о функциональной пригодности сетевого объекта ИТКС, т.е. установить, является ли его текущая конфигурация установленного системного (прикладного) программного обеспечения (ПО) в данный момент уязвимой, или же объект не имеет различимых уязвимостей. Искомое решение применительно к специфике сетевых объектов ИТКС в условиях временной ненаблюдаемости или частичной наблюдаемости процессов их субъектно-объектного взаимодействия в сетевых инфраструктурах предполагает разработку таких процедур диагностирования, содержание которых зависит от свойств объектов [3, 4, 23], приоритетов и направленности диагностирования, а также условий его осуществления.

Пусть имеется некоторая распределенная ИТКС $S = \langle B, L \rangle$ (рис.2), состоящая из множества сетевых объектов $B = \langle B_1, B_2, B_3 \rangle$, где $B_1 = \langle B_1^{(1)}, B_2^{(1)}, \dots, B_m^{(1)} \rangle$ – множество сетевых устройств (маршрутизаторов) и web-ресурсов (серверов), $B_2 = \langle B_{m+1}^{(2)}, B_{m+2}^{(2)}, \dots, B_n^{(2)} \rangle$ – множество пользователей (источников данных мониторинга) ИТКС, $B_3 = \langle B_1^{(3)}, B_2^{(3)}, \dots, B_h^{(3)} \rangle$ – множество контролируемых средств сбора и обработки информации (узловых и сетевых сенсоров системы обнаружения КА), связанных друг с другом КС [12], представленных матрицей связей в заданных единицах измерений между пунктами B_i и B_j $(i, j = 1, \dots, n)$; $L = \left\| \begin{matrix} l_{11}, l_{12}, \dots, l_{1n} \\ l_{21}, l_{22}, \dots, l_{2n} \\ \dots \\ l_{n1}, l_{n2}, \dots, l_{nn} \end{matrix} \right\|$ – матрица связей между сетевыми объектами ($l_{ij} \geq 0$, при $i \neq j,\ l_{ii} = 0,\ i, j = 1, \dots, n$). На основе сведений о характеристиках КС и системы обнаружения КА известны значения времени сбора данных мониторинга ($T_{\text{сб}}$), времени (T_0) записи (действие $d_1^{\text{сб.}}$) и обработки данных мониторинга, при этом $d_1^{\text{сб.}} \in D_1^{\text{сб.}}$. Системы обнаружения КА позволяют в качестве исходных данных принимать множество потоков пакетов i-го узла ИТКС ($b_1 \in N$) с интенсивностями $\lambda = \{\lambda_{i_1}, \lambda_{i_2}, \dots, \lambda_{i_b}\}$ и формировать множество пакетов i-го узла ИТКС ($b_1 \in N$) с $\nu_i = \{\lambda_{i_1}, \lambda_{i_2}, \dots, \lambda_{i_g}\}$.

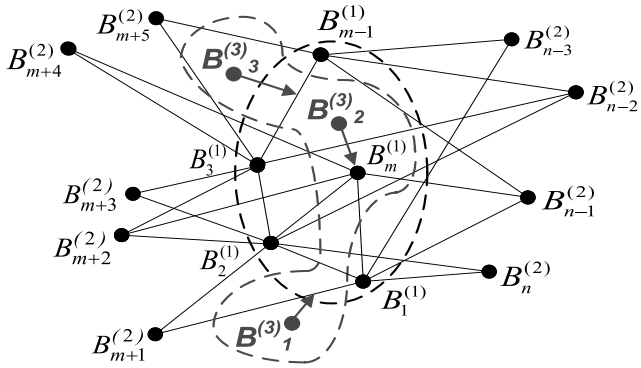


Рисунок 2 – Графологическое представление распределенной ИТКС

В современных системах мониторинга [7, 8, 24] реализованы подсистемы активного (на основе сканирования сетевого объекта по принципу «запрос-ответ» с последующей обработкой ответов) и пассивного (на основе анализа параметров сетевого трафика (ПСТ) в режиме прослушивания выбранного интерфейса) сбора данных.

В общем виде система обработки данных при использовании активных методов мониторирования ($i=1,\ldots,m$) может быть представлена семеркой множеств

(1) $B_i^{(c)} = \left\{T_i^{(1)}, Prs_i^{(c)}, Prd_i^{(c)}, V_i^{(c)}, F^{(c)}, \Phi^{(c)}, T_i^{(c)}\right\},$

где $T_i^{(c)} = \left\{t_{i_1}^{(c)}, t_{i_2}^{(c)}, \ldots, t_{ir_1}^{(c)}\right\}$ – множество моментов времени t наблюдения сетевого объекта ИТКС; $Prs_i^{(c)} = \left\{prs_{i_1}^{(c)}, prs_{i_2}^{(c)}, \ldots, prs_{iq_1}^{(c)}\right\}$, $q_1 \in N_q$– множество значений параметров (входных сигналов) сеансов сканирования, проводимых в отношении сетевого объекта ИТКС; $Prd_i^{(c)} = \left\{prd_{i_1}^{(c)}, prd_{i_2}^{(c)}, \ldots, prd_{ig_1}^{(c)}\right\}$, $g \in N_a$ – множество значений ПСТ (выходных сигналов), идентифицирующих состояние сетевого объекта ИТКС; $V_i = \left\{V_{i_1}^{(c)}(t), V_{i_2}^{(c)}(t), \ldots, V_{id_1}^{(c)}(t)\right\}$, $d \in N_a$ – пространство состояний сетевого объекта при проведении мониторирования; $F^{(c)}$ – оператор переходов, отражающий механизм изменения состояния сетевого объекта под действием внутренних и внешних КА; $\Phi^{(c)}$ – оператор выходов, описывающий механизм формирования выходного сигнала как реакции сетевого объекта на внутренние и внешние возмущения; $T_i^{(c)} = \left\{T_{i_1}^{(c)}, T_{i_2}^{(c)}, \ldots, T_{ip_1}^{(c)}\right\}$, $p_1 \in N_a$ – множество формируемых по результатам мониторирования и установления истинностных значений ПСТ сетевого объекта.

Структуру информационного процесса, характеризующего динамику изменения свойств устройств и пользователей ИТКС при проведении пассивных сеансов мониторинга ($t \in [t_i, t_i + \Delta_i)$, $i=\overline{1,m}$), представим в виде цепочки отображений $R\langle\chi_{B^{(1)},B^{(2)}}(t), \chi_{B^{(3)}}(t)\rangle \to R\langle B_t^{(1)}, B_t^{(2)}, B_t^{(3)}\rangle$, $R\langle B_t^{(1)}, B_t^{(2)}, B_t^{(3)}\rangle \to B_t^{(3)}$, $R\langle\chi_{B^{(1)},B^{(2)}}(t), \chi_{B^{(3)}}(t)\rangle \to \chi_{B^{(1)},B^{(2)}}(t)$, $B_t^{(3)} \to \chi_{B^{(3)}}(t)$, где $x_{\langle,\rangle}(t)$ – состояния устройств, пользователей и контролируемых систем обнаружения КА; $R\langle x_{\langle,\rangle}, x_{\langle,\rangle}\rangle$ – отношения между состояниями; $R\langle B_t^{(1)}, B_t^{(2)}, B_t^{(3)}\rangle$ – отношения между устройствами, пользователями и сенсорами системы обнаружения КА, изменяющиеся во времени и характеризующие информационный процесс.

Операторы реализуют отображения:

(2) $F^{(c)}$: $T_i^{(c)} \times Prs_i^{(c)} \times V_{id_1}^{(c)}(t) \to V_i$

(3) $\Phi^{(c)}$: $T_i^{(c)} \times Prs_i^{(c)} \times V_{id_1}^{(c)}(t) \to Prd_i^{(c)}$

Всякое состояние V_i сетевого объекта ИТКС характеризуется в каждый момент времени $t \in T$ набором переменных $V_{id}^{(c)}, d \in N_a$, изменяющихся под влиянием КА нарушителей и внутренних возмущений, вызванных, например, уязвимостями компонент системного и (или) прикладного ПО. Таким образом, при ограничениях на выбранный метод обработки наблюдений ($u(t) \in U_{\text{доп.}}$), на интенсивности обрабатываемых информационных потоков ($\lambda_1 \le \lambda(t) \le \lambda_2$), на объем хранимой информации о пользователях и устройствах ИТКС ($V_1 \le V(t) \le V_2$), на суммарное время сбора информации о пользователях и устройствах ИТКС ($\min_{d_i \in D_{\text{доп.}}} \sum_{i=1}^{k} T_i(d_i^{\text{сб.}})$) необходимо найти:

- функционал идентификации состояния и управления [12] сложными динамическими системами в условиях временной ненаблюдаемости или частичной наблюдаемости субъектно-объектного взаимодействия в сетевой инфраструктуре $\varepsilon\colon T \times Prs \times V \to Prd$, $\phi\colon Prd \to T$, $\varphi\colon Prd \to T_{\text{монит}}$, $k\colon T \to Prd_{\text{ист.}}$, $\gamma\colon T \to T_{\text{монит}}$, $\iota\colon T_{\text{монит}} \to Prd_{\text{ист.}}$;
- закон управления сетевым (узловым) сенсором КА, который обеспечивал бы суммарные временные затраты на сбор данных мониторинга о сетевых объектах ИТКС, не превышающий директивного значения при ограничениях на области допустимых значений программ управления и на возможный перечень действий при расследовании инцидентов ИБ:

$$u^*(t) = \underset{\substack{u(t)\in\{U^{\partial}(t)\}\\ d_i\in\{D^{\partial}\}}}{arg}\left(\sum_{i=1}^{k} T\left(u(t), d_i^{\text{сб}}\right) \le T_{\Sigma}^{\partial}\right),$$
$$\{U^{\partial}(t)\} = u^{\partial}(t) \mid (\lambda_1 \le \lambda(t) \le \lambda_2) \cap (V_1 \le V(t) \le V_2) \cap (N_1 \le N \le N_2) \quad (4)$$

При вторичной обработке данных мониторинга система выработки сценариев должна позволять оценить обстановку, складывающуюся на момент времени $t = t_0$, определяемую отношениями между состояниями источников информации и датчиками (сенсорами) системы обнаружения КА. В конечный момент времени отношения между состояниями становятся разными, поэтому процесс достижения цели описывается в виде изменения отношений

$$x_{B^{(1)},B^{(2)}}(t_0) R_{<\cdot>} x_{B^{(3)}}(t_0) \mapsto x_{B^{(1)},B^{(2)}}(t_k) R_{<\cdot>} x_{B^{(3)}}(t_k), \quad (5)$$

причем логическое следование из исходного в конечное состояние связывается с множеством возможных информационных действий.

Перечень и последовательность совершаемых действий определяется логикой поведения $B^{(3)}$, его установками. Фактически $B^{(3)}$ выполняет функции органа, подготавливающего, принимающего решение, а также, управляющего сетевыми объектами мониторинга.

При подготовке решения необходимо рассмотреть все возможные варианты, ведущие к достижению цели $P\left(\hat{\tau}_{\text{н}} < \hat{\tau} < \hat{\tau}_{\text{д}}\right) = P_{\text{ВЗ}}$, где $\hat{\tau} = \hat{\tau}_p + \hat{\tau}_{\text{пасс.}} + \hat{\tau}_{\text{акт.}} + \hat{\tau}_{\text{тз}}$, $p \ge \hat{\tau}_{\text{н}}$, а при принятии решения среди возможных – выбирается один, наиболее предпочтительный. При выборе возможных вариантов решений и стоящих за ними действий необходимо выбирать такие цепочки из них, которые удовлетворяют условию (3).

Складывающаяся информационная обстановка на сетевом объекте фиксируется совокупностью решающих правил (РП), отражающих отношение между состояниями $B^{(1)}, B^{(2)}, B^{(3)}$ при $t = t_k$. Таким образом, на следующем этапе расследования инцидентов ИБ необходимо определить параметры наблюдения на основе определения диагностической ценности признаков потенциально уязвимой сетевой инфраструктуры.

3 Селекция параметров наблюдения на основе определения диагностической ценности признаков потенциально уязвимой сетевой инфраструктуры

В технической диагностике ИТКС очень важное значение имеет описание сетевого объекта в системе признаков, обладающих большей диагностической ценностью. Использование неинформативных признаков не только оказывается бесполезным, но и снижает эффектив-

ность самого процесса диагностики, создавая помехи при распознавании. Будем считать, что диагностическая ценность признака определяется значимостью информации, которая вносится признаком в систему состояний сетевого объекта.

Пусть имеется система Pr, которая находится в одном из n возможных состояний Pr_i ($i=1,2,...,n$). Назовем данную систему системой профилей, а каждое из состояний – профилем. Различные состояния ИТКС в дискретные моменты времени представляются совокупностью эталонов (профилей), при этом, выбор числа профилей определяется задачами исследования. Распознавание состояний системы Pr осуществляется путем наблюдения за связанной с ней системой – системой признаков. Будем называть простым признаком результат обследования, выраженный одним из двух символов или двоичным числом (0 и 1).

С точки зрения теории информации простой признак можно рассматривать как систему, имеющую одно из двух возможных состояний. Если k_j – простой признак, то два его состояния обозначим k_j - наличие признака, $\overline{k}_j$ – отсутствие признака. Простой признак может означать наличие или отсутствие измеряемого ПСТ в определенном интервале; он может иметь и качественный характер (положительный или отрицательный результат испытания и пр.).

Двухразрядный признак ($m = 2$) обладает двумя возможными состояниями. Состояния двухразрядного признака k_j обозначим k_{j_1} и k_{j_2}. Пусть, например, признак k_j относится к измерению ПСТ x, для которого установлено два диагностических интервала: $x \leq 10$ и $x > 10$. Тогда k_{j_1} соответствует $x \leq 10$, а k_{j_2} обозначает $x > 10$. Эти состояния альтернативны, т.к. реализуется только одно из них. Очевидно, что двухразрядный признак может быть заменен простым признаком k_j, положив $k_{j_1} = k_j, k_{j_2} = \overline{k}_j$.

Если в результате обследования выявлено, что признак k_j имеет для данного объекта значение k_{j_s}, то это значение будем называть реализацией признака k_j. Обозначая ее k_j^*, будем иметь $k_j^* = k_{j_s}$.

В качестве диагностического веса реализации признака k_j для диагноза Pr_i примем

$$(6) \quad Z_{Pr_i}(k_j^*) = Z_{Pr_i}(k_{j_s}) = \log_2 \frac{P\left(\frac{Pr_i}{k_{j_s}}\right)}{P(Pr_i)},$$

где $P\left(\frac{Pr_i}{k_{j_s}}\right)$ – вероятность профиля Pr_i при условии, что признак k_j получил значение k_{j_s}; $P(Pr_i)$ – априорная вероятность профиля.

Величина $Z_{Pr_i}(k_{j_s})$ встречалась в работах по теории информации [61] под названием «ценность информации». С точки зрения теории информации величина $Z_{Pr_i}(k_{j_s})$ представляет собой информацию о состоянии Pr_i, которой обладает состояние признака k_{j_s}. Диагностический вес той или иной реализации признака еще не дает представления о диагностической ценности обследования по данному признаку. Так, при обследовании по простому признаку может оказаться, что его значение не имеет диагностического веса, тогда как его отсутствие чрезвычайно важно для установления профиля сетевого объекта. Будем считать диагностической ценностью обследования по m-разрядному признаку k_j для профиля Pr_i величину информации, вносимую всеми реализациями признака k_j в установление профиля Pr_i

$$(7) \quad Z_{Pr_i}(k_j) = \sum_{s=1}^{m} P\left(\frac{k_{j_s}}{Pr_i}\right) Z_{Pr_i}(k_{j_s}) .$$

Диагностическая ценность обследования учитывает все возможные реализации признака и представляет собой математическое ожидание величины информации, вносимой отдельными реализациями. Так как величина $Z_{Pr_i}(k_j)$ относится только к одному профилю Pr_i, будем называть ее частной диагностической ценностью обследования по признаку k_j. $Z_{Pr_i}(k_j)$ определяет независимую диагностическую ценность обследования. Она характерна для ситуации,

когда обследование проводится первым или когда результаты других обследований неизвестны. Запишем $Z_{Pr_i}(k_j)$ в форме, удобной для дальнейших расчетов

$$(8)\quad Z_{Pr_i}(k_j) = \sum_{s=1}^{m} P\left(\frac{k_{js}}{Pr_i}\right) \log_2 \left[\frac{P\left(\frac{Pr_i}{k_{js}}\right)}{P(Pr_i)}\right].$$

Сформированное признаковое пространство позволило выявить и классифицировать симптомы потенциально-уязвимых состояний, определить параметры сетевого трафика, используемые для коммуникационно-поведенческого профилирования сетевых инфраструктур с нетипичными макропараметрами субъектно-объектного взаимодействия.

Рассмотрим далее процедуру определения диагностических весов признаков уязвимых состояний сетевых объектов.

4 Эталонное профилирование сетевых объектов с учетом признаков уязвимых состояний

В рамках расследования инцидентов ИБ исследуются три различных состояния сетевых объектов (профили), обусловленные атакующими воздействиями нарушителей: Pr_1 – профиль, характеризующий уязвимое состояние, обусловленное неизвестной уязвимостью нулевого дня; Pr_2 – профиль, характеризующий уязвимое состояние, обусловленное ошибками конфигурации средств защиты; Pr_3 – профиль, характеризующий уязвимое состояние, обусловленное воздействием на известную уязвимость. Профилирование осуществляется по девяти простым неспецифичным признакам: байт-частотному для протокола TCP (k_1), байт-частотному для протокола UDP (k_2), значению хеш-функции (k_3), значению хеш-функции на основе байта смещения (k_4), на основе первых 4 байт, повторяющихся в пакетах (k_5), значению хеш-функции для пар первых 16 байт первых 4 пакетов (k_6), длине первых четырех пакетов одного направления (k_7), числа полубайт первого пакета от сервера к клиенту (k_8), числа повторяющихся пар байт (k_9).

Пусть, например, из 450 сетевых узлов администрируемой ИТКС функциональное (не имеющее известных уязвимостей) состояние диагностировано у 414 узлов. Из 36 обследованных узлов, подвергшихся атакующим воздействиям злоумышленников, в первом уязвимом состоянии оказалось 10, во втором – 12, в третьем – 14. Результаты профилирования по признакам указаны в табл.1. Отметим, что первый профиль характеризуется наличием не менее двух заштрихованных квадратов (единиц) в первой строке и не менее двух белых квадратов (нулей) в остальных строках и т.п. Частота встречаемости признака принимается в качестве его вероятности.

Например, для первого признака (наличие признака k_1, отсутствие – $\overline{k}_1$): $P\left(\frac{k_1}{Pr_1}\right) = \frac{8}{10} = 0{,}8$; $P\left(\frac{k_1}{Pr_1}\right) = \frac{8}{10} = 0{,}80$; $P\left(\frac{k_1}{Pr_2}\right) = \frac{3}{12} = 0{,}25$; $P\left(\frac{k_1}{Pr_3}\right) = \frac{5}{14} = 0{,}357$; $P(k_1) = \frac{16}{36} = 0{,}444$. Далее определим независимый диагностический вес реализаций признаков, используя выражение (7) и независимую диагностическую ценность обследования по равенству (8).

Результаты расчета приведены в таблице 2. Для профиля Pr_1 наибольшую диагностическую ценность имеет обследование по признакам k_1, k_2, k_3; для профиля Pr_2 – по признакам k_4, k_5, k_6 и для профиля Pr_3 – по признакам k_7, k_8, k_9. Для всей системы профилей значения диагностических ценностей обследований изменяются на столь значительно.

В таблице 3 указаны значения условий диагностической ценности обследований после проведения обследования по первому признаку. Из таблицы видно существенное изменение диагностической ценности обследований в связи с той или иной реализацией первого признака.

Таблица 1 – Статистические данные профилирования сетевых объектов по простым признакам

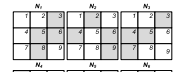
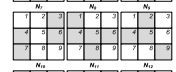
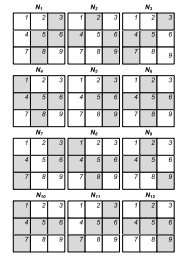
Pr_i	№ объекта N	Признак k_i									Геометрическая интерпретация
		k_1	k_2	k_3	k_4	k_5	k_6	k_7	k_8	k_9	
Pr_1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	
	2	1	1	0	0	1	0	0	1	0	
	3	1	0	1	1	0	0	0	0	1	
	4	0	1	1	0	0	1	1	0	0	
	5	1	1	1	1	0	0	0	0	1	
	6	1	1	1	0	1	0	0	1	0	
	7	1	1	0	1	0	0	0	0	1	
	8	1	0	1	0	0	1	1	0	0	
	9	0	1	1	0	0	1	1	0	0	
	10	1	1	1	0	0	1	1	0	0	
Pr_2	1	0	0	1	0	1	1	0	1	0	
	2	0	1	0	1	0	1	0	0	1	
	3	0	0	1	1	1	0	1	0	0	
	4	1	0	0	1	1	1	0	1	0	
	5	0	0	1	0	1	1	0	0	1	
	6	0	1	0	1	1	1	0	1	0	
	7	0	0	1	1	0	1	1	0	0	
	8	1	0	0	1	1	1	0	1	0	
	9	0	1	0	1	1	0	0	0	1	
	10	1	0	0	1	1	1	1	0	0	
	11	0	0	1	0	1	1	1	0	0	
	12	0	1	0	1	1	1	0	0	1	
Pr_3	1	1	0	0	0	1	0	1	1	0	
	2	0	1	0	0	0	1	0	1	1	
	3	1	0	0	1	0	0	1	1	1	
	4	0	0	1	0	1	0	1	0	1	
	5	1	0	0	0	0	1	1	1	0	
	6	0	1	0	0	1	0	1	1	1	
	7	1	0	0	1	0	0	0	1	1	
	8	0	0	1	0	1	0	1	1	1	
	9	0	1	0	0	0	1	1	0	1	
	10	0	0	1	1	0	0	1	1	1	
	11	0	0	1	1	0	0	1	1	1	
	12	0	1	0	0	1	0	0	1	1	
	13	0	0	1	1	0	0	1	1	0	
	14	1	0	0	0	0	1	1	0	1	

Таблица 2 – Вероятности, диагностические веса реализаций и диагностические ценности различных признаков

Признак k_j	Профиль Pr_i												$P(k_j)$	$Z_{Pr}(k_j)$
	Pr_1				Pr_2				Pr_3					
	$P(Pr_1) = 0{,}278$				$P(Pr_2) = 0{,}333$				$P(Pr_3) = 0{,}389$					
	$P\left(\frac{k_j}{Pr_1}\right)$	$Z_{Pr_1}(k_j)$	$Z_{Pr_1}(\bar{k}_j)$	$Z_{Pr_1}(k_j)$	$P\left(\frac{k_j}{Pr_2}\right)$	$Z_{Pr_2}(k_j)$	$Z_{Pr_2}(\bar{k}_j)$	$Z_{Pr_2}(k_j)$	$P\left(\frac{k_j}{Pr_3}\right)$	$Z_{Pr_3}(k_j)$	$Z_{Pr_3}(\bar{k}_j)$	$Z_{Pr_3}(k_j)$		
1	0,8	0,848	-1,475	0,383	0,25	-0,83	0,443	0,117	0,357	-0,315	0,21	0,023	0,444	0,154
2	0,8	0,848	-1,475	0,383	0,333	-0,415	0,263	0,037	0,286	-0,635	0,362	0,017	0,444	0,149
3	0,8	0,678	-1,322	0,278	0,417	-0,263	0,222	0,02	0,357	-0,486	0,363	0,059	0,5	0,107
…														
9	0,4	-0,4	0,346	0,047	0,333	-0,662	0,498	0,111	0,786	0,575	-1,141	0,208	0,528	0,141

Таблица 3 – Условные диагностические ценности обследования

Признак k_j	Профиль Pr_i						$Z_{Pr}\left(\frac{k_j}{k_1}\right)$	$Z_{Pr}\left(\frac{k_j}{\overline{k}_1}\right)$
	Pr_1		Pr_2		Pr_3			
	$Z_{Pr_1}\left(\frac{k_j}{k_1}\right)$	$Z_{Pr_1}\left(\frac{k_j}{\overline{k}_1}\right)$	$Z_{Pr_2}\left(\frac{k_j}{k_1}\right)$	$Z_{Pr_2}\left(\frac{k_j}{\overline{k}_1}\right)$	$Z_{Pr_3}\left(\frac{k_j}{k_1}\right)$	$Z_{Pr_3}\left(\frac{k_j}{\overline{k}_1}\right)$		
2	0,42	1	0,678	0,009	0,678	0,009	0,606	0,284
3	0,42	0,737	0,678	0,006	0,678	0,006	0,606	0,209
4	0,011	0,863	0,83	0,136	0,077	0,041	0,31	0,301
…								
8	0,189	0	0,082	0,235	0,278	0,235	0,188	0,170

Таким образом, зная диагностическую ценность обследования по соответствующим группам признаков в соответствующей ИТКС, появляется возможность проводить выборочный сетевой мониторинг, что обеспечивает существенное сокращение времени реакции на потенциальные инциденты.

5 Обоснование требований к построению процедуры итерационного диагностирования для расследования инцидентов ИБ

В задачах диагностики ИТКС чрезвычайно существенным оказывается выбор наиболее информативных признаков для описания сетевого объекта и последующего построения диагностического процесса. Во многих случаях это связано как с трудностью получения самой информации (число узловых (сетевых) сенсоров [7, 8, 25] системы обнаружения КА, как правило, ограничено), так и с ограниченным временем диагностического обследования в условиях КА. Представим процесс диагностического обследования следующим образом. Имеется система, которая может находиться с некоторой вероятностью в одном из состояний, заранее неизвестном. Если априорные вероятности состояний $P(Pr_i)$ могут быть получены из статистических данных, то энтропия системы

(9) $H(Pr) = -\sum_{i=1}^{n} P(Pr_i)\log_2 P(Pr_i)$.

В результате полного диагностического обследования по комплексу признаков K состояние системы становится известным (например, выясняется, что сетевой объект находится в состоянии Pr_1, тогда $P(Pr_1) = 1,\ P(Pr_i) = 0$ $(i = 2,\ldots,n)$. После проведения полного диагностического обследования энтропия (неопределенность) системы

(10) $H(Pr/K) = 0.$

Внесенная информация, содержащаяся в диагностическом обследовании, или диагностическая ценность обследования

(11) $J_{Pr}(K) = Z_{Pr}(K) = H(\mathrm{Pr}) - H(Pr/K) = H(\mathrm{Pr}).$

В действительности, условие (10) удается выполнить далеко не всегда. Во многих случаях распознавание носит статистический характер и необходимо знать, что вероятность одного из состояний достаточно высока (например, $P(Pr_1) = 0.95$). Для подобных ситуаций остаточная энтропия системы $H(Pr/K) \neq 0$.

В практических случаях необходимая диагностическая ценность обследования

(12) $Z_{Pr}(K) = \xi H(\mathrm{Pr}),$

где ξ – коэффициент полноты обследования, $0 < \xi < 1$.

Коэффициент ξ зависит от надежности распознавания и для реальных диагностических процессов должен быть близок к единице. Если априорные вероятности состояний системы неизвестны, то всегда можно дать верхнюю оценку энтропии системы $H(\mathrm{Pr}) \leq \log_2 n$, где n – число состояний системы.

Из условия (12) вытекает, что объем информации, которую необходимо получить при диагностическом обследовании, является заданным и требуется построить оптимальный процесс его накопления.

При построении диагностического процесса необходимо учитывать сложность получения соответствующей информации. Назовем коэффициентом оптимальности диагностического обследования по признаку k_j для профиля Pr_i величину

(13) $\lambda_{ij} = \frac{Z_{Pr_i}(k_j)}{c_{ij}}$,

где $Z_{Pr_i}(k_j)$ – диагностическая ценность обследования по признаку k_j для профиля Pr_i. В общем случае $Z_{Pr_i}(k_j)$ определяется с учетом результатов предыдущих обследований; c_{ij} – коэффициент сложности обследования по признаку k_j для профиля Pr_i, характеризующий трудоемкость обследования, его достоверность, длительность и другие факторы. Предполагается, что c_{ij} не зависит от проведенных ранее обследований.

Коэффициент оптимальности обследования для всей системы профилей

(14) $\lambda_j = \frac{\sum_{i=1}^{n} P(Pr_i) Z_{Pr_i}(k_j)}{\sum_{i=1}^{n} P(Pr_i) c_{ij}} = \frac{Z_{Pr_i}(k_j)}{c_j}$.

При вычислении λ_j проводится осреднение информации и сложности обследования по всем профилям. Для обследования по комплексу K из ν признаков коэффициент оптимальности

(15) $\lambda = \frac{Z_{Pr}(K^{(\nu)})}{\sum_{j=1}^{\nu} c_j}$,

где $Z_{Pr}(K^{(\nu)})$ – диагностическая ценность обследования по комплексу признаков.

Таким образом, коэффициент оптимальности будет наибольшим, если необходимая величина диагностической ценности получается при наименьшем числе отдельных обследований. В общем случае оптимальный диагностический процесс должен обеспечить получение наибольшего значения коэффициента оптимальности всего обследования (условия оптимальности диагностического обследования).

6 Формирование коммуникационных динамических профилей сетевых объектов

Для описания взаимодействия (передачи информации) между сетевыми объектами во времени используются коммуникационные динамические профили. Под профилем сетевого объекта далее будем понимать формализованное средство описания и отображения характеристик сетевой инфраструктуры в целом и отдельного объекта ИТКС в части детализации правил (коммуникационных протоколов, обращения к ресурсам) и процедур обмена данными на соответствующем интервале наблюдения. Особенности взаимодействия сетевых узлов на заданном интервале наблюдения представим в трехмерном пространстве (рис.3), где на оси X заданы моменты времени начала и окончания соответствующих процессов взаимодействия, на оси Y – идентифицированные операционные системы (ОС) и приложения, инсталлированные на сетевом узле, на оси Z – номера используемых для взаимодействия TCP/UDP-портов, используемые соответствующими приложениями. Коммуникационный профиль сетевого объекта представим в виде:

(16) КП $= Pr_1 = \langle Sft(Pt_k)_1^{Prt_i}, \dots, Sft(Pt_k)_n^{Prt_i} \rangle$,

где Sft – тип ПО (ОС или приложение), $Sft \in Os \cup Apl$; Pt – протокол, Prt – номер TCP/UDP-порта, $i = 1, 2, \dots, 65535;\ k, n \in N$.

Например, коммуникационный профиль сетевого объекта, представленного на диаграмме рис.2, имеет вид:

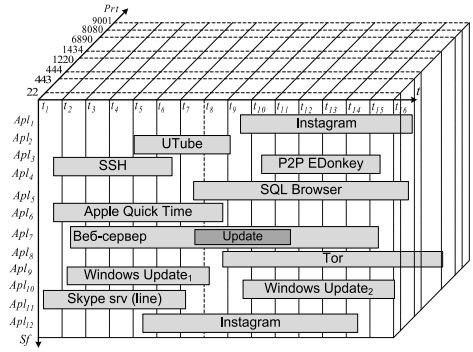


Рисунок 3 – Способ представления взаимодействия сетевых объектов

$$Pr_{NO_1}^{(1)} = \langle \begin{matrix} Apl_1^{443}, Apl_2^{443}, Apl_3^{22}, Apl_4^{6890}, Apl_5^{1220}, Apl_6^{8080}, \\ Apl_7^{4443}, Apl_8^{443}, Apl_9^{444}, Apl_{10}^{9001}, Apl_{11}^{1434}, Apl_{12}^{443} \end{matrix} \rangle.$$

Поведенческий профиль:

(17) $\text{ПП} = Pr_2 = \langle Nm_1 = \langle V_i, type, \xi_k, D_s \rangle, \ldots, Nm_1 = \langle V_i, type, \xi_k, D_s \rangle \rangle,$

где Nm – наименование ОС (приложения), V – идентификатор (имя экземпляра приложения) сетевого объекта; $type$ – тип (активный или пассивный) сетевого объекта, $type \in Act \cup Psv$; ξ – версия приложения; D – набор операций; $i, k, n \in N$.

Например, поведенческий профиль сетевого объекта, представленного на диаграмме рис.3, имеет вид:

$$ПП_{NO_1}^{(1)} = \left\langle \begin{matrix} Apl_1 =< Instagram(IOS); 6.0; act; chat >, \ldots, \\ Apl_{11} =< Instagram(Android); 5.1; act; chat > \end{matrix} \right\rangle.$$

Профиль защиты:

(18) $\text{ПЗ} = Pr_3 = \langle Nm_1 = \langle \gamma_i, \phi_k, \psi \rangle, \ldots, Nm_n = \langle \gamma_i, \phi_k, \psi \rangle \rangle,$

где γ – наименование сервиса безопасности; ϕ – версия; ψ – тип операции (чат, файлообмен (загрузка), использование веб-браузера, загрузка, файлообмен (выгрузка), IP-вызов); $i, k, n \in N$.

Например, профиль защиты сетевого объекта, представленного на диаграмме рис.3, имеет вид:

$$ПЗ_{NO_1}^{(1)} = \left\langle \begin{matrix} Apl_3 = \langle OpenSSH(sshd),\ 2,\ Kerberos\ v5\ auth \rangle, \ldots, \\ Apl_8 = \langle MSCryptoAPI,\ 6.1,\ E2EE \rangle \end{matrix} \right\rangle.$$

В качестве примера рассмотрим ситуацию с обнаружением по результатам пассивного мониторинга факта подмены сертификата на одном из рабочих мест при обращении к web-ресурсу с использованием протоколов SSL\TLS. Данная ситуация имеет множество альтернатив с точки зрения развития ситуаций ИБ в ИТКС. Если деструктивные действия пользователя были умышленными, данное событие (инцидент) может быть связан как с предыдущими инцидентами, так и иметь высокую вероятность повторения в будущем. Кроме того, данный инцидент представляет угрозу ИТКС как с точки зрения получения нарушителем доступа к скомпрометированному узлу [5], так и компрометации других узлов или всей исследуемой ИТКС. На первом этапе администратору на основе обратного анализа данных требуется верифицировать события (а также их исходы), статистические характеристики которых представляют интерес для выявления причинно-следственных связей между действиями пользователя для определения степени его участия в инциденте: сертификат с подлинным эмитентом; сер-

тификат с поддельным эмитентом; сертификат с корректным сроком действия; сертификат с просроченным (истекшим) сроком действия; сертификат с подлинным эмитентом, не просрочен; сертификат с подлинным эмитентом, просрочен; сертификат с поддельным эмитентом, не просрочен; сертификат с поддельным эмитентом, просрочен. По результатам расследования система мониторинга формирует перечень действий по профилактике (реагированию) на соответствующий инцидент ИБ.

Таблица 4 – Перечень действий по профилактике или реагированию на инцидент ИБ

№ п.п.	Сетевой объект	Компонент системного или прикладного ПО	Эксплуатируемая уязвимость/уязвимый протокол или компонент	Действие администратора в рамках профилактики или реагирования на инцидент ИБ
1.	Windows-хосты	Win 7	CVE-2016-3213 / NetBIOS, ISATAP	Установка обновлений системы безопасности MS16-063, MS16-077
2.	Клиентские хосты	Веб-браузер	Internet Explorer, HTTP/HTTPS	Использование браузеров Firefox, Opera, Chrome с поддержкой технологии HPKP
			TLS	Взаимная аутентификация при установлении TLS-соединения
			HTTPS, TLS	Контроль прикладного ПО, имеющего доступ к веб-браузеру
				Использование дополнительных источников или баз данных о разрешенных ключах и сертификатах
				Взаимная аутентификация клиента и сервера
3.	Система мониторинга сетевого трафика в ИТКС	-	DNS	DNS-разрешение имен
		-	SSL/TLS	SSL-разрешение имен, ведение реестра отпечатков открытых доверенных ключей сервера

Далее формируется набор качественных признаков по результатам вторичной обработки результатов мониторинга в виде дерева решений, определяется степень взаимосвязи между альтернативными группами признаков, технические и экономические последствия (ущерб) для политики безопасности ИТКС и ее активов при их проявлении и генерируется набор управляющих воздействий администраторов безопасности по локализации инцидента.

Заключение

Предложенный подход к профилированию поведения динамических сетевых объектов позволяет научно обоснованно выбрать последовательность операций диагностирования состояния инфраструктуры при расследовании инцидентов ИБ, так как учитывает не только ценность отдельного обследования, но и прогнозируемую эффективность его сочетания с последующим. Если в результате первых проверок в рамках расследования инцидентов ИБ установлено, что наиболее вероятным является конкретный уязвимый профиль сетевого объекта и дальнейшие обследования необходимы для его подтверждения, то при построении диагностического процесса необходимо исходить из соответствующих значений ценностей обследований для данного профиля.

Повышение результативности расследования инцидентов ИБ достигается за счет идентификации уязвимых состояний, определения степени уязвимости сетевого объекта и увеличения разрешающей способности процедуры распознавания информационных признаков эксплуатируемых уязвимостей системного и прикладного ПО. Это позволило существенно повысить число выявленных уязвимых состояний субъектно-объектного взаимодействия в распределенных ИТКС при их мониторировании и сократить время реакции на потенциальные инциденты ИБ.

Благодарности

Работа выполнена при поддержке грантов: гранта РФФИ (№ 16-29-04268 офи_м), гранта Президента РФ (НШ-6831.2016.8).

Список литературы

[1] Бирюков, Д.Н., Ломако, А.Г., Петренко, С.А. Порождение сценариев предупреждения компьютерных атак. Защита информации. Инсайд. 2017. №4 (76). С.70-79.
[2] Воробьев, Е.Г., Петренко, С.А., Ковалева, И.В., Абросимов, И.К. Анализ инцидентов компьютерной безопасности с использованием нечеткой логики. 2017, С. 349 – 352.
[3] Петренко, С.А., Петренко, А.С. Новая доктрина информационной безопасности Российской Федерации Защита информации. Инсайд. 2017. №1 (73). С.33-39.
[4] Овчаров, В.А. Метод диагностирования частично наблюдаемых сетевых объектов в задачах обеспечения информационной безопасности / В.А. Овчаров, В.В, Данилов, П.А. Романов // Материалы 25-й научно-технической конференции «Методы и технические средства обеспечения безопасности информации» / СПбПУ имени Петра Великого. – СПб., 2016. – С. 23-24.
[5] Овчаров, В.А. Контролируемый многомодельный доступ к среде беспроводных сетей передачи данных / В.А. Овчаров, Г.А. Аниканов, П.М. Коновальчик, В.М. Моргунов // Сборник трудов СПИИРАН. Выпуск 1. СПб.: 2015. - С. 246-268.
[6] Петренко, С.А., Ступин, Д.Д. Национальная система раннего предупреждения о компьютерном нападении. Под общей ред. С.Ф.Боева. Университет Иннополис. Санкт-Петербург, 2017.
[7] Ешенко, Р.А., Чуйко, О.И. Компьютерные преступления и методы борьбы с ними. Вестник Хабаровской государственной академии экономики и права. 2013. №2. С.27-33.
[8] Петренко, С.А., Петренко, А.С. Семантический анализ данных кибербезопасности. В сборнике Информационные системы и технологии в моделировании и управлении материалы всероссийской научно-практической конференции. Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ». 2016. С.82-86.
[9] Rid, T., Buchanan, B. Attributing cyber attacks. Journal of Strategic Studies. Volume 38, 2015 - Issue 1-2. DOI 10.1080/01402390.2014.977382.
[10] Попов, А.С. Методология расследования инцидентов информационной безопасности с использованием сетевого трафика. В книге: Научно-техническая конференция студентов, аспирантов, и молодых специалистов НИУ ВШЭ Материалы конференции. Московский институт электроники и математики Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики». 2014. С.164-165.
[11] Глебов, О. Автоматизация расследования инцидентов информационной безопасности в распределенной инфраструктуре. Защита информации. Инсайд. №4 (58). С.52-55.
[12] Бураков, В.В., Зеленцов, В.А., Потрясаев, С.А., Соколов, Б.В., Калинин, В.Н. Методологические и методические основы оценивания и выбора эффективных технологий автоматизированного управления активными подвижными объектами на основе комплексного моделирования. Наукоемкие технологии в космических исследованиях Земли. 2016. Т. 8. №3. С.6-12.
[13] Климов, С.М. Методы и модели противодействия компьютерным атакам / С.М.Климов – Люберцы.: КАТАЛИТ, 2008. – 316 с.
[14] Комаров, А.А. Система управления инцидентами информационной безопасности. Защита информации. Инсайд. 2012. №2 (44). С.64-67.
[15] Суханов, М. Компьютерная контркриминалистика: состояние и перспективы Защита информации. Инсайд. 2010. №6 (36). С.64-71.
[16] Марков, А.С. Летописи кибервойн и величайшего в истории перераспределения богатства // Вопросы кибербезопасности. 2016. – №1 (14). – С. 68-74.
[17] Марков, А.С. Организационно-технические проблемы защиты от целевых вредоносных программ типа Stuxnet / А.А.Фадин // Вопросы кибербезопасности. 2013. – №1 (1). – С. 28-36.
[18] Марков, А.С. Парадигма ограниченного стохастического контроля // Известия Института инженерной физики. 2012. Т.1. №23. – С.15-19.
[19] Марков, А.С. Руководящие указания по кибербезопасности в контексте ISO 27032 / В.Л.Цирлов // Вопросы кибербезопасности. 2014. – №1 (2). – С.28-35.

[20] Овчаров, В.А. Программа построения профилей контрагентов в формате .xml при проведении мониторинга информационно-телекоммуникационных сетей / В.А. Овчаров, В.В. Данилов, К.А. Багдасарян // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2017614571, 2017, Роспатент.
[21] Овчаров, В.А. Метод контролируемого многомодельного доступа к среде передачи беспроводных сетей / В.А. Овчаров, С.А. Акулов, В.С. Коротков // Сборник трудов института системного анализа РАН. Кн.1. Методы обеспечения информационной кибербезопасности. – М., 2012. – № 63. С. 77-87.
[22] Нестеренко, Е.И. Цели проведения расследований и шаги реагирования на инциденты информационной безопасности. Новая наука: Проблемы и перспективы. 2016. №2-1 (61). С.178-180.
[23] Овчаров, В.А. Моделирование субъектно-объектного взаимодействия в сетевых инфраструктурах. Сборник трудов СПИИРАН. Выпуск 2. СПб.: 2015.
[24] Овчаров, В.А. Метод адаптивного управления активным сетевым оборудованием телекоммуникационной сети в условиях компьютерных атак / Овчаров В.А., Акулов С.А., Еремеев М.А., Ломако А.Г., Свергун Н.В. // Информационное противодействие угрозам терроризма. 2012. №19. С. 136-146.
[25] Овчаров, В.А. Механизмы реализации типовых атак на компоненты беспроводных сетей передачи данных / Овчаров В.А., Акулов С.А., Ломако А.Г., Коротков В.С. // Сборник трудов института системного анализа РАН. Кн.1. Методы обеспечения информационной кибербезопасности. – М., 2012. – вып.63. – С. 87 – 98.
[26] Карягина, А.А. Организация процесса реагирования на инциденты нарушения информационной безопасности. Вопросы радиоэлектроники. 2010. Т.1. №3. С.180-187.
[27] Петренко С. А., Петренко А. С. Лекция 12. Перспективные задачи информационной безопасности // Интеллектуальные информационные радиофизические системы. Вводные лекции / [А. О. Армяков и др.; под ред. С. Ф. Боева, Д. Д. Ступина, А. А. Кочкарова]. – Москва: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2016. – С. 155–166.

СИНТЕЗ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ СОЦИОТЕХНИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ

С.В. Пилькевич, М.А. Еремеев, Д.Д. Ступин
ОАО «РТИ»
127083, Москва, ул. 8-го Марта, д. 10, стр. 1, Россия
DStupin@oaorti.ru
тел: +7 (495) 788-09-48, факс: +7 (495) 614-22-62

Ключевые слова: *система управления социотехническими системами, угрозы информационной безопасности, социальные сети, блоги, форумы и онлайн дневники.*

Abstract
This article describes an approach to the synthesis of the structural basis of architecture of system of management of socio-technical systems. Among the considered control objects are the modern means of mass communication, especially their socially important Internet segment: social network, blogs, forums and online diaries.

Введение

Задача разработки методов управления информационными воздействиями на пользователей социально значимого Интернет-сегмента с целью нейтрализации негативного влияния экстремистских формирований и недружественных стран представляется своевременной и актуальной.

1 Структурно-комбинаторный подход к анализу элементов системы управления

Как правило, модели систем управления представимы в виде*: уравнений состояния; матрицы передаточных функций; структурной схемы*. С точки зрения исследования вопросов синтеза структур систем управления наиболее целесообразным представляется остановиться на структурных схемах [1-4]. В самом общем случае на вход управляющего устройства, помимо задающего воздействия $X_З$, поступает также информация о текущем состоянии объекта в виде выходной величины $X_{ОУ}$ и о действующем на объект возмущении $F_{ср}$. Управляющее устройство перерабатывает получаемую информацию по определенному заложенному в нем алгоритму (закону). В результате на его выходе возникает управляющее воздействие [5-9]. Обезличивание связей, а также выделение в отдельный объект среды взаимодействия (Ср) позволило осуществить переход к графовому представлению $\{G\}$, а затем и матричной форме модели системы управления (СУ).

Пусть G - ориентированный граф без петель. Тогда количество дуг $M = n(n-1)$, где n – число вершин P графа G. Варианты расположения дуг для заданного множества вершин $P = \{УУ, ОУ, Ср\}$ образуют булеан, таким образом, так как $n = 3$, $|\{G\}| = 2^M = 64$. Исследование полученной модели $\langle G; P\rangle$ показало, что из 64 возможных вариантов структур, 32 могут быть отнесены собственно к системам управления (наличие связи УУ → ОУ, из них 16 относятся к классу адаптивных СУ, 8 - СУ с компенсацией по возмущению и 4 - автоматические СУ [4]. Таким образом, задание на полученном множестве $\{G\}$ ограничений $\{l\}$, обусловленных спецификой систем управления, разбивает его на классы эквивалентности G/l. Проиллюстрируем данное утверждение на примере. Пусть заданы следующие ограничения на синтезируемую структуру:

1) УУ реализует управляющие воздействия на ОУ;
2) существует обратная связь УУ с ОУ;
3) среда оказывает влияние на всех участников системы.

Тогда $|G/l| = 4$. Матрицы инциденций и соответствующие им графы представлены на рисунке 1.

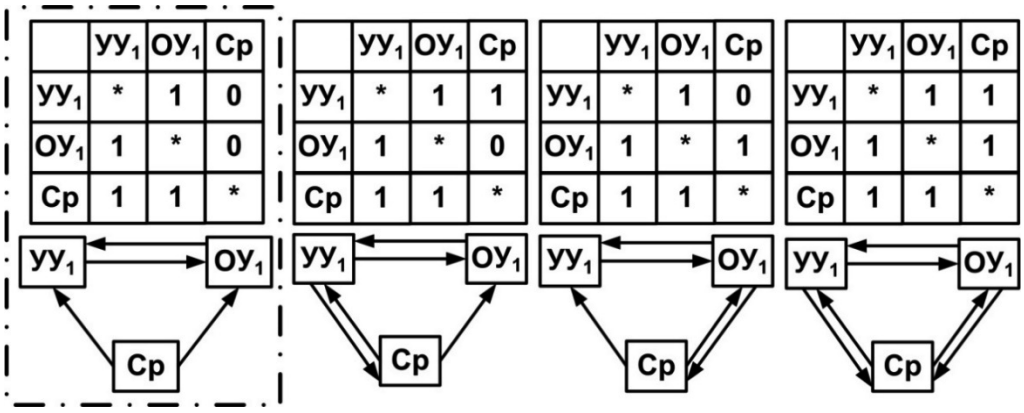


Рисунок 1 – Возможные варианты структурных схем систем управления

Среди эквивалентных схем, следуя принципу "бритвы Оккама" оставляем ту, в которой количество элементов (связей) минимально. Поименование связей, а также учёт команд X_3 приводит к "традиционной" структурной схеме СУ, а также отмеченной штрих-пунктиром на рисунке 1.

2 Адаптация системы управления к специфике социотехнических систем

Адаптация как процесс приспособления системы управления к специфическим свойствам объекта и окружающей среды имеет несколько иерархических уровней, соответствующих различным этапам управления сложным объектом [10-12]:

1) Параметрическая адаптация связана с коррекцией, подстройкой параметров модели и обусловлена наличием дрейфа характеристик управляемого объекта.
2) Структурная адаптация сопряжена с адаптацией структуры модели объекта управления и вызвана эволюционными процессами, присущими данному объекту. Указанное обстоятельство заставляет обращаться к методам структурной адаптации. Например, можно воспользоваться процедурой перехода от одной альтернативной модели к другой.
3) Адаптация объекта. Если и структурная адаптация модели не позволяет повысить эффективность функционирования (например, какие-то цели управления не реализуются в объекте), то следует адаптировать объект управления. Эта адаптация связана с изменением объекта, т. е. пересмотром границы, разделяющей объект и среду. При этом следует учитывать, что расширение объекта приводит, как правило, к повышению его управляемости, но требует дополнительных ресурсов для реализации управления (т. е. последующего структурного и параметрического синтеза).
4) Адаптация целей управления. В том случае, если приведенные меры неэффективны, следует обратиться к адаптации целей управления - определению нового множества целей, достижение которых обеспечивается созданной системой управления. В результате этого процесса фактически адаптируется субъект, который изменяет свои потребности так, чтобы они удовлетворялись путем реализации нового множества целей, достигаемых системой управления в данный период времени. Поэтому адаптацию целей следует считать

адаптацией потребностей субъекта, пользующегося услугами созданной системы управления и поставленного перед необходимостью такой адаптации [12-14].

Анализ объектов управления (пользовательской аудитории) в контексте рассмотрения вопросов информационного противодействия деятельности экстремистских и криминальных организаций и группировок посредством социальных сетей показал, что они относятся к классу сложных объектов управления – так называемых социотехнических систем (СТС). Такие объекты обладают рядом свойств, затрудняющих, и, как правило, делающих не возможным управление ими [5]: *уникальность; отсутствие формализуемой цели существования; отсутствие оптимальности; динамичность; неполнота описания; наличие свободы воли.* Последний аспект требует дополнительного рассмотрения. Наличие свободы воли или иначе, наличие свободы целеполагания предполагает, что в социотехнических системах люди являются элементами их структуры. В отличие от всех других элементов, образующих объекты управления, люди функционируют в них с учетом своих личных интересов и целей, которые могут значительно отличаться от того, что они должны делать с точки зрения ЛПР. Таким образом, системы, выступающие в качестве объектов управления, перестают относиться исключительно к классу технических (информационных). В результате сформировался новый слабо исследованный класс систем, характеризующихся уникальной совокупностью параметров.

Структурные схемы систем управления такими объектами имеют определенную специфику. Как правило, в силу различных причин, устройство управления не имеет возможности оказывать воздействие на объект управления. Точнее не на весь объект, а на некоторую его часть. Поэтому требуется произвести расширение (адаптацию в терминах [7]) объекта управления. Предлагается рассматривать два взаимосвязанных объекта $ОУ_1$ и $ОУ_2$, по отношению к одному из которых ($ОУ_1$) управляющее воздействие осуществить не представляется возможным, как следствие – только вариант косвенного (опосредованного) управления через $ОУ_2$ [4]. Результат подобного подхода применительно к СТС представлен на рисунке 2.

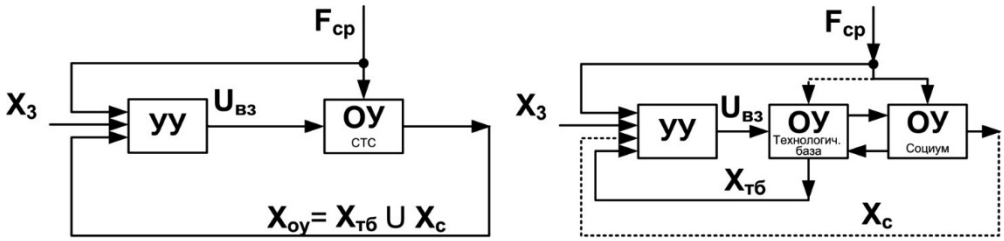


Рисунок 2 – Обобщенная и детализированная структурные схемы систем управления СТС

Усложнение данной модели представляется возможным за счет увеличения числа устройств управления.

3 Дуальное взаимодействие устройств управления с частично наблюдаемыми объектами управления

Проблематика противодействия враждебной информационной деятельности в кибернетическом пространстве при построении архитектуры системы косвенного управления СТС требует учета особенностей взаимодействия нескольких устройств управления (органов государственной власти и сопредельной стороны).

Структурная схема, представленная на рисунке 3, позволяет формализовать различную природу дуального взаимодействия устройств управления.

Целесообразно рассмотреть следующие варианты:

- цели, преследуемые ЛПР (X_3' и X_3'') различны, либо совпадают не в полной мере $X_3' \neq X_3''$. Например, призывы к вступлению в ряды бойцов псевдо халифата, пропаганда насилия и

вседозволенности, инициирование свержения законно избранного правительства с одной стороны и толерантное отношение к мигрантам, нивелирование национальных и культурных отличий – с другой;

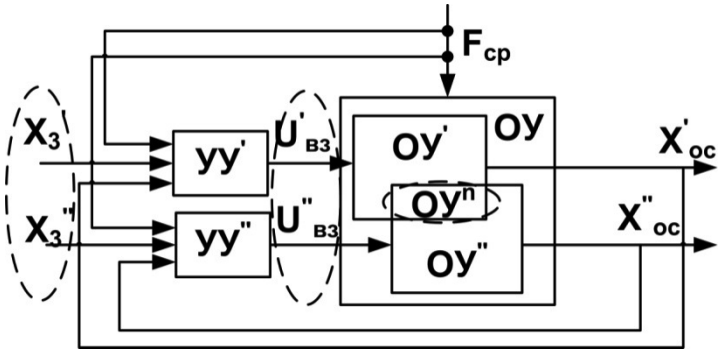
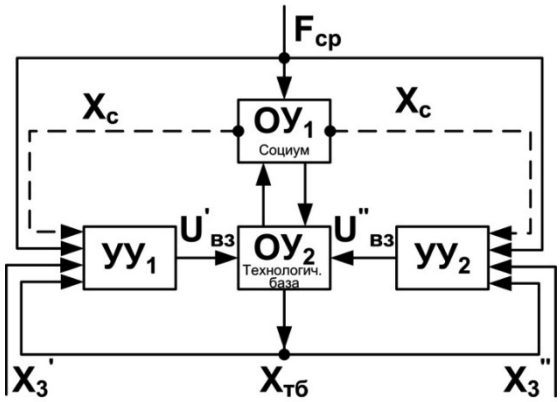


Рисунок 3 – Структурная схема системы управления, включающая взаимодействующие УУ

- управляющие воздействия ($U'_{\text{ВЗ}}$ и $U''_{\text{ВЗ}}$) переводят объект управления в недопустимые для взаимодействующих сторон (устройств управления) целевые состояния. Проведение мероприятий пропаганды и контрпропаганды, информирование и дезинформирование и проч.;
- необходимость получения монопольного доступа к объекту управления (ОУ^n), являющегося частью объекта, представляющего интерес для взаимодействующей стороны. Привлечение группы проправительственно настроенной молодежи к проведению резонансного флешмоба, байкотированию деятельности руководства учебных заведений и др.

Описанный ранее комбинаторный подход к анализу структур СУ применим и в данном случае (см. рисунок 4).



УУ_1 - Силы и средства органов государственной власти;
УУ_2 - Силы и средства сопредельной стороны;
ОУ_1 - Основной ОУ (доступ к которому затруднен или невозможен), лица лояльные или симпатизирующие деструктивным элементам;
ОУ_2 - Часть основного ОУ после его адаптации (доступ обеспечен), аккаунты пользователей социальных Интернет-ресурсов.

Рисунок 4 –Структурная схема системы управления в условиях взаимодействия

Очевидно, что осуществлять полный перебор нерационально, т.к. $P = \{\text{УУ}_1, \text{УУ}_2, \text{ОУ}_1, \text{ОУ}_2, \text{Ср}\} \Rightarrow n = |\{P\}| = 5, |\{G\}| = 2^{5(5-1)} = 1048576.$

Полное множество вариантов значительно сокращается за счет требований, предъявляемых к матрице инцидентности:

1) граф должен быть слабосвязным;
2) УУ должен быть связан хотя бы с одним ОУ. Кроме того, требуется формализовать сделанные ранее основные допущения:

- прямое воздействие $УУ_1$ и $УУ_2$ на $ОУ_1$ невозможно,
- существует обратная связь $УУ_1$ и $УУ_2$ с $ОУ_2$,
- обратная связь $УУ_1$ и $УУ_2$ с $ОУ_1$ отсутствует,
- существует взаимная связь $ОУ_1$ с $ОУ_2$,
- активная возмущающая среда воздействует на $УУ_1$, $УУ_2$ и $ОУ_1$, и не воздействует на $ОУ_2$.

Из 256 возможных структур (с учетом накладываемых ограничений) всего 48 относятся к СУ. В случае ослабления допущения "2" могут быть рассмотрены варианты отсутствия обратной связи с $ОУ_2$, хотя бы у одного из УУ, т.е. имеет место компенсация для одного из УУ (применительно к противодействию речь идет об обороне). Если рассматривается структура со взаимной связью $УУ_1$ и $УУ_2$, то есть имеет место повышение порядка астатизма следящей системы, то уместно вести речь о теоретико-игровой постановке задачи исследования СУ, описываемых структурами данного класса [4].

Увеличение числа устройств управления приводит к рассмотрению различных видов их взаимодействия. В рамках настоящей статьи предлагается заимствовать градацию уровней конфронтации взаимодействующих сторон из работ [2, 3]: от содействия, через нейтралитет к противодействию. Различая промежуточные стадии содействия – *симбиоз, содружество, коалиция и противодействия* – нестрогий и строгий *конфликт,* а также *антагонизм*. Наличие одного устройства управления представляется как частный случай данной схемы и обозначается как "единство".

Заключение

Необходимость обеспечения обратной связи с адаптированным ОУ, а также наличие активной возмущающей среды требует развитой подсистемы мониторинга, ориентированной как на информационное пространство, создаваемое новостными СМИ, та и на блогосферу, комментарии и мнения, присутствующие в социально значимом Интернет-сегменте.

Косвенный характер управления, как следствие невозможности прямого воздействия, должен быть реализован в форме информационного управления. Это требует подсистемы поддержки принятия решений, необходимой при разработке информационных сообщений, целью которых является противодействие деструктивной деятельности в сети Интернет.

Наличие взаимосвязи пользователей со своими аккаунтами $\left(ОУ_1 \leftrightarrow ОУ_2\right)$, а также сложных взаимодействий внутри $ОУ_1$, носящих социальный характер, приводит к необходимости повышения уровня наблюдаемости ОУ, который не может достигнуть требуемой величины посредством использования подсистемы мониторинга, а должен базироваться на мощной инструментальной среде моделирования процессов когнитивно-коммуникативной деятельности СТС.

Обобщающим и взаимоувязывающим элементом рассматриваемой архитектуры должно стать единое централизованное хранилище данных и знаний, обогащенное научно-методическим аппаратом, придающим СУ свойство интеллектуальности, т.е. способности к интерпретации, планированию и генерации альтернативных решений, что позволит увеличить объем порожденных экспертных (достоверных и/или правдоподобных) знаний и реализовать выработку множества потенциальных решений по управлению.

Благодарности

Работа выполнена при поддержке грантов: гранта РФФИ (№ 16-29-04268 офи_м), гранта Президента РФ (НШ-6831.2016.8).

Список литературы

[1] Бурков В.Н. Введение в теорию управления организационными системами / В.Н. Бурков, Н.А. Коргин, Д.А. Новиков / под ред. чл.-корр. РАН Д.А. Новикова. – М.: Либроком, 2009. – 264 с.

[2] Дружинин В.В. Основы военной системотехники / В.В. Дружинин, Д.С. Конторов – М.: МО СССР, 1983. – 224 с.

[3] Дружинин В.В. Введение в теорию конфликта / В.В. Дружинин, Д.С. Конторов, М.Д. Конторов – М.: Радио и связь, 1989. – 288 с.

[4] Петренко С.А., Ступин Д.Д. Национальная система раннего предупреждения о компьютерном нападении: научная монография / под общей редакцией С. Ф. Боева. Университет Иннополис. – Иннополис: «Издательский Дом «Афина», 2017. – 440 с.

[5] Петренко С. А., Петренко А. С. Новая Доктрина информационной безопасности Российской Федерации // Защита информации. Инсайд. – 2017. – № 1 (73) . – С. 33–39.

[6] Петренко А. С., Петренко С. А. Первые межгосударственные киберучения стран СНГ: «Кибер-Антитеррор-2016» // Защита информации. Инсайд. – 2016. – № 5 (71). С. 57–63.

[7] Петренко А. С., Бугаев И. А. Петренко С.А. Система управления: мастер-данными СОПКА // Защита информации. Инсайд. – 2016. – № 5 (71). – С. 37–43.

[8] Петренко А. С., Петренко С. А. Технологии больших данных (Big Data) в области информационной безопасности // Защита информации. Инсайд. – 2016. – № 4 (70). – С. 82–88.

[9] Петренко С. А., Курбатов В. А., Бугаев И. А., Петренко А. С. Когнитивная система раннего предупреждения о компьютерном нападении// Защита информации. Инсайд. – 2016. – № 3 (69). – С. 74–82.

[10] Петренко С. А., Петренко А. А. Онтология кибербезопасности самовосстанавливающихся Smart Grid // Защита информации. Инсайд. – 2016. – № 2 (68). –С. 12–24.

[11] Поспелов Д.А. Ситуационное управление: теория и практика / Д.А. Поспелов – М.: Наука.- Гл. ред. физ.-мат. лит., 1986.– 288 с.

[12] Примакин А.И. Противодействие террористическим и экстремистским организациям в сети Интернет / А.И. Примакин, В.И. Куватов, Д.И. Якушев // Вестник Санкт- Петербургского университета МВД России. – 2015. – № 1(65). – С. 91–94.

[13] Растригин Л.А. Адаптация сложных систем. Методы и приложения / Л.А. Растригин – Рига: Зинатне, 1981. – 375 с.

[14] Юревич Е.И. Теория автоматического управления / Е.И. Юревич – М.: Энергия, 1969. – 375 с.

МЕТОД ПОРОЖДЕНИЯ ЗНАНИЙ НА ОСНОВЕ АБДУКТИВНОГО ВЫВОДА ПО АНАЛОГИИ

Т.Р. Сабиров, Д.Н. Бирюков, А.Г. Ломако
ОАО «РТИ»
127083, Москва, ул. 8-го Марта, д. 10, стр. 1, Россия
DStupin@oaorti.ru
тел: +7 (495) 788-09-48, факс: +7 (495) 614-22-62

Ключевые слова: *информационная безопасность, угрозы информационной безопасности, порождение знаний, защищенность информационной системы, абдуктивный вывод по аналогии.*

Abstract
It is proposed to empower the intelligent system with ability of the abductive generation of new knowledge based on conclusions by analogy. With such an ability, it will gain the ability to be trained on precedents, taking place in different areas, transferring knowledge about the phenomena observed in one subject area to another.

Введение

В статье предложено наделить интеллектуальную систему способностью к абдуктивному порождению новых знаний, основанному на выводах по аналогии. Обладая указанной способностью, она сможет обучаться на прецедентах, имеющих место в различных проблемных областях, перенося знания о явлениях, наблюдаемых в одной проблемной области, в другую. При этом важным является тот факт, что исходя из решаемой задачи, установление аналогий может осуществляться путём нахождения подобных структур, инвариантных свойств и близких действий, описанных в многомодельной концептуально-онтологической системе знаний. Установление семантического подобия наблюдаемых и формируемых интеллектуальной системой спецификаций базируется на возможности гиромата в общем случае осуществлять переход от аппроксимирующих концептов, принадлежащих одной проблемной области (контексту), через аппроксимируемые (более общие, абстрактные) к аппроксимирующим, но принадлежащим другой проблемной области (контексту).

1 Синтез спецификаций структур процессов путём абдуктивного вывода с установлением аналогии с ранее промоделированными процессами.

Для обеспечения возможности синтеза гироматом [1 – 3] сценариев упреждающего поведения в конфликте [1], может оказаться весьма полезным механизм абдуктивного порождения новых знаний, основанный на выводах по аналогии (для обнаружения потенциально возможных «Задач» и ассоциированных с ними структур «Решений») [1]. Для реализации указанного механизма интеллектуальная система (ИС) должна обладать способностью накапливать опыт, полученный в ходе наблюдения за имевшими место успешными процессами противодействия, и рекомендовать сценарии предотвращения возможных негативных последствий, устанавливая аналогичность наблюдаемых явлений и имеющихся решений. Установление правдоподобных аналогий как отдельных явлений, наблюдаемых в ходе конфликта, так и фрагментов специфицированных процессов, предлагается осуществлять в ходе абдуктивного синтеза, способностью к проведению которого должен обладать «Синтезатор» [1, 4, 5] интеллектуальной системы. Сам же «Синтезатор» работает со знаниями, представленными в виде онтологии, построенной с учётом требований, изложенных в работе [6].

Предлагаемый метод абдуктивного синтеза функциональных типов сценариев в многомодельной пополняемой системе знаний состоит из одного подготовительного (нулевого) и пяти основных этапов. Основными мероприятиями подготовительного этапа является сбор информации по результатам наблюдений и формирование/пополнение проблемного комплекса, содержащего знания из рассматриваемых предметных областей и описания решаемых ИС задач. На выходе подготовительного этапа должна быть сформирована «Задача», требующая решения. Чем полнее и точнее сформулирована «Задача», тем потенциально более точно и ассоциируемое по структуре «Решение» сможет получить гиромат [1]. Задача же в памяти гиромата в конечном итоге представляется в виде определённого фрагмента онтологии [6]. Чем больше концептов привлекается для описания «Задачи», тем большее количество разнотипных концептов будет «вспомнено» гироматом в процессе поиска формы её «Решений». В работах по психологии мышления отмечается, что способы решения (интеллектуальные операции) вытекают непосредственно из структуры общей задачи (абстрагируются из ее содержания). В ходе выполнения основных этапов метода осуществляется поиск «Решений» выявленной «Задачи» посредством установления аналогии.

На первом этапе производится формализация проблемного комплекса. При этом в проблемный комплекс помещаются не только данные, полученные по результатам наблюдения, но и основные (наиболее доступные/«яркие») знания из той проблемной области, к которой относится «Задача». В итоге проблемный комплекс представляется в виде фрагмента онтологии, состоящего из совокупности взаимосвязанных “Семантических Звеньев” (СЗ – два концепта, связанных ролью), типы которых приведены в работе [6]. Понятие “Семантическое Звено” введено для ограничения понятия “RDF-триплет”, поскольку СЗ формируются из ограниченного перечня типов концептов и типов ролей [6]. Так, все концепты, представленные в онтологии, должны быть частично упорядочены отношением аппроксимации [6] и принадлежать одному из множеств {“Объекты”–“О”, “Свойства” – “Р”, “Действия” – “А”}. Описание используемых для формирования СЗ ролей приведено в таблице 1.

Таблица 1 – Основные типы семантических звеньев для онтологий

Обозначение СЗ	**Описание СЗ**
$F1_1$: $[P \to P]$	Свойство аппроксимирует Свойство
$F1_2$: $[O \to O]$	Объект аппроксимирует Объект
$F1_3$: $[A \to A]$	Действие аппроксимирует Действие
$F2$: $[O \to P]$	Объект обладает Свойством
$F3$: $[P \to A]$	Свойство порождает способность к Действию
$F4$: $[A \to P]$	Действие пригодно для воздействия на Свойство
$F5$: $[A \to A]$	Действие следует за Действием
$F6$: $[O \to O]$	Объект состоит из Объекта
$F7$: $[A \to A]$	Действие состоит из Действия
$F8$: $[O \to O]$	Объект Продуцирует Объект

Далее, при возможности, осуществляется пополнение онтологии согласно подходу, основанному на положениях, изложенных в работах [6,7], и заключающемуся в порождении новых

знаний (как новых ролей, так и новых концептов) и встраивании их в уже имеющуюся онтологию.

На втором этапе осуществляется поиск решения «Задачи» в рамках рассматриваемого проблемного комплекса. Если интеллектуальная система, ранее уже встречалась с подобной «Задачей» и находила её «Решение», то это «Решение» находится в памяти гиромата. При его отсутствии уточняются контекстные условия существования «Задачи» и изменяется фрагмент онтологии, отражающий проблемный комплекс. Далее выполняется обход по «Задачам» в уточнённом проблемном комплексе, где потенциально могут быть правдоподобные (близкие по структуре) аналогичные «Задачи» и ассоциированные с ними «Решения». Затем осуществляется поиск «Решения» «Задачи» на уровне аппроксимируемых объектов, т.е. осуществляется поиск потенциального «Решения» в типах. И, наконец, осуществляется нисходящее распределение ассоциативного сигнала от аппроксимируемых концептов к аппроксимирующим концептам [6], но находящимся в проблемной области решаемой «Задачи». Решение может отсутствовать и может быть неединственным. Если конкретное «Решение» в проблемной области «Задачи» отсутствует, то предлагается спецификация порождённого процесса в терминах аппроксимируемых концептов, что даст возможность в дальнейшем производить уточнение полученного «Решения». На заключительном этапе порождаются потенциальные «Решения», найденные в ходе распространения ассоциативных сигналов по ассоциативной ресурсной сети [8-12].

Ассоциативная ресурсная сеть представляется ориентированным графом с переменной топологией [8]. Вершины соответствуют рассматриваемым сущностям, ребра – ассоциативным связям между ними. Предложенная модель хорошо согласуется с онтологической моделью представления знаний. Каждая сущность, представленная в ассоциативной ресурсной сети, обладает яркостью. Чем больше яркость вершины, тем она «виднее» – доступнее при поиске. Ребра обладают ограниченными пропускными способностями. Чем чаще две вершины участвуют в запросе совместно, тем больше пропускная способность ребер их связывающих. Чем больше пропускная способность ребра между двумя вершинами, тем больше сила ассоциации между соответствующими сущностями (вершинами). В работе [9] ассоциативную ресурсную сеть предложено описывать как ориентированный граф, задаваемый через множество вершин ассоциативной ресурсной сети, однозначно соотнесённых с концептами онтологии, и множество направленных рёбер. Таким образом, ассоциативная ресурсная сеть функционирует в неразрывной связи с онтологией, хранящейся в базе знаний интеллектуальной системы, а каждое обращение к знаниям, представленным в онтологии, и их обработка приводит к изменению параметров ассоциативной ресурсной сети. Далее найденные «Решения» должны быть проверены, поэтому они передаются на второй этап, где проверяются в рамках имеющегося проблемного комплекса в целевой проблемной области. Полученные в результате выводов по аналогии «Задачи» и «Решения» могут быть в последующем предварительно оценены, для этого необходимо оценить степень подобия структур обнаруженных процессов, установить инвариантности свойств взаимодействующих объектов и уточнить меру близости действий, выполняемых в рамках допустимой аналогии процессов. Далее механизмы абдуктивного синтеза продемонстрированы на примере.

2 Вывод по аналогии

Принципиальная возможность осуществления выводов по аналогии заложена в самой организации хранения данных. Все понятия, представленные в онтологии, частично упорядочены [7,10,11], а следовательно, при необходимости можно осуществить переход от видового понятия одной предметной/проблемной области (ПрО) через родовое к видовому, но принадлежащему другой ПрО. А если учесть, что концепты могут быть трех типов [6]: <Объекты>, <Свойства> и <Действия>, то можно говорить о поиске подобных структур, инвариантных

свойств и близких действий. Для вычисления степени «аналогичности» предлагается осуществлять расчёт меры семантической близости. Использование подсистемы, способной измерять значения показателей семантической близости понятий, представленных в онтологии, а соответственно и находить семантически близкие понятия, должно позволить:

- расширять запросы, формируемые операторами к ИС и/или системе поддержки принятия решений, построенной на её основе;
- измерять близость понятий, найденных ИС по аналогии и принадлежащих к разным системам концептуализации;
- предлагать операторам (лицам принимающим решения) ранжированный перечень результатов, полученных по итогам обработки поступивших от них запросов.

На данный момент существует несколько типов мер близости понятий:

- меры, пригодные для определения близости между иерархически упорядоченными понятиями (близость двух понятий оценивается по положению вершин, соответствующих этим понятиям, в иерархических онтологических структурах – главным образом в таксономической иерархии);
- меры, способные учесть неиерархические отношения между понятиями (оценка близости понятий, использующая неиерархические («горизонтальные») отношения, опирается на предположение, что если два понятия имеют одно и то же отношение с третьим, то они ближе, чем два понятия, которые имеют это же отношение с различными понятиями, т.е. близость двух понятий зависит от близости понятий, с которыми они имеют отношения);
- меры, учитывающие значения атрибутов (атрибутивная мера близости основана на близости значений общих атрибутов понятий);
- гибридные меры (являются свёрткой вышеперечисленных мер близости понятий, при этом важную роль играют значения различных весовых коэффициентов, используемых в выражениях свёртки).

Достаточно полный обзор и классификация существующих мер семантической близости понятий и отношений в онтологиях приведён в работе [12-14]. Предложенный же в работах [6, 7] подход к представлению знаний в онтологии позволяет взглянуть на проблему вычисления меры семантической близости понятий и формируемых с помощью их спецификаций с более единых позиций, так как абсолютно все концепты в онтологии имеют своё конкретное место в соответствующем частично упорядоченном множестве (в решётке «Объектов», «Свойств» или «Действий»). Ввиду этого предлагается рассмотреть применимость только тех метрик, из приведенных в работе [12-15], которые наиболее пригодны для оценивания семантической близости понятий, представленных в онтологии согласно правил, описанных в работах [16, 17].

Возвращаясь к иллюстративному примеру, рассматриваемому выше, можно выделить фрагмент онтологии, на основании которого гироматом может быть выдвинута гипотеза о типе проводимого аудита системы «С_3» (см. рисунок 1).

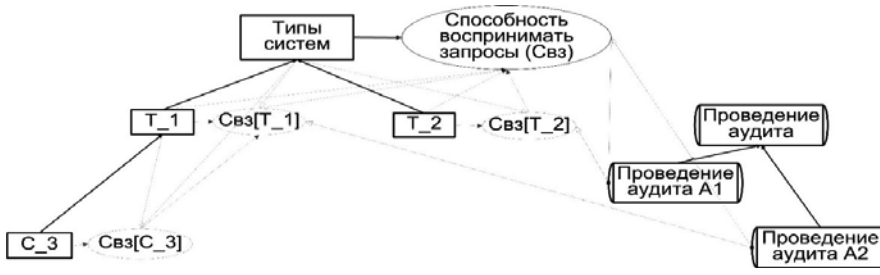


Рисунок 1 – Фрагмент онтологии, участвующий в формировании «Решения»

Выделим элементы семантической сети, участвующие в расчете семантической близости между понятиями «С_3» и «Проведение аудита А2», а также «С_3» и «Проведение аудита А1» (см. Таблицу 2).

Проведённые расчёты позволяют сделать вывод о том, что исходя из накопленного интеллектуальной системой опыта, для тестирования системы «С_3» рекомендуется применить аудит «А2».

Таблица 2 – Структурные элементы семантической сети, участвующие в расчете меры семантической близости

№	Рассматриваемые пути в семантической сети	S_2
1	С_3 ->Свз[С_3]->Свз[Т_1]->Способность воспринимать запросы(Свз)->Т	**0,57**
	Проведение аудита А2->Свз[Т_1]->Способность воспринимать запросы (Свз)->Т	
2	С_3 ->Свз[С_3]->Свз[Т_1]->Способность воспринимать запросы (Свз)->Т	**0,29**
	Проведение аудита А1->Свз[Т_2]->Способность воспринимать запросы (Свз)->Т	

Следует отдельно отметить, что сформированная рекомендация основывается не только на фактах непосредственно внесённых экспертами, но и на порождённых гироматом знаниях, представленных как в виде выведенных им ролей, так и сформированных концептов.

Заключение

В основе разработанного метода абдуктивного синтеза структур функциональных типов сценариев в многомодельной пополняемой системе знаний лежит возможность интеллектуальной системы на основе знаний об имевших место прецедентах осуществлять вывод близких решений по аналогии.

Проведенный анализ широко применяемых в настоящее время машин логического вывода (FaCT++, HermiT, Pellet и др.) и дескрипционных логик, реализованных в них [17 – 21], показал, что они неспособны абдуктивно порождать новые знания, осуществляя вывод по аналогии.

Установление семантического подобия наблюдаемых и формируемых ИС спецификаций базируется на возможности гирома́та в общем случае осуществлять переход от аппроксимирующих концептов (а следовательно и процессов), принадлежащих одной проблемной области (контексту), через аппроксимируемые (более общие, абстрактные) к аппроксимирующим, но принадлежащим другой проблемной области (контексту). Ввиду того, что в результате поиска по аналогии может быть порождено множество «Решений», так как в ряде случаев «спуск» по частично упорядоченному множеству концептов (от аппроксимируемых к аппроксимирующим) может приводить к помещению в фокус внимания целого ряда концептов, находящихся на одном уровне в частично упорядоченном множестве (т.е. несравнимых между собой), предложено осуществлять расчёт мер семантической близости понятий, участвующих в формировании искомых спецификаций, а также понятий, связанных с ними. Если же и в результате расчёта и учёта мер семантической близости на выходе гирома́т предлагает альтернативные спецификации, то для их упорядочивания в выбранной шкале, предлагается учесть параметры ассоциативной ресурсной сети, функционирующей поверх онтологии [9]. Ассоциативная ресурсная сеть позволяет учитывать опыт, накопленный интеллектуальной системой на предыдущих этапах её функционирования, путём изменения яркости своих вершин и пропускных способностей рёбер: те концепты и связи (роли) между ними, которые в большей мере подкрепляются в ходе функционирования интеллектуальной системы, в итоге становятся наиболее доступными при интеллектуальном поиске. Таким образом, в общем случае, сформированная (найденная) спецификация, состоящая из понятий, с которыми связаны наиболее яркие вершины ассоциативной ресурсной сети, будет предложена в первую очередь.

Благодарности

Работа выполнена при поддержке грантов: гранта РФФИ (№ 16-29-04268 офи_м), гранта Президента РФ (НШ-6831.2016.8).

Список литературы

[1] Бирюков Д.Н., Ломако А.Г., Ростовцев Ю.Г. Облик антиципирующих систем предотвращения рисков реализации киберугроз // Труды СПИИРАН. – 2015. – № 2(39). – С. 5-25.
[2] Гаазе-Рапопорт М.Г. От амебы до робота: модели поведения. М.: Наука, 1987. – 286 с.
[3] Поспелов Д.А. Мышление и автоматы. М.: Советское радио, 1972. – 224 с.
[4] Финн В.К. Об интеллектуальном анализе данных // Новости Искусственного интеллекта. – 2004. – № 3. – С. 3-18.
[5] Финн В.К. Искусственный интеллект: Идейная база и основной продукт // Труды 9-ой национальной конференции по искусственному интеллекту. М.:Физматлит. – 2004. – Т. 1. – С. 11–20.
[6] Бирюков Д.Н., Ломако А.Г. Денотационная семантика контекстов знаний при онтологическом моделировании предметных областей конфликта // Труды СПИИРАН. – 2015. – №5(42). – С. 155-179.
[7] Петренко С.А., Ступин Д.Д. Национальная система раннего предупреждения о компьютерном нападении: научная монография / под общей редакцией С. Ф. Боева. Университет Иннополис. – Иннополис: «Издательский Дом «Афина», 2017. – 440 с.
[8] Петренко С. А., Петренко А. С. Новая Доктрина информационной безопасности Российской Федерации // Защита информации. Инсайд. – 2017. – № 1 (73) . – С. 33–39.
[9] Петренко С. А., Шамсутдинов Т. И., Петренко А. С. Научно-технические задачи развития ситуационных центров в Российской Федерации // Защита информации. Инсайд. – 2016. – № 6 (72) . – С. 37–43.
[10] Петренко А. С., Петренко С. А. Проектирование корпоративного сегмента СОПКА // Защита информации. Инсайд. – 2016. – № 6 (72). – С. 47–52.
[11] Петренко А. С., Петренко С. А. Первые межгосударственные киберучения стран СНГ: «Кибер-Антитеррор-2016» // Защита информации. Инсайд. – 2016. – № 5 (71). С. 57–63.
[12] Петренко А. С., Бугаев И. А. Петренко С.А. Система управления: мастер-данными СОПКА // Защита информации. Инсайд. – 2016. – № 5 (71). – С. 37–43.
[13] Петренко А. С., Петренко С. А. Технологии больших данных (Big Data) в области информационной безопасности // Защита информации. Инсайд. – 2016. – № 4 (70). – С. 82–88.
[14] Петренко С. А., Курбатов В. А., Бугаев И. А., Петренко А. С. Когнитивная система раннего предупреждения о компьютерном нападении// Защита информации. Инсайд. – 2016. – № 3 (69). – С. 74–82.
[15] Петренко С. А., Петренко А. А. Онтология кибербезопасности самовосстанавливающихся Smart Grid // Защита информации. Инсайд. – 2016. – № 2 (68). –С. 12–24.
[16] Петренко А. А., Петренко С. А. Способ повышения устойчивости LTE-сети в условиях деструктивных кибератак // Вопросы кибербезопасности. – 2015. – № 2 (10). –С. 36–42.
[17] Петренко А. А., Петренко С. А. Киберучения: методические рекомендации ENISA // Вопросы кибербезопасности. 2015. – № 3 (11).– С. 2–14.
[18] Петренко А. А., Петренко С. А. НИОКР агенства DARPA в области кибербезопасности // Вопросы кибербезопасности. – 2015. – № 4 (12). – С. 2–22.

БЕЗОПАСНЫЙ ГЕНЕРАТОР Q-ЗНАЧНЫХ ПСЕВДОСЛУЧАЙНЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ

Д.В. Самойленко, М.А. Еремеев, О.А. Финько
ОАО «РТИ»
127083, Москва, ул. 8-го Марта, д. 10, стр. 1, Россия
DStupin@oaorti.ru
тел: +7 (495) 788-09-48, факс: +7 (495) 614-22-62

Ключевые слова: *робототехнические комплексы, средства криптографической защиты информации, линейный рекуррентный регистр сдвига с обратной связью, контроль по модулю, отказоустойчивость.*

Abstract
The proposed option improve the performance and security strength of the formation of the nodes of the functioning of the m-digit pseudo-random sequence of cryptographic means for the boards information, functioning in the conditions of purposeful destabilizing influences.

Введение

На сегодняшний день известно, что информация, циркулирующая по каналам радиосвязи робототехнических комплексов (РТК) подлежит криптографической защите, что обусловлено необходимостью исключения навязывания ложной информации (имитация злоумышленника) и определения ее истинного содержания [1]. Так средства криптографической защиты информации (СКЗИ) РТК и в частности их «ключевая» подсистема − генераторы псевдослучайной последовательности, в современных условиях функционирования, обусловленных лавинными потоками обрабатываемой информации должны обладать высокой производительностью (количество элементов псевдослучайной последовательности (ПСП), генерируемой в единицу времени на элементной базе с фиксированным быстродействием) [2-4]. Известно, что при прочих равных условиях за счет уменьшения количества разрядов, необходимых для представления чисел с разрядной точностью, быстродействие цифровых устройств генерации ПСП на q-значных элементах существенно увеличивается по сравнению с устройствами генерации ПСП на двоичных элементах [5-7]. При этом ПСП получаемые над $GF(q)$ $(q > 2)$, обладают более широким спектром уникальных свойств по сравнению с двоичной ПСП [8]. Поэтому допустимо рассматривать их как основу для формирования шифрующей гаммы перспективных СКЗИ РТК.

1 Линейные рекуррентные регистры сдвига с обратной связью над $GF(q)$

Получение q-значных ПСП наиболее эффективным и апробированным способом осуществляется с помощью переключательных схем специального вида, называемых линейными рекуррентными регистрами сдвига с обратной связью (ЛРРС) [2, 5-7].

Построение ЛРРС над $GF(q)$ осуществляется по заданному характеристическому многочлену:

$$P(z) = z^r \oplus p_{r-1}z^{r-1} \oplus p_{r-2}z^{r-2} \oplus \ldots \oplus p_0 \pmod q,$$

где $P(z) \in GF(q)$, r – степень полинома $P(z)$, $r \in N$, и построенному в соответствии с ним однородному рекуррентному уравнению

$$s_{n+r} = p_{r-1}s_{n+r-1} \oplus p_{r-2}s_{n+r-2} \oplus \ldots \oplus p_1 s_{n+1} \oplus p_0 s_n \pmod{q},$$

где $n = 0, 1, 2, \ldots;\ p_j \in GF(q),\ 0 \le j \le r-1$, $\oplus$ – символ сложения по $(\mathrm{mod}\ q)$.

На рисунке 1 представлена обобщенная схема ЛРРС над $GF(q)$, генерирующего q-значную ПСП.

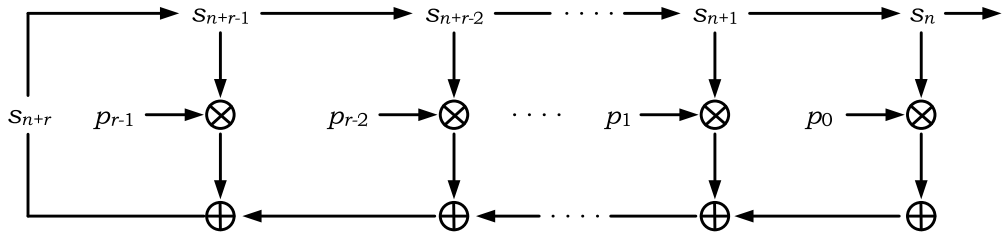


Рисунок 1 – Общий вид ЛРРС над $GF(q)$

Как известно, к ПСП предъявляются следующие требования [7]:

- функция автокорреляции последовательностей должна иметь низкий уровень боковых лепестков по отношению к главному;
- функция взаимной корреляции последовательностей должна иметь низкий уровень;
- апериодическая функция взаимной корреляции последовательностей должна иметь низкий уровень;
- число кодовых последовательностей, выбранных для реализации должно быть большим и допускать при необходимости свое увеличение;
- используемые последовательности не должны допускать самовосстановления

В реальных условиях ЛРРС над $GF(q)$ подвержены ряду независимых воздействий приводящих к возникновению ошибок в обрабатываемой информации. Прежде всего, основной причиной возникновения ошибок в таких устройствах являются флуктуационные колебания, связанные с изменением температуры, величины нагрузки, изменение значений питающих напряжений [8]. Вместе с тем известны и целенаправленные дестабилизирующие воздействия [8, 9], среди которых наиболее опасными являются воздействия, основанные на генерации аппаратных ошибок функционирования узлов формирования q-значной ПСП, направленных на создание условий для модификации q-значной ПСП или повторной ее генерации. Таким образом, дестабилизирующие воздействия создают условия для возникновения массовых сбоев электронных компонентов РТК и как следствие снижают быстродействие СКЗИ, а так же уровень безопасности их функционирования.

В настоящее время для обеспечения безошибочности производимых преобразований над ПСП разработано достаточное множество методов, наиболее распространенными из которых являются структурные методы обнаружения ошибок: поэлементное резервирование, дублирование, избыточная логика и др., которые обеспечивают достаточную обнаруживающую способность, однако при этом требуют больших аппаратурных затрат [9–12].

Схема, поясняющая принцип формирования l-го блока q-значной ПСП $\mathbf{S}_l$ представлена на рисунке 2.

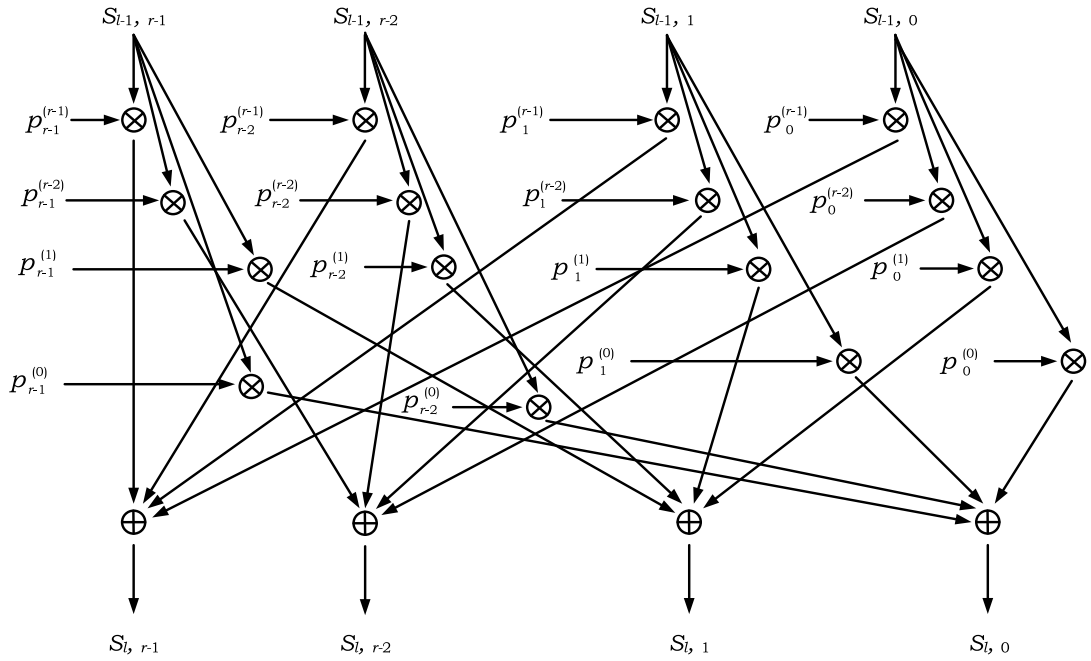


Рисунок 2 – Структура формирования l-го блока ПСП $\mathbf{S}_l$

2 Контроль по $\mathrm{mod}\, q$

В настоящее время один из простейших способов контроля и обнаружения ошибок в *l*-м блоке *q*-значной ПСП $\mathbf{S}_l$ заключается в суммировании элементов *l*-го блока ПСП по $\mathrm{mod}\, q$ и добавлении в последовательность одного контрольного элемента с тем, чтобы сумма элементов сформированной последовательности равнялась некоторому эталонному числу ς, например 0.

Для получения *l*-го блока *q*-значной ПСП $\mathbf{S}_l$ с одним контрольным элементом сформируем образующую матрицу $\mathbf{G}_{\text{обр}}$ из информационной, путем добавления в (5) контрольных цифр, сформированных в соответствии с выражением:

$$-a_i \equiv \sum_{j=0}^{r-1} p_i^{(j)} \pmod{q},$$

$$a_i \in GF(q),\ i = 0,\ 1,\ldots,\ r-1.$$

Тогда образующая матрица $\mathbf{G}_{\text{обр}}$ примет вид:

$$(1)\quad \mathbf{G}_{\text{обр}} = \begin{Vmatrix} p_{r-1}^{(r-1)} & p_{r-2}^{(r-1)} & \dots & p_1^{(r-1)} & p_0^{(r-1)} \\ p_{r-1}^{(r-2)} & p_{r-2}^{(r-2)} & \dots & p_1^{(r-2)} & p_0^{(r-2)} \\ \vdots & \vdots & & \vdots & \vdots \\ p_{r-1}^{(1)} & p_{r-2}^{(1)} & \dots & p_1^{(1)} & p_0^{(1)} \\ p_{r-1}^{(0)} & p_{r-2}^{(0)} & \dots & p_1^{(0)} & p_0^{(0)} \\ a_{r-1} & a_{r-2} & \dots & a_1 & a_0 \end{Vmatrix}.$$

Соответственно l-й блок q-значной ПСП с контрольным элементом (цифрой)

$$\mathbf{S}_l^* = \left\| s_{l,r-1} \;\; s_{l,r-2} \;\; \dots \;\; s_{l,1} \;\; s_{l,0} \;\; s_l^* \right\|^{\mathrm{T}}$$

вычисляется как

$$\mathbf{S}_l^* = \mathbf{G}_{\text{обр}} \mathbf{S}_{l-1}.$$

Процедура контроля l-го блока q-значной ПСП $\mathbf{S}_l^*$ осуществляется в соответствии с выражением:

$$(2)\quad \varsigma_l^* \equiv \sum_{j=0}^{r-1} s_{l,j} \oplus s_l^* \pmod q,$$

при этом выполнение условия $\varsigma_l^* = \varsigma$ свидетельствует об отсутствии обнаруживаемых искажений, в противном случае l-й блок q-значной ПСП $\mathbf{S}_l^*$ содержит ошибку.

Рассмотрим построение q=3 ЛРРС, генерирующего 3-значную ПСП, задаваемую характеристическим уравнением: $s_{k+3} = 2s_{k+2} \oplus s_k \mod 3$ и начальным заполнением: $s_0 = 0,\ s_1 = 1,\ s_2 = 2.$

Соответствующий характеристический многочлен имеет вид:

$$(3)\quad P(z) = z^3 + 2z^2 + 1.$$

Тогда система характеристических уравнений для участка ПСП длинной три элемента примет вид:

$$(4)\quad \begin{cases} s_3 = 2s_2 \oplus s_0 \pmod 3, \\ s_4 = 2s_3 \oplus s_1 \pmod 3, \\ s_5 = 2s_4 \oplus s_2 \pmod 3, \end{cases}$$

Далее запишем систему характеристических уравнений как систему с правыми частями равенств, выраженными через заданные начальные условия:

$$(5)\quad \begin{cases} s_3 = 2s_2 \oplus s_0 \pmod 3, \\ s_4 = s_2 \oplus s_1 \oplus 2s_0 \pmod 3, \\ s_5 = 2s_1 \oplus s_0 \pmod 3, \end{cases}$$

В соответствии с (5) получим информационную матрицу следующего вида:

$$\mathbf{G}_{\text{инф}} = \begin{Vmatrix} 0 & 2 & 1 \\ 1 & 1 & 2 \\ 2 & 0 & 1 \end{Vmatrix}.$$

Пусть $\varsigma = \mathbf{0}$, тогда образующая матрица примет вид

$$\mathbf{G}_{\text{обр}} = \begin{Vmatrix} 0 & 2 & 1 \\ 1 & 1 & 2 \\ 2 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 2 \end{Vmatrix}. \quad (6)$$

В соответствии с заданными начальными условиями можно получить следующие фрагменты 3 ПСП с 1 контрольными цифрами:

$s_{0,2} = 2,$	$s_{1,2} = 2,$	$s_{2,2} = 1,$	$s_{3,2} = 1,$	$s_{4,2} = 1,$
$s_{0,1} = 1,$	$s_{1,1} = 0,$	$s_{2,1} = 1,$	$s_{3,1} = 0,$	$s_{4,1} = 0,$
$s_{0,0} = 0,$	$s_{1,0} = 1,$	$s_{2,0} = 2,$	$s_{3,0} = 1,$	$s_{4,0} = 0,$
$s_0^* = 0,$	$s_1^* = 0,$	$s_2^* = 2,$	$s_3^* = 1,$	$s_4^* = 2,$
$s_{5,2} = 0,$	$s_{6,2} = 1,$	$s_{7,2} = 0,$	$s_{8,2} = 0,$	$s_{9,2} = 1,$
$s_{5,1} = 1,$	$s_{6,1} = 2,$	$s_{7,1} = 1,$	$s_{8,1} = 0,$	$s_{9,1} = 2,$
$s_{5,0} = 2,$	$s_{6,0} = 2,$	$s_{7,0} = 1,$	$s_{8,0} = 1,$	$s_{9,0} = 1,$
$s_5^* = 0,$	$s_6^* = 1,$	$s_7^* = 1,$	$s_8^* = 2,$	$s_9^* = 2.$

Рассмотрим 3-й блок 3 ПСП $\{1, 0, 1, 1\}$ не содержащий ошибок. В соответствии с выражением (7) вычислим эталонное значение ς_4^*:

$$\varsigma_4^* = \left|1 + 0 + 1 + 1\right|_3 = \left|3\right|_3 = 0. \quad (7)$$

Пусть в 8-м блоке 3 ПСП произошла ошибка $\{+2\}$ во втором разряде $\{0, \underline{2}, 1, 2\}$. Тогда

$$\varsigma_9^* = \left|1 + 2 + 0 + 2\right|_3 = \left|2\right|_3 = 2. \quad (8)$$

Полученное эталонное значение $\varsigma_9^* = 2$ не соответствует заданному значению, следовательно, 8-й блок 3 ПСП содержит ошибку.

Заключение

Реализация генераторов q-значных ПСП с контролем по $\bmod q$, позволяет получить решения, направленные не только на повышение производительности, но и безопасного функционирования, в том числе и в условиях независимых целенаправленных дестабилизирующих воздействий.

Благодарности

Работа выполнена при поддержке грантов: гранта РФФИ (№ 16-29-04268 офи_м), гранта Президента РФ (НШ-6831.2016.8).

Список литературы

[1] Петренко С.А., Ступин Д.Д. Национальная система раннего предупреждения о компьютерном нападении: научная монография / под общей редакцией С. Ф. Боева. Университет Иннополис. – Иннополис: «Издательский Дом «Афина», 2017. – 440 с.

[2] Петренко С. А., Петренко А. С. Новая Доктрина информационной безопасности Российской Федерации // Защита информации. Инсайд. – 2017. – № 1 (73) . – С. 33–39.

[3] Петренко С. А., Шамсутдинов Т. И., Петренко А. С. Научно-технические задачи развития ситуационных центров в Российской Федерации // Защита информации. Инсайд. – 2016. – № 6 (72) . – С. 37–43.

[4] Петренко А. С., Петренко С. А. Проектирование корпоративного сегмента СОПКА // Защита информации. Инсайд. – 2016. – № 6 (72). – С. 47–52.

[5] Петренко А. С., Петренко С. А. Первые межгосударственные киберучения стран СНГ: «Кибер-Антитеррор-2016» // Защита информации. Инсайд. – 2016. – № 5 (71). С. 57–63.

[6] Петренко А. С., Бугаев И. А. Петренко С.А. Система управления: мастер-данными СОПКА // Защита информации. Инсайд. – 2016. – № 5 (71). – С. 37–43.

[7] Петренко А. С., Петренко С. А. Технологии больших данных (Big Data) в области информационной безопасности // Защита информации. Инсайд. – 2016. – № 4 (70). – С. 82–88.

[8] Петренко С. А., Курбатов В. А., Бугаев И. А., Петренко А. С. Когнитивная система раннего предупреждения о компьютерном нападении// Защита информации. Инсайд. – 2016. – № 3 (69). – С. 74–82.

[9] Петренко С. А., Петренко А. А. Онтология кибербезопасности самовосстанавливающихся Smart Grid // Защита информации. Инсайд. – 2016. – № 2 (68). –С. 12–24.

[10] Петренко А. А., Петренко С. А. Способ повышения устойчивости LTE-сети в условиях деструктивных кибератак // Вопросы кибербезопасности. – 2015. – № 2 (10). –С. 36–42.

[11] Петренко А. А., Петренко С. А. Киберучения: методические рекомендации ENISA // Вопросы кибербезопасности. 2015. – № 3 (11).– С. 2–14.

[12] Петренко А. А., Петренко С. А. НИОКР агенства DARPA в области кибербезопасности // Вопросы кибербезопасности. – 2015. – № 4 (12). – С. 2–22.

НАУЧНАЯ ПРОБЛЕМА РАННЕГО ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ О КОМЬЮТЕРНОМ НАПАДЕНИИ

Д.Д. Ступин, С.А Петренко, А.Г. Ломако
ОАО «РТИ»
127083, Москва, ул. 8-го Марта, д. 10, стр. 1, Россия
DStupin@oaorti.ru
тел: +7 (495) 788-09-48, факс: +7 (495) 614-22-62

Ключевые слова: *система раннего предупреждения, информационная безопасность, угрозы информационной безопасности, компьютерные атаки, когнитивные технологии предупреждения компьютерных атак, упреждение компьютерных атак.*

Abstract
The formulation of the problem and possible technologies for early detection and prevention of impacts on information resources of the critical infrastructure of the Russian Federation are considered. The possible architecture of a cognitive early warning system of a computer attack is proposed.

Введение

Полученные результаты исследований авторов в области *нано-, био-, инфо-, когнитивных технологий (NBIC-технологий)* [1-5], а также известные результаты «*вычислительного когнитивизма*» [7-12] позволили сформулировать и предложить возможные решения актуальной проблемы раннего предупреждения о компьютерном нападении на критическую инфраструктуру Российской Федерации [4,6,9,11,13-15].

1 Постановка задачи

Дано: 1) $З_{<n>} = \{з_1, з_2, ..., з_n\}$ – множество функциональных (целевых) задач некоторой информационной системы (ИС), где $З_j = \{V_j, D_j, C_j\}$, $j = 1,...,n$ – модель (граф) целевой задачи, V_j – множество вершин (целевых задач) графа $З_j$, D_j – множество дуг (информационно-управляющих связей между задачами) $З_j$, C_j – множество весов вершин (затрат времени на решение задач) $З_j$; 2) $\theta = (T_н, U, Y, X, F_p, F_v)$ – модель функционирования ИС в условиях массовых деструктивных возмущений, где $T_н$ – множество моментов времени, в которые наблюдается процесс; U, Y – конечные множества значений входных, промежуточных и/или выходных данных соответственно, заданные в исходных алгоритмах прикладных и системных программ; X – пространство состояний реального процесса функционирования ИС при групповых и массовых возмущениях; F_p – оператор переходов, отражающий механизм изменения состояния процесса функционирования ИС при возмущениях и последующем самовосстановлении; F_v – оператор выходов, описывающий функционирование ИС с памятью, т.е. механизм формирования выходных данных путем нейтрализации возмущений с помощью некоторого иммунитета к групповым и массовым деструктивным воздействиям.

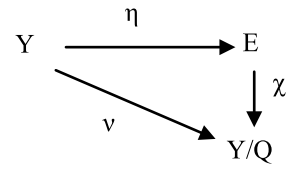
Операторы F_p и F_v реализуют отображения

(1) $F_p : T \times U \times X \to X$ и $F_v : T \times U \times X \to Y.$

Требуется найти:

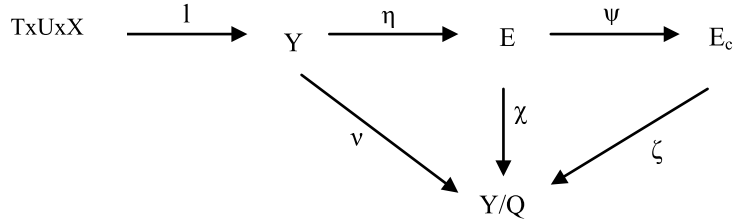
1) $F_v : T \times U \times X \to Y -$ отображение, которое при фиксированных значениях $t \in T$ и $u(t) \in U$ обеспечивает выполнение условий полной наблюдаемости процесса функционирования ИС при групповых и массовых возмущениях вычислений (задача наблюдения). Это означает, что всякому изменению вектора выхода $y(t) \in Y$ при фиксированном векторе $u(t) \in U$ соответствует определенное изменение вектора состояния процесса в условиях деструктивных возмущений $y(t_1) \neq y(t_2) \Rightarrow x(t_1) \neq x(t_2), \forall t_1, t_2 \in T.$

2) $\eta : Y \to E -$ отображение, где $E -$ множество заданных видов технического состояния ИС в условиях возмущений, т.е. состояний, по которым можно судить о корректности и функциональной пригодности ИС в целом (задача классификации). Множество E есть модель некоторого фактор-множества $Y / Q.$ Связь между рассматриваемыми отображениями может быть представлена так:



3) $\psi : E \to E_c$ – отображение, которое формально определенному виду технического состояния ИС ставит в соответствие решение о частичной корректности некоторого состояния ИС с учетом вероятностных характеристик возможных ошибок при мониторинге информационно-технических воздействий (в частности, ошибок первого и второго рода), погрешностей выполняемых измерений и помех (задача контроля технического состояния объекта).

Связь между рассматриваемыми отображениями представлена ниже:



4) $F_p : T \times U \times X \to X$ и $F_v : T \times U \times X \to Y -$ операторы, отражающие оптимальную организацию устойчивого функционирования ИС в условиях деструктивных программных возмущений на заданном интервале его функционирования:

(2) $$N^{\text{опт}} = \arg\max\{\mathrm{P}_{\text{дц}}(N)\}, \quad N \in \{N^{\text{д}}\}$$

при ограничениях $\begin{cases} t_{<n>} \le T^{\partial}_{<n>} \\ p \ge P^{\partial} \end{cases}$, где $N = \{\delta, \varepsilon, \Psi\}$ – вектор управления ИС, δ – количество основных процедур аварийного восстановления и резервирования, ε – количество резервных процедур аварийного восстановления и резервирования, Ψ – план (расписание) самовосстановления, $N^{Д}-$ допустимый вектор самовосстановления в условиях возмущений, $t_{<n>} = \{t_1, t_2, .., t_n\}$ – множество моментов времени завершения обработки целевых задач, $T^{\partial}_{<n>}$ – множество ограничений на время выполнения целевых задач, $P_{дц}-$ вероятность достижения цели функционирования ИС, $P_{ДЦ} = P\{M \le M_{Д}\}$, M – иммунитет ИС к программным воздействиям, $M_{Д}$ – допустимый иммунитет, обеспечивающий устойчивость функционирования ИС при возмущениях, P – вероятность решения целевых задач в условиях массовых деструктивных программных воздействиях, P^{∂} – требования к вероятности решения целевых задач.

Для нахождения представленных отображений был использован следующий математический аппарат.

Теория многоуровневых иерархических систем для проектирования системы управления организацией устойчивого функционирования ИС (отображение $F_v : T \times U \times X \to Y$). Теория формальных языков и грамматик для порождения и распознавания возможных типов структур массовых возмущений (отображение $F_p : T \times U \times X \to X$). Теории катастроф для анализа динамики поведения возмущенных вычислений по аналогии с моделированием возмущений в живой природе (отображение $\eta : Y \to E$). Намечены способы доказательства свойств вычислимости восстановленных вычислений на основе теории подобия (отображение $\psi : E \to E_c$). Предложено формирование иммунитета к деструктивным возмущениям с привлечением результатов теории контроля и восстановления вычислений ($F_p : T \times U \times X \to X$ и $F_v : T \times U \times X \to Y$).

2 Оценка полученных результатов

Подход авторов к решению упомянутой проблемы позволил получить следующие результаты [1-15].

В части *обеспечения требуемой устойчивости функционирования АС на основе самовосстановления*:

1) введены понятия вычислений с памятью для противодействия кибератакам и самовосстановления возмущенных состояний АС;
2) предложены принцип структурирования моделей представления возмущенных состояний АС и соответствующая стратификация системы организации устойчивого поведения системы в условиях групповых и массовых компьютерных атак;
3) выбран и обоснован научно-методический аппарат, пригодный для решения задач организации устойчивого функционирования АС: модель абстрактного вычислителя самовосстановления АС в условиях кибератак на основе теории динамических систем; архитектура системы организации устойчивого функционирования АС на основе теории многоуровневых иерархических систем; язык описания ранее неизвестных типов структур массовых возмущений на основе теории формальных языков и грамматик; самоприменимая трансляторная модель синтеза абстрактных программ самовосстановления возмущенных со-

стояний АС при массовых и групповых возмущених на основе методов теоретического и системного программирования; архитектура технологической среды синтеза абстрактных программ самовосстановления; спецификации динамики поведения возмущенных вычислений по аналогии с моделированием возмущений в живой природе на основе теории катастроф; методы доказательства свойств вычислимости восстановленных вычислений на основе теории подобия; метод формирования иммунитета к деструктивным возмущениям с привлечением результатов теории контроля и восстановления вычислений.

В части *организации вычислений с памятью в условиях групповых и массовых компьютерных атак:*

1) разработана модель самовосстановления АС, стойкая к дестабилизации в иерархической многоуровневой среде управления с обратной связью, открывающая принципиальную возможность исследования функционирования АС в условиях кибератак;
2) построены модели простейших возмущений для синтеза сценариев возврата процессов функционирования АС к равновесию с использованием динамических уравнений теории катастроф, позволяющие впервые выявить количественные закономерности противодействия кибератакам и синтезировать макропрограмму самовосстановления АС при групповых и массовых кибератаках;
3) предложены модели представления взаимодополняющих денотационной, логической и операционной семантик корректных состояний АС, что позволило сначала исследовать статические и динамические инварианты поведения системы, а затем разработать микропрограмму операций самовосстановления и доказать ее соответствие макропрограмме сценария самовосстановления;
4) предложен метод обобщенной многомодельной верификации программ самовосстановления;
5) разработаны методы самовосстановления АС с использованием разрешительных эталонов, позволяющие выработать операционные процедуры самовосстановления.

В части *методического обеспечения организации самовосстановления АС:*

1) спроектирована система выработки и накопления иммунитетов для комплексной поддержки организации устойчивого функционирования АС в условиях групповых и массовых компьютерных атак, включающая: проект, модели и технологию применения самоприменимого транслятора для синтеза абстрактных программ самовосстановления АС в условиях возмущений; систему и язык представления программно-технических знаний самовосстановления АС регулярными схемами алгоритмов; модель абстрактной памяти АТП-автоматов с расширенной сигнатурой объектов и операций; операционные автоматы системы знаний транслятора абстрактных программ самовосстановления; автоматную модель реализации процессора регулярных схем самовосстановления АС;
2) предложена технология предупреждения, обнаружения и нейтрализации массовых кибератак в идеологии иммунитета, основанная на: модели и методах автоматизированного мониторинга кибератак и накопления иммунитета; модели злоумышленника в типах деструктивных воздействий; модели представления динамики возмущений поведения АС и определения сценариев возврата состояний АС в равновесное (устойчивое) состояние; макромодели (программы) самовосстановления АС в условиях массовых и групповых возмущений; микромодели (программы) самовосстановления АС в условиях массовых и групповых возмущений; модели денотационной, аксиоматической и операционной семантик возмущенных состояний АС; методе доказательства частичной корректности свойств АС при самовосстановлении; методе вывода операционных эталонов для восстановления АС; модели представления восстановления АС; процедурах выработки и исполнения плана восстановления АС;
3) разработана методика обнаружения и нейтрализации информационно-технических воздействий на АС с использованием системы иммунитетов;

4) предложены методические и практические рекомендации по построению АС с системой иммунитетов к массовым кибератакам злоумышленника.

В *части раннего обнаружения и предупреждения групповых и массовых компьютерных атак на критическую инфраструктуру государства:*

1) построена онтологическая модель представления структурированных контекстно-зависимых знаний о конфликтующих процессах в информационном пространстве Российской Федерации на основе теории катастроф Арнольда;
2) разработана функциональная модель когнитивной системы раннего предупреждения о компьютерном нападении на критическую инфраструктуру Российской Федерации;
3) спроектированы опытные образцы программно-аппаратных комплексов когнитивной системы раннего предупреждения о компьютерном нападении на основе теории многоуровневых иерархических систем и методах когнитивных вычислений;
4) выработана общая методика раннего предупреждения компьютерного нападения на критическую инфраструктуру Российской Федерации, реализуемую посредством: ввода и первичной обработки данных и знаний, используемых для формирования спецификаций процессов раннего предупреждения компьютерного нападения в условиях роста угроз информационной безопасности; построения спецификаций процессов раннего предупреждения компьютерного нападения в информационно-техническом конфликте на основе «когнитивных вычислений» и логического вывода по аналогии.

Заключение

Теоретическая значимость и научная ценность полученных результатов заключаются в следующем: в формализации структурированной системы знаний когнитивной системы раннего предупреждения о компьютерном нападении, использующей модели взаимодополняющих формальных семантик: денотационной семантики вычислимых структур, аксиоматической семантики свойств вычислимости и операционной семантики вычислительных действий; в синтезе интенсионального расширения онтологий кибербезопасности для раннего предупреждения о компьютерном нападении для конструирования сколь угодно сложных многоуровневых онтологических построений; в разработке непротиворечивой интенсиональной теории частично-упорядоченных структурированных моделей функционирования для формализации семантики контекстно-зависимых знаний о предмете конфликта в информационном пространстве; в построении формальной аксиоматизированной разрешимой интерпретируемой теории для моделирования иерархического представления данных и контекстно-зависимых знаний и порождения истинностных рассуждений, осуществляемых с учетом семантики ролей в упомянутых многоуровневых онтологиях кибербезопасности; в построении иерархической поуровневой координируемой системе раннего предупреждения о компьютерном нападении на основе теории иерархических систем и методов когнитивных вычислений, используемых для поиска схем потенциально возможных решений; в доказательстве модельной полноты, непротиворечивости и разрешимости названной теории.

Практическая значимость полученных результатов заключается в том, что результаты работы были доведены до предполагающего практическую апробацию уровня и использованы: при проектировании и разработке опытных образцов и соответствующего Полигона открытого сегмента национальной системы раннего предупреждения о компьютерном нападении на критическую инфраструктуру государства, позволяющих повысить полноту контролируемых параметров в целом; при построении формализованных моделей угроз информационной безопасности, позволивших увеличить глубину и детальность прогнозов многоэтапных потенциально реализуемых атакующих воздействий на объекты критической инфраструктуры государства; для генерации спецификаций процессов, потенциально реализуемых в ходе информационного конфликта; при разработке частных методик раннего обнаружения, предупреждения

и нейтрализации потенциальных атакующих воздействий; при постановке и проведении национальных и международных киберучений, а также различных видов учебных занятий, семинаров и практик, направленных на совершенствование и развитие моделей и методов раннего обнаружения компьютерного нападения на критическую инфраструктуру государства.

Благодарности

Работа выполнена при поддержке грантов: гранта РФФИ (№ 16-29-04268 офи_м), гранта Президента РФ (НШ-6831.2016.8).

Список литературы

[1] Петренко С.А., Ступин Д.Д. Национальная система раннего предупреждения о компьютерном нападении: научная монография / под общей редакцией С. Ф. Боева. Университет Иннополис. – Иннополис: «Издательский Дом «Афина», 2017. – 440 с.

[2] Петренко С. А., Петренко А. С. Новая Доктрина информационной безопасности Российской Федерации // Защита информации. Инсайд. – 2017. – № 1 (73) . – С. 33–39.

[3] Петренко С. А., Шамсутдинов Т. И., Петренко А. С. Научно-технические задачи развития ситуационных центров в Российской Федерации // Защита информации. Инсайд. – 2016. – № 6 (72) . – С. 37–43.

[4] Петренко А. С., Петренко С. А. Проектирование корпоративного сегмента СОПКА // Защита информации. Инсайд. – 2016. – № 6 (72). – С. 47–52.

[5] Петренко А. С., Петренко С. А. Первые межгосударственные киберучения стран СНГ: «Кибер-Антитеррор-2016» // Защита информации. Инсайд. – 2016. – № 5 (71). С. 57–63.

[6] Петренко А. С., Бугаев И. А. Петренко С.А. Система управления: мастер-данными СОПКА // Защита информации. Инсайд. – 2016. – № 5 (71). – С. 37–43.

[7] Петренко А. С., Петренко С. А. Технологии больших данных (Big Data) в области информационной безопасности // Защита информации. Инсайд. – 2016. – № 4 (70). – С. 82–88.

[8] Петренко С. А., Курбатов В. А., Бугаев И. А., Петренко А. С. Когнитивная система раннего предупреждения о компьютерном нападении// Защита информации. Инсайд. – 2016. – № 3 (69). – С. 74–82.

[9] Петренко С. А., Петренко А. А. Онтология кибербезопасности самовосстанавливающихся Smart Grid // Защита информации. Инсайд. – 2016. – № 2 (68). –С. 12–24.

[10] Петренко А. А., Петренко С. А. Способ повышения устойчивости LTE-сети в условиях деструктивных кибератак // Вопросы кибербезопасности. – 2015. – № 2 (10). –С. 36–42.

[11] Петренко А. А., Петренко С. А. Киберучения: методические рекомендации ENISA // Вопросы кибербезопасности. 2015. – № 3 (11).– С. 2–14.

[12] Петренко А. А., Петренко С. А. НИОКР агенства DARPA в области кибербезопасности // Вопросы кибербезопасности. – 2015. – № 4 (12). – С. 2–22.

[13] Петренко С. А., Петренко А. С. От обнаружения к предупреждению: тенденции и перспективы развития ситуационных центров в Российской Федерации // Интеллект & Технологии. – 2017. – № 1 (12). – С. 68–71.

[14] Петренко С. А., Петренко А. С. Новая Доктрина как импульс для развития отечественных технологий информационной безопасности // Интеллект & Технологии. 2017. – № 2 (13). – С. 70–75.

[15] Петренко С. А., Петренко А. С. Лекция 12. Перспективные задачи информационной безопасности // Интеллектуальные информационные радиофизические системы. Вводные лекции / [А. О. Армяков и др.; под ред. С. Ф. Боева, Д. Д. Ступина, А. А. Кочкарова]. – Москва: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2016. – С. 155–166.

ПРИМЕНЕНИЕ МУЛЬТИАГЕНТНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ОРГАНИЗАЦИИ НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ КЛАСТЕРОВ ПРЕДПРИЯТИЙ, ОРИЕНТИРОВАННЫХ НА РАЗРАБОТКУ И СОЗДАНИЕ НАУКОЕМКОЙ ПРОДУКЦИИ

Д.Д.Ступин[1], А.Н.Сухарева[2]

[1]АО РТИ, г. Москва,

127083, Москва, ул. 8-го Марта, д. 10, стр. 1, Россия
DStupin@oaorti.ru

[2]АО Связь инжиниринг, г. Москва,
Alevtinas08@rambler.ru

Аннотация

Исследуется проблема применения новых технологий в процессах, связанных с формированием новых организационных структур, ориентированных на создание инновационной наукоемкой продукции. Показано, что такие структуры могут рассматриваться как сложные системы большой размерности, в связи с чем их при их создании могут быть использованы мультиагентные технологии.

Одним из главных направлений деятельности высокотехнологичных предприятий по сохранению их экономической устойчивости в условиях различных кризисных явлений может являться их интеграция на добровольной основе для реализации совместных проектов по созданию высоколиквидной инновационной продукции. Для предприятий, работающих в области создания больших информационных систем (в последнее время их часто называют системами обеспечения ситуационной осведомленности), основная научно-производственная деятельность связана с выполнением Государственных контрактов (ГК). В условиях сокращения объемов Гособоронзаказа, в силу различного рода объективных причин, предприятия должны искать пути диверсификации своей деятельности в смежные области и предлагать потенциальным заказчикам новые решения в области обеспечения ситуационной осведомленности [1].

Представляется очевидным тот факт, что новые продукты также будут системными, а, следовательно, их создание потребует формирования обширной кооперации. При этом, если работа в рамках Гособоронзаказа организуется на основе ГК, и управление кооперацией организуется, исходя из требований контракта и соответствующей нормативной базы, то создание «диверсифицированных» системных продуктов будет представлять собой самоорганизующийся процесс, в котором участники работы будут равноправны. Отсюда следует, что формирование «альянса» предприятий потребует согласования (в общем случае – оптимизации) большого количества различных параметров, определяющих внутренние интересы и приоритеты компаний, входящих в этот «альянс». Эти параметры связаны, прежде всего, с ресурсными возможностями компаний: технологическими, кадровыми, финансовыми, временными и т.д. Поскольку количество предприятий, занятых в реализации системного проекта велико, то в совокупности с большим числом параметров оптимизации мы приходим к задаче управления сложной системой большой размерности [2].

Проблема оптимизации управления сложными системами, в принципе, не является новой. Однако применительно к организационным структурам она разрабатывается не более 15 лет. Наиболее интересными в этом плане представляются результаты исследований Ржевского Г.А. и Скобелева П.О., получившие практическое воплощение [3]. Среди наиболее интересных методических результатов следует выделить определенные авторами семь ключевых признаков сложных систем. Целесообразно рассмотреть, насколько рассматриваемые нами совместные организационные структуры, создаваемые предприятиями, «вписываются» в понятие «слож-

ных системам». Предположительно, все семь признаков должны присутствовать в той или иной степени в альянсах предприятий. Проверим это положение, рассмотрев нижеследующие признаки.

1) Связность. Заключается в большом количестве разнообразных партнеров, взаимодействующих друг с другом в ходе реализации совместных проектов.
2) Неравновесность. Связана с наличием различной степени удовлетворенности партнерами друг друга.
3) Автономность. Заключается в сохранении самостоятельности партнерами, поскольку отношения базируются на добровольном сотрудничестве.
4) Нелинейность. Связана с зависимостью устойчивости системы в целом от изменений, инициируемых любым партнером в ходе совместной работы.
5) Эмержентность. Возможности альянса предприятий находить принципиально новые организационные и научно-технические решения, которые не могут найти предприятия по отдельности.
6) Самоорганизация. Упорядочение партнеров одного уровня в системе за счет достижения баланса внутренних факторов.
7) Эволюция. Заключается в возможности адаптации системы к изменениям внешних условий, влиянию системы на внешние условия и саморазвитию системы в изменяющейся внешней среде (необходимым условием эволюции является открытость системы).

Можно видеть, что альянсы предприятий, работающих на единую задачу по созданию системного продукта, обладают в той или иной степени признаками сложных систем.

Для определенности ограничим область нашего рассмотрения стратегическими альянсами кластерного типа, создающимися на добровольной основе. При этом с необходимостью предполагаем наличие системы договоренностей между партнерами.

Решение задач оптимизации в режиме реального времени процессов разработки и создания новых продуктов на предприятиях, интегрированных в альянсы кластерного типа, вызывают необходимость поиска новых организационных решений. Классические способы организации работы, базирующиеся на централизованных принципах управления, в условиях роста уровня сложности проектов и разработок, в том числе, при априори неизвестном заказчике не позволяют оперативно реагировать на поток изменений и продуктивно организовывать деятельность участников альянса в режиме реального времени.

Экономическая самостоятельность предприятий-соисполнителей представляет собой ключевой признак, влияющий на возникновение возможности применения мультиагентных технологий для решения обозначенных задач.

Технология мультиагентных систем (иногда их называют интеллектуальными адаптивными системами) способствует осуществлению управления сложными системами в режиме реального времени, одновременно обеспечивая баланс интересов всех ее элементов, что является необходимым условием объединения участников альянсов кластерного типа.

Организация деятельности по разработке и созданию новых наукоемких продуктов в кластере предполагает наличие адекватного объема разнородных ресурсов у предприятий, входящих в его состав. Условно выделим 5 групп экономических ресурсов:

- финансовые (включают собственные и заемные средства);
- материальные;
- трудовые;
- информационные (включают вычислительные ресурсы, базы данных и научные знания);
- временные.

Решение задачи по созданию наукоемкой продукции возможно при использовании разнородных ресурсов в разнообразных сочетаниях. При этом оптимальное сочетание экономических ресурсов способствует росту эффективности их совместного использования.

Таким образом, в ходе организации деятельности предприятий в альянсах кластерного типа возникает необходимость разработки адаптивной системы управления ресурсами в режиме реального времени на базе мультиагентных технологий.

Одной из основных проблем при разработке такой системы представляется оцифровка разнородных ресурсов.

Основой создания мультиагентной системы управления совокупными экономическими ресурсами всех участников альянса, является система исходных данных (СИД). В состав СИД входят следующие составляющие:

- описание элементов, необходимых для разработки системы управления;
- описание характера взаимозависимостей элементов внутри альянса.

Заметим, что и перечень элементов СИД, и характер их взаимозависимостей могут уточняться в ходе разработки.

Ключевыми «рабочими» элементами мультиагентных систем являются Агенты [4]. Для каждого предприятия определяется своя совокупность Агентов, каждый из которых «представляет» определенный вид ресурсов. Любой Агент может быть представлен в виде Агента потребностей, Агент возможностей или «двойной» Агент. В этом случае проблема согласования определенного вида ресурсов, выделяемых для решения общей задачи, сводится к обеспечению «договоренности» между Агентами различных предприятий, представляющих данный вид ресурсов.

При реализации совместных проектов Агенты осуществляют постоянное взаимодействие друг с другом в ходе решения обозначенных задач. При возникновении конфликтных ситуаций, их задача – устранить причину конфликта или минимизировать его последствия.

Описать характер взаимозависимости Агентов представляется возможным, поскольку каждый участник альянса является звеном технологической цепочки в организации деятельности по созданию конечной продукции.

Принцип избирательности при работе мультиагентных систем связан с изменениями исходных данных и заключается в следующем:

Любые изменения исходных данных анализируются системой в режиме реального времени по критериям важности изменений. Далее принимается решение о времени реакции на изменение. Изменения, требующие мгновенной реакции, запускаются в обработку и корректируют первоначальные исходные решения. Изменения, не требующие мгновенной реакции, накапливаются в специальной очереди по хронологии поступления и запускаются в работу при появлении временных резервов на осуществление реакции.

Принцип избирательности позволяет минимизировать время реакции на важные изменения, тем самым повысив эффективность экономической деятельности каждого из участников альянса при реализации совместных проектов [5].

Постоянный (с периодичностью, зависящей от параметров работы мультиагентной системы) анализ отклонений в работе мультиагентной системы способствует выявлению проблемных «точек» с целью поиска решения по их устранению или минимизации потенциальных негативных процессов.

Результат разработанной системы управления ресурсами может быть представлен сформированной самоорганизующейся сетью без единого центра управления (сетецентрическая система). Отметим, что «знания» Агентов (информация, которую они могут использовать при своей деятельности) формируются в процессе решения практических задач, поэтому Агенты являются самообучаемыми.

Таким образом, мультиагентные технологии управления ресурсами в ходе организации предприятий в альянсы кластерного типа могут представлять собой эффективный инструмент для достижения совместных решений с учетом баланса интересов.

Список литературы:

[1] *Ступин Д.Д., Сухарева А.Н.* Перспективы и возможности формирования инновационных кластеров в области создания систем обеспечения ситуационной осведомленности // Четвертая Всероссийская научно-техническая конференция молодых конструкторов и инженеров (Минцевские чтения-2016). 2016. С.266-269.

[2] *Каляев А.И., Каляев И.А.* Метод мультиагентного диспетчирования ресурсов в облачных вычислительных средах // Известия РАН. Теория и системы управления. 2016. №2. С.51-63.

[3] *Ржевский Г.А., Скобелев П.О.* Как управлять сложными системами? Мультиагентные технологии для создания интеллектуальных систем управления предприятиями. - Самара: ООО «Офорт», 2015. - 290 с.

[4] *Каляев И.А., Каляев А.И., Коровин Я.С.* Алгоритм мультиагентного диспетчирования ресурсов в гетерогенной облачной среде // Вычислительные технологии. 2016. Т.21. №1. С.38-53.

[5] *Лизунов В.В., Метелев С.Е., Соловьев А.А*. Кластеры и кластерные стратегии: Монография. - Омск: Издатель ИП Скорнякова Е.В., 2012. - 280 с.

МОДЕЛЬ ПРОАКТИВНОГО ОБНАРУЖЕНИЯ КОМПЬЮТЕРНЫХ АТАК

А.М Сухов, Д.Д. Ступин, А.Г. Ломако
ОАО «РТИ»
127083, Москва, ул. 8-го Марта, д. 10, стр. 1, Россия
DStupin@oaorti.ru
тел: +7 (495) 788-09-48, факс: +7 (495) 614-22-62

Ключевые слова: *информационная безопасность, угрозы информационной безопасности, проактивное обнаружение компьютерных атак.*

Abstract
An integrated approach to assessing the effectiveness of the process of the functioning of the intrusion detection system (PSB) is considered.

Введение

Процесс надлежащего обеспечения информационной безопасности является сложным многоаспектным процессом [1-4], включающим большое число различных конфликтующих целенаправленных процессов (ЦнП) с разнообразными связями между ними. При этом свойства ЦнП, связи между ними, как правило, заранее не известны. Поэтому предлагается их отнести к классу стохастических (случайных) процессов со стохастической (вероятностной) структурой. Данные, на основании которых определяются значения параметров компьютерных воздействий (КВ) и осуществляется прогнозирование возможных сценариев развития ситуации, являются результатами прямых или косвенных наблюдений за процессами, происходящими в критической информационной инфраструктуре (КИИ). Получение оценок и прогнозов о состоянии КИИ можно рассматривать как процесс обработки результатов наблюдений за развитием реализации сложного комплекса сценариев КВ с вероятностной структурой.

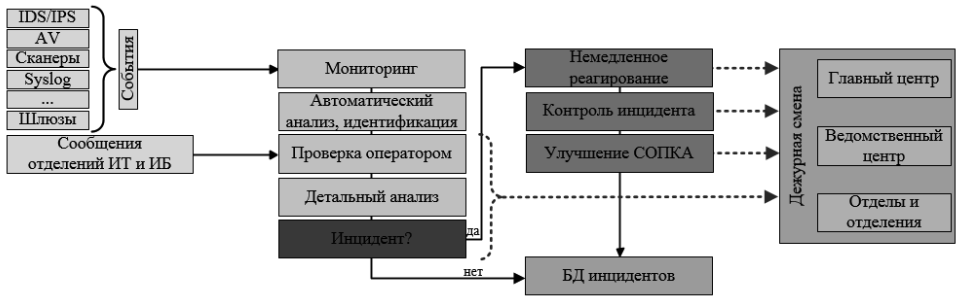


Рисунок 1 – Алгоритм выявления инцидентов безопасности

Для определения значения показателя эффективности СОА необходимо [5-7]:

- обосновать компоненты вектора $\hat{Y}$ показателей виртуального (возможного) качества результатов ЦнП;
- построить модель операционной системы – математическую модель (ММ) показателя $\hat{Y}$ виртуального (возможного) качества результатов ЦнП (с учётом взаимосвязей компонент вектора $\hat{Y}$);

- построить модель операционной ситуации – ММ показателя $\hat{Z}$ требуемого качества результатов ЦнП;
- построить модель операционного комплекса, позволяющего определить степень соответствия возможных результатов $\hat{Y}$ предъявляемых к ним требованиям $\hat{Z}$, – ММ показателя $P_{ВЗ}$ эффективности ЦнП.

1 Модель показателя требуемого качества результатов ПФ СОВ

Закон распределения вектора $\hat{Z}_{\langle 2\rangle} \overset{d}{=} \langle \upsilon_m, \tau_\partial \rangle$ – показателя требуемого качества результатов операции обнаружения и ликвидации КВ будет вырожденным, т.е.:

(1) $$F_{\hat{Z}_{\langle 2\rangle}}\left(Z_{\langle 2\rangle}\right) = F_{\langle \hat{\upsilon}_m, \hat{\tau}_\partial \rangle}\left(\upsilon_m, \tau_\partial\right) = \Delta\left(\upsilon - \upsilon_m\right)\Delta\left(\tau - \tau_\partial\right),$$

где υ_m – требуемое (минимально допустимое) значение доли $\hat{\upsilon}$ принятых с требуемым качеством событий ИБ; τ_∂ – предельно допустимые затраты операционного времени $\hat{\tau}$.

При определении значений величин υ_m и τ_∂ учитываем с одной стороны – содержательность и важность сообщений передаваемых между абонентами сети по контролируемому каналу связи и степени защищенности этих сообщений, а с другой стороны уровень развития и возможности современной техники и технологии, реализуемых при проектировании системы и организации её ПФ.

При обосновании требований υ_m к значению доли $\hat{\upsilon}$ принятых с требуемым качеством событий ИБ необходимо учитывать потребности системы (СОПКА) в интересах которой проводится операция ликвидации КВ [8-12]. Потребности системы зависят от априорных сведений о характеристиках КВ (признаках событий ИБ входящих в него), применяемых противником на защищаемую систему при формировании КВ конкретного типа, о характеристиках методов доставки (внедрения, заражения, распространения вредоносного кода) КВ и ЭТХ вычислительных средств, на которых осуществляется ликвидация КВ.

Среди возможных значений компонент вектора $Z_{\langle 2\rangle} = \langle \upsilon_m, \tau_\partial \rangle$ требуемых результатов особый интерес представляют три случая [8]:

1) К результатам ЦнПФС предъявлены наиболее “жесткие” (пессимистические) требования – $Z^{П}_{\langle 2\rangle} = \left\langle \upsilon^{П}_m, \tau^{П}_\partial \right\rangle$.
2) К результатам ЦнПФС предъявлены наиболее “мягкие” (оптимистические) требования – $Z^{O}_{\langle 2\rangle} = \left\langle \upsilon^{O}_m, \tau^{O}_\partial \right\rangle$.
3) К результатам ЦнПФС предъявлены наиболее вероятные (модальные) требования – $Z^{M}_{\langle 2\rangle} = \left\langle \upsilon^{M}_m, \tau^{M}_\partial \right\rangle$.

Предъявление оптимистических требований $Z^{O}_{\langle 2\rangle} = \left\langle \upsilon^{O}_m, \tau^{O}_\partial \right\rangle$ к результатам ЦнПФС позволяет определить потенциальные возможности исследуемой военно-технической системы (ВТС), путем рассмотрения ПФ ВТС в идеальных условиях (например, при отсутствии противоборствующей стороны). Но при проектировании систем военного назначения и организации процессов их функционирования рассчитывать на ситуацию, в которой достаточно будет удовлетворить этим требованиям, очевидно не следует.

На этапе внешнего проектирования ВТС наиболее обоснованным является предъявление пессимистических требований $Z^{П}_{\langle 2\rangle} = \left\langle \upsilon^{П}_{m}, \tau^{П}_{\partial} \right\rangle$, если они возникают достаточно часто, и не выходят за пределы допустимых значений ресурсоемкости и оперативности.

Однако, довольно часто имеет место ситуация когда виртуальные результаты процесса функционирования ВТС заведомо не удовлетворяют пессимистическим требованиям, а вероятность возникновения такой операционной ситуации, в которой действительно необходимо удовлетворить таким требованиям достаточно мала. В этом случае целесообразно ориентироваться на модальные (наиболее вероятные) требования $Z^{M}_{\langle 2\rangle} = \left\langle \upsilon^{M}_{m}, \tau^{M}_{\partial} \right\rangle$ к результатам операции.

Формула (1) представляет собой математическую модель операционной ситуации – модель показателя $\left\langle \upsilon_m, \tau_\partial \right\rangle$ требуемого качества результатов ПФ СОВ.

2 Модель операционного комплекса

Здесь значение показателя P_{B3} эффективности ЦнПФС – вероятность выполнения задачи СОВ в случае предъявления к результатам операции детерминированных требований – определяется как значение функции распределения $\Phi_{\langle \hat{\upsilon},\hat{\tau}\rangle}(\upsilon,\tau)$ вектора $\langle \hat{\upsilon},\hat{\tau}\rangle$ виртуальных результатов операции в точке $\left\langle \upsilon_m, \tau_\partial \right\rangle$ предъявленных требований, то есть

$$P_{B3} = \Phi_{\langle \hat{\upsilon},\hat{\tau}\rangle}(\upsilon_m,\tau_\partial) = \int\limits_{\upsilon_m}^{(\upsilon_{\max}-\upsilon_{\min})\left(1-e^{-\lambda\left(\tau_\partial-\tau_0'-\tau_1'\right)}\right)+\upsilon_{\min}} \varphi_{\hat{\upsilon}}(\upsilon) \left[\int\limits_{\tau_0'+\tau_1'-\frac{1}{\lambda}\ln\left(\frac{\upsilon_{\max}-\upsilon_m}{\upsilon_{\max}-\upsilon_{\min}}\right)}^{\tau_\partial} \varphi_{\hat{\tau}/\hat{\upsilon}}(\tau;\upsilon)\,d\tau \right] d\upsilon =$$

$$= \frac{1}{\lambda(\tau_0''-\tau_0')} \left\{ \left[\ln\left(\frac{\upsilon_{\max}-\upsilon_m}{\upsilon_{\max}-\upsilon_{\min}}\right) + \lambda\left(\tau_\partial-\tau_0'-\tau_1'\right) - \right.\right.$$

$$\left.\left. - \frac{\lambda}{\mu}\left(1-e^{-\mu\left[\tau_\partial-\tau_0'-\tau_1'+\frac{1}{\lambda}\ln\left(\frac{\upsilon_{\max}-\upsilon_m}{\upsilon_{\max}-\upsilon_{\min}}\right)\right]}\right) \right] \Pi\left(\tau_\partial;\tau_0'+\tau_1',\ \tau_0''+\tau_1'\right) + \right.$$

(2)

$$\left. + \left[\ln\left(\frac{\upsilon_{\max}-\upsilon_m}{\upsilon_{\max}-\upsilon_{\min}}\right) + \lambda\left(\tau_0''-\tau_0'\right) - \frac{\lambda}{\mu}\left(e^{-\mu[\tau_\partial-\tau_0''-\tau_1']} - e^{-\mu\left[\tau_\partial-\tau_0'-\tau_1'+\frac{1}{\lambda}\ln\left(\frac{\upsilon_{\max}-\upsilon_m}{\upsilon_{\max}-\upsilon_{\min}}\right)\right]}\right) \right] \right\} \times$$

$$\times \Delta\left(\tau_\partial-\tau_0''-\tau_1'\right) \Big\} \Pi\left(\upsilon_m;\upsilon_{\min},(\upsilon_{\max}-\upsilon_{\min})\left(1-e^{-\lambda(\tau_0''-\tau_0')}\right)+\upsilon_{\min}\right) +$$

$$+ \frac{1}{\tau_0''-\tau_0'} \left\{ \left[\tau_\partial-\tau_0'-\tau_1'-\frac{1}{\mu}\left(1-e^{-\mu[\tau_\partial-\tau_0'-\tau_1']}\right) \right] \Pi\left(\tau_\partial;\tau_0'+\tau_1',\tau_0''+\tau_1'\right) + \right.$$

$$\left. + \left[\lambda\left(\tau_0''-\tau_0'\right) - \frac{\lambda}{\mu}\left(e^{-\mu[\tau_\partial-\tau_0''-\tau_1']} - e^{-\mu[\tau_\partial-\tau_0'-\tau_1']}\right) \right] \Delta\left(\tau_\partial-\tau_0''-\tau_1'\right) \right\} \times \Pi\left(\upsilon_m;0,\upsilon_{\min}\right)$$

Формула (2) представляет собой математическую модель операционного комплекса – модель показателя $P_{ДЦ}$ эффективности ПФ СОВ.

Заключение

Построена математическая модель функционирования системы обнаружения компьютерных атак (СОПКА) в условиях роста угроз информационной безопасности. Определены соответствующие показатели эффективности названной системы. Предложены возможные варианты организации функционирования СОПКА. При этом определены области допустимых значений характеристик и параметров функционирования системы [9-10].

Благодарности

Работа выполнена при поддержке грантов: гранта РФФИ (№ 16-29-04268 офи_м), гранта Президента РФ (НШ-6831.2016.8).

Список литературы

[1] Петренко С.А., Ступин Д.Д. Национальная система раннего предупреждения о компьютерном нападении: научная монография / под общей редакцией С. Ф. Боева. Университет Иннополис. – Иннополис: «Издательский Дом «Афина», 2017. – 440 с.

[2] Петренко С. А., Петренко А. С. Новая Доктрина информационной безопасности Российской Федерации // Защита информации. Инсайд. – 2017. – № 1 (73) . – С. 33–39.

[3] Петренко С. А., Шамсутдинов Т. И., Петренко А. С. Научно-технические задачи развития ситуационных центров в Российской Федерации // Защита информации. Инсайд. – 2016. – № 6 (72) . – С. 37–43.

[4] Петренко А. С., Петренко С. А. Проектирование корпоративного сегмента СОПКА // Защита информации. Инсайд. – 2016. – № 6 (72). – С. 47–52.

[5] Петренко А. С., Петренко С. А. Первые межгосударственные киберучения стран СНГ: «Кибер-Антитеррор-2016» // Защита информации. Инсайд. – 2016. – № 5 (71). С. 57–63.

[6] Петренко А. С., Бугаев И. А. Петренко С.А. Система управления: мастер-данными СОПКА // Защита информации. Инсайд. – 2016. – № 5 (71). – С. 37–43.

[7] Петренко А. С., Петренко С. А. Технологии больших данных (Big Data) в области информационной безопасности // Защита информации. Инсайд. – 2016. – № 4 (70). – С. 82–88.

[8] Петренко С. А., Курбатов В. А., Бугаев И. А., Петренко А. С. Когнитивная система раннего предупреждения о компьютерном нападении// Защита информации. Инсайд. – 2016. – № 3 (69). – С. 74–82.

[9] Петренко А. А., Петренко С. А. Киберучения: методические рекомендации ENISA // Вопросы кибербезопасности. 2015. – № 3 (11).– С. 2–14.

[10] Петренко А. А., Петренко С. А. НИОКР агенства DARPA в области кибербезопасности // Вопросы кибербезопасности. – 2015. – № 4 (12). – С. 2–22.

МЕТОД ОБЕСПЕЧЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ ВЫПОЛНЕНИЯ СПЕЦИАЛЬНЫХ РАСЧЕТНЫХ ПРОГРАММ В УСЛОВИЯХ ВОЗМУЩЕНИЙ НА ОСНОВЕ МНОГОСЛОЙНЫХ ИНВАРИАНТОВ ПОДОБИЯ

А.В.Харжевская, А.Г. Ломако, С.А Петренко

ОАО «РТИ»
127083, Москва, ул. 8-го Марта, д. 10, стр. 1, Россия
S.Petrenko@rambler.ru
тел: +7 (495) 788-09-48, факс: +7 (495) 614-22-62

Ключевые слова: *система обеспечения устойчивости, информационная безопасность, угрозы информационной безопасности, компьютерные атаки, кибербезопасность, многослойные инварианты подобия.*

Abstract

The formulation of the problem and possible technologies for early detection and prevention of impacts on information resources of the critical infrastructure of the Russian Federation are considered. The possible architecture of a cognitive early warning system of a computer attack is proposed.

Введение

На современном этапе развития средств обеспечения информационной безопасности назрела объективная необходимость создания систем, предназначенных для повышения оперативности и эффективности обнаружения и локализации инцидентов кибербезопасности, связанных с выявлением семантических нарушений в синтаксически правильных программах. Так как существующие методы контроля вычислений используют модели программ, которые обладают слабой информативностью, необходимо предложить новые модели представления знаний о вычислениях, которые лягут в основу разработки качественно новой системы интеллектуального администрирования безопасности, позволяющей анализировать и, на основе новых моделей, реагировать на обнаружение модификации вычислений. Таким образом, актуальность создания системы интеллектуального администрирования безопасности обусловлена необходимостью обеспечения надлежащей комплексной защиты выполнения специальных расчетных задач от потенциальных, непосредственных и прямых угроз совершения массовых враждебных программно-математических воздействий и несовершенством существующих методов контроля корректности программ по выявлению скрытных модификаций вычислений, связанных с неправильными информационными, управляющими и математическими связями объектов программы.

1 Анализ рисков искажения вычислений специальных расчетных задач

Современные информационно-вычислительные комплексы (ИВК) участвуют в решении следующих классов задач: измерительных, информационных, расчетных, информационно-расчетных. Особого внимания требует организация контроля выполнения расчетных и информационно-расчетных задач, так как незначительная модификация одного оператора может привести к накоплению ошибки, вследствие чего будут получены неверные результаты расчетов. Кроме того, данные результаты могут находиться в конкретном доверительном интервале, поэтому ошибку без дополнительных средств контроля обнаружить невозможно. В силу высокой сложности построения и потенциальной опасности недекларированного функционирова-

ния оборудования и общесистемного программного обеспечения ИВК становятся крайне уязвимыми к скрытным воздействиям на процесс вычислений программно-аппаратных закладок и вредоносного программного обеспечения.

Рассмотрим типовую структуру и характеристику уязвимостей информационно-расчетных задач. В таблице 1 представлены возможные способы воздействия на вычислительный процесс на разных уровнях выполнения программ расчетных задач в операционной среде ИВК[1].

Таблица 1 – Способы модификации вычислений

Уровни операционной среды	Способы модификации вычислений
Уровень 7. Задачи	• Маскировка выполнения программы • Сложности, связанные с анализом программ на прикладном уровне
Уровень 6. Программы	
Уровень 5. Программные компоненты	• Использование подмены системных библиотек • Перехват обращения к системным функциям • Изменение таблицы импорта процесса • Подмена таблицы экспорта • Подмена обработчика прерываний
Уровень 4. Системные вызовы и прерывания	
Уровень 3. Система команд	
Уровень 2. Процессы взаимодействия «процессор-память»	• Внесение изменений в машинный код команд
Уровень 1. Регистровые команды	

В результате к основным рискам нарушения работоспособности ИВК вследствие модификации вычислительного процесса следует отнести [2, 3]:

- искажение используемых данных, алгоритмов и вычислительных процессов;
- блокирование или искажение информационного обмена ИВК с другими аналогичными средствами;
- нарушение прав доступа к компонентам ИВК;
- частичный или полный срыв выполнения работы средств ИВК;
- частичное или полное блокирование выполнения алгоритмов экстренного управления;
- физическое уничтожение инфраструктуры ИВК.

Анализ существующих уязвимостей выполнения специального программного обеспечения в ИВК показал, что основные способы воздействия на вычислительный процесс направлены на:

- дезорганизацию структуры вычислений;
- искажение свойств вычислений;
- изменение выполняемых действий.

Таким образом, необходимо разработать новую модель представления знаний о вычислениях для контроля искажения их свойств при обработке информационно-расчетных задач, на основе многослойных инвариантов подобия [4].

2 Идея многослойных инвариантов для контроля выполнения программы

Для организации контроля выполнения вычислений, необходимо разработать такую модель исполняемой программы, которая позволила бы решить проблему не только обнаружения факта нарушения, но и определения места программы, которое подверглось модификации и принять меры для немедленного восстановления вычислений. Идея представления знаний о вычислениях в виде многослойного инварианта, позволяет формально описать модель про-

граммы, которая включает в себя знания о ее структуре (структурный инвариант) и семантике (семантический инвариант) вычислений.

Типовые программы информационно-расчетных задач, функционирующих в ИВК, имеют определенную иерархическую многоуровневую структуру [5], которая состоит из отдельных страт: совокупности всего программного обеспечения ИВК, специального программного обеспечения, состоящего из совокупности информационно-расчетных задач (ИРЗ) и программных комплексов, выполняющих вычисления в рамках одной целевой установки (например, баллистико-навигационного обеспечения). Данная стратификация определяет форму вычислительного процесса и позволяет построить структурный инвариант программы.

В свою очередь, каждая программа, загруженная в оперативную память процессора, имеет свою внутреннюю многослойную структуру, отображающую знания об общем количестве подпрограмм, программных блоках и атомарных операциях (рис.1). Данные знания позволяют судить о содержании вычислительного процесса и в дальнейшем формировать на основе математического аппарата теории размерности [6-9] и подобия семантический инвариант программы [10].

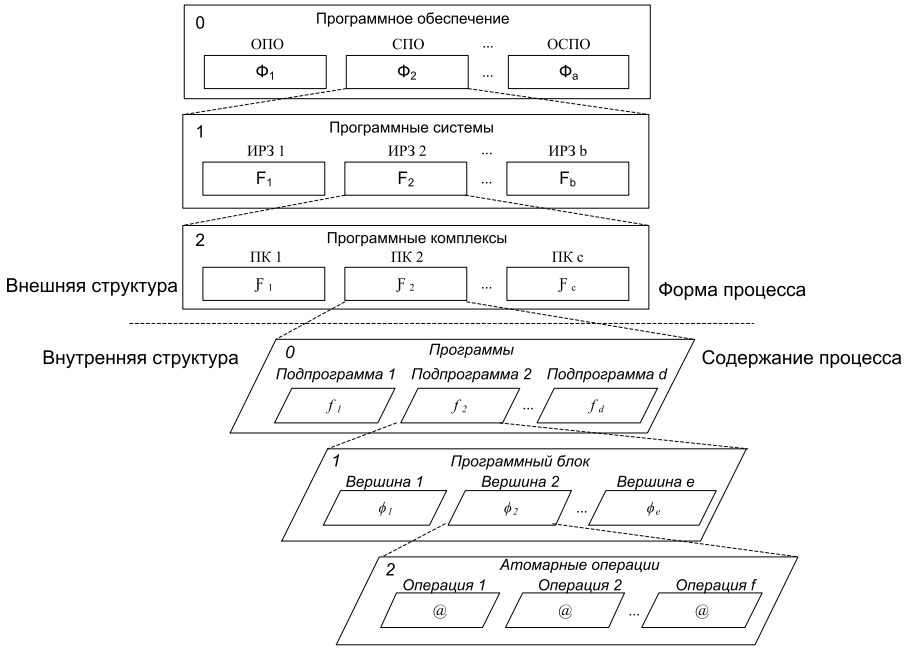


Рисунок 1 – Многоуровневое представление вычислительного процесса

Будем рассматривать верхнюю структуру программы как сложную статическую систему с конечным числом элементов, когда число страт в ней равно трем [11]. Все элементы системы в данном случае делятся на три типа: элементы нулевой (верхней) страты, элементы первой (средней) страты, элементы третьей (нижней) страты. Структуру верхнего уровня зададим с помощью бинарного отношения на базисном множестве этой страты:

$$\Phi = \{\Phi_1, \Phi_2, ..., \Phi_a\},\ r_s = \langle \Phi, \Phi; R_s \rangle = \langle \Phi^2; R_s \rangle .$$

Элементы Φi сами являются подмножествами, которые могут быть представлены в виде:

$$\Phi_i = \langle F_j, r_{si} \rangle, i = \overline{1,a},\ \ j = \overline{1,b} ,$$

где

$$F_{ij} = \left\{F_{ij1}, F_{ij2}, ..., F_{ijb}\right\}, r_{si} = \left\langle F_{ij}, F_{ij}; R_{si}\right\rangle = \left\langle F_{ij}^{\ 2}; R_{sj}\right\rangle .$$

И, наконец, элементы Fij могут быть представлены в виде:

$$F_{ij} = \left\langle \tau_k, r_{sjk}\right\rangle, i = \overline{1,c},\ j = \overline{1,b},\ k = \overline{1,c}$$

где

$$\tau_k = \left\{\tau_{ij1}, \tau_{ij2}, ..., \tau_{ijk}\right\}, r_{sij} = \left\langle \tau_{ij}, \tau_{ij}; R_{sij}\right\rangle = \left\langle \tau_{ij}^{\ 2}; R_{sij}\right\rangle .$$

Здесь Φ – программное обеспечение, F – множество ИРЗ, τ – множество программных комплексов, $r \subseteq R$ – отношение, характеризующее внутренние структурные и количественные характеристики программы.

Представленная таким образом структура вычислительного процесса усложняется тем, что введение на множестве элементов программ расчетных задач отношений различия между ними приводит к выделению из этого множества различных подмножеств подпрограмм и модулей задач, отражающих указанное различие (различие между подпрограммами, модулями, участвующих в решении конкретной задачи). Простейшей иллюстрацией сказанного является введение на множестве структурных элементов программ отношения эквивалентности, которое однозначно определяет разбиение базисного множества на непересекающиеся подмножества, которые называются классами эквивалентности:

$$A = A_1 \cup A_2 \cup ... \cup A_\nu,\ A_i \cap A_j \cap A_k = \varnothing \ при\ i \neq j \neq k\ .$$

Здесь A_i – классы эквивалентности множества структурных элементов программ. Верхний уровень здесь представляется агрегированным графом:

$$\Phi_i \approx c_i, C = \{c_i\}_1^k, R_{acp} = \{\left\langle c_i, c_j, c_k\right\rangle \mid \exists\left\langle \Phi_\alpha, \Phi_\beta, \Phi_\gamma\right\rangle\} \subseteq F^2\ ,$$

а последующие – графами соответствующих агрегатов.

Представим внутреннюю структуру вычислительного процесса [6-8] в виде управляющего графа реализующего его программы:

$$\Gamma(B, D)\ ,$$

где $B = \left\{B_i\right\}$ - множество вершин (линейных участков программы),

$D = \left\{B \times B\right\}$ - множество дуг (связей по управлению) между ними.

Путь в управляющем графе можно определить либо последовательностью вершин:

$$R^B(B_1, B_2, ..., B_n)\ ,$$

либо последовательностью дуг:

$$R^D = (d_1, d_2, ..., d_{n-1})\ ,$$

через которые он проходит. Здесь каждая дуга d связывает вершины ориентированного графа B_i и B_k.

Каждому элементарному (без циклов) пути R входной в выходную вершину графа соответствует упорядоченная последовательность вершин

$$R^k = (B_1^k, B_2^k, ..., B_t^k)\ ,$$

где $B^k \subseteq B$ и $B_i^k = (b_{i1}^k, b_{i2}^k, ..., b_{il}^k)$, $\forall i = \overline{1,p}$ образуют последовательность выполняемых арифметических операторов на каждом линейном участке $B_i \in B$ графа, т.е.

$B_i = (b_{i1}, b_{i2}, ..., b_{il})$, называемой реализацией программы или вычислительным процессом.

Рассмотрим управляющий граф подпрограммы информационно-расчетной задачи (рис.2).

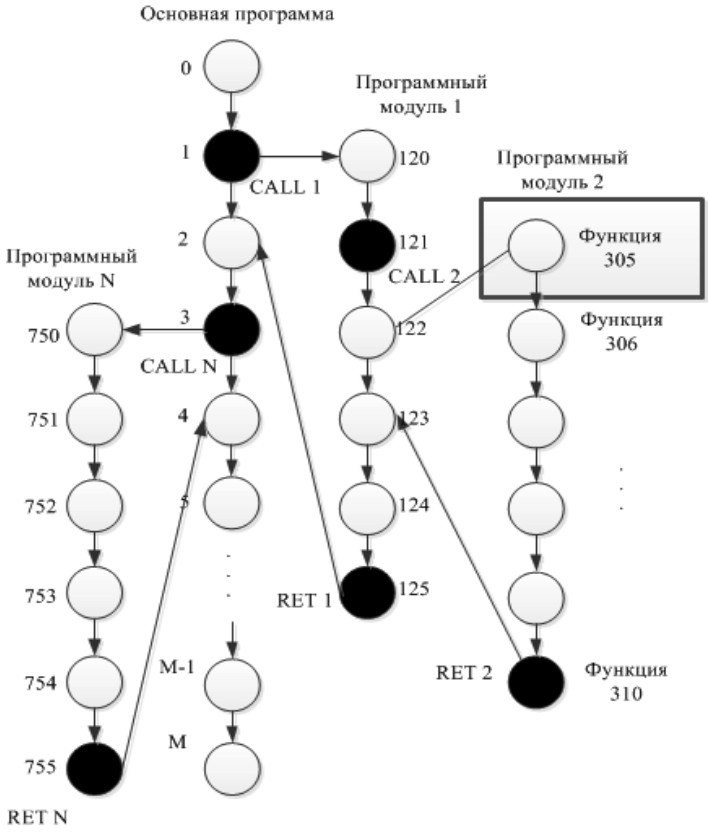


Рисунок 2 – Управляющий граф программы информационно-расчетной задачи

Как результат, управляющий граф процесса приводится к виду, в котором все операторы арифметических выражений сгруппированы на множестве линейных участков программы – вершинах графа (рис.3), в которые внедряются контрольные точки (КТ). Контрольные точки необходимы для определения контекста пути, в рамках которого происходят вычисления [12,13].

Для наиболее критичных маршрутов вычислений формируются множества КТ, которые встраиваются в исследуемую подпрограмму. Исходной моделью подпрограммы является управляющий граф (исследуемый маршрут вычислений) в терминах линейных участков. Во встроенных КТ для каждого линейного участка подпрограммы, где выполняются критические вычисления, происходит анализ соотношений подобия и строится матрица коэффициентов [14, 15].

Таким образом, объединив структурный и семантический инварианты, образуется многослойный инвариант программы, который представляет собой новую модель знаний о вычислениях и позволяет контролировать выполнение программы по наиболее вероятным путям ее реализации в зависимости от распределения входных данных.

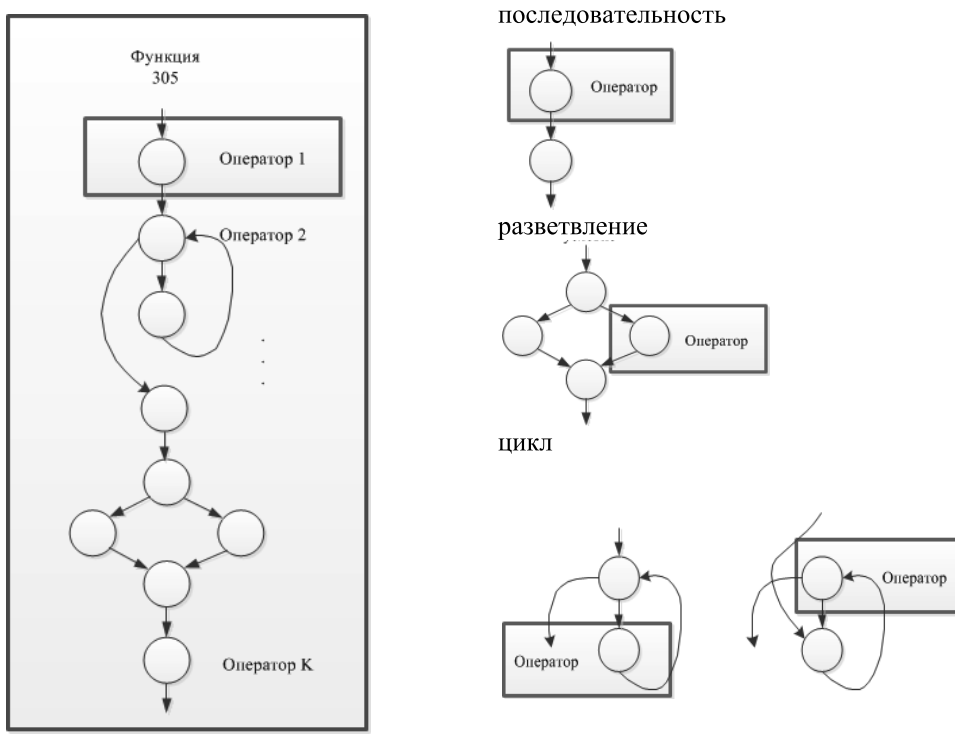


Рисунок 3 – Декомпозиция управляющего графа программы

3 Формирование многослойного инварианта для контроля выполнения программы

Многоуровневое представление вычислительного процесса на рис.1 можно изобразить в виде древовидной структуры (рис.4). Это деревья, каждый узел которых, исключая корень и листья, может содержать от одного до m поддеревьев. Будем говорить, что корень дерева является самым старшим уровнем иерархии (нулевой уровень) и представляет собой специальное программное обеспечение, совокупность узлов, входящих в корень, образуют первый уровень иерархии и представляют множество информационно-расчетных задач, совокупность узлов, входящих в узлы первого уровня иерархии, характеризуют её второй уровень, представляющих множество программных комплексов и т.д. Листья образуют последний, самый младший уровень иерархии и являются атомарными вычислительными операциями.

Следует отметить, что элементы верхнего уровня внутренней структуры графа представляют собой управляющие графы подпрограмм f_i, которые декомпозируются на программные блоки ϕ_i в терминах линейных участков управляющего графа. Форма представления вычислительного процесса в виде упорядоченного графа позволяет вывести атомарные операторы арифметических выражений @ из программных блоков (условных переходов, ветвлений, циклов) [1,2].

Моделирование вычислительного процесса управляющим графом вызвано необходимостью анализа (и исследования) функциональности программы с учетом структуры предметной области и определенных свойств ее переменных. Кроме того, такое представление внутренней структуры программы позволяет построить семантический инвариант для контроля ее целостности.

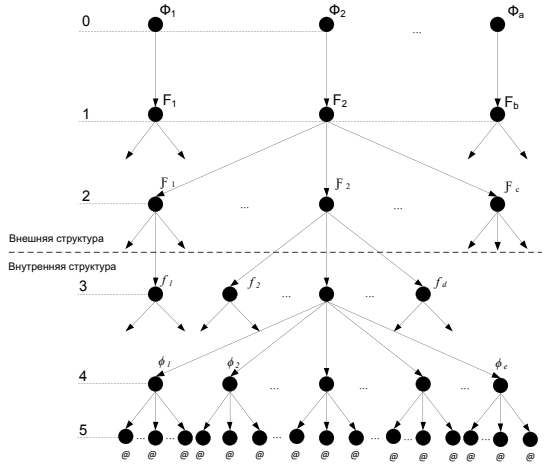


Рисунок 4 – Графовое представление структуры вычислений

Существующие возможности инструментальных средств IDA Pro и IRIDA 2.0 [16] позволяют представить вычислительный процесс исполняемого кода программы ИРЗ управляющим графом, описать граф вызовов подпрограмм, а также классифицировать передачи управления на подпрограммы (ближние вызовы, вызовы по содержимому регистра, вызовы через таблицу импорта, дальние вызовы, вызовы с возвратом или без возврата в вызывающую подпрограмму, неклассифицированные вызовы, к которым относятся недизассемблированные IDA Pro участки кода и участки кода, не отнесенные ни к одной подпрограмме). Кроме этого, в инструментальном комплексе IRIDA 2.0 реализован механизм расстановки КТ по трассе выполнения вычислительного процесса (рис.5), в которых в дальнейшем будет происходить формирование семантических эталонов. Таким образом, данные, полученные с помощью этих инструментальных средств (управляющий граф программы с внедренными КТ на линейные участки вычислительного процесса), являются входными данными для построения многослойного инварианта программы.



Рисунок 5 – Механизм внедрения КТ с помощью ИК IRIDA 2.0

В каждой КТ для арифметических операторов необходимо строить системы определяющих соотношений [7] в виде уравнений подобия. Решение данных систем позволит сформировать матрицы инвариантов, которые, в свою очередь, помогут контролировать семантику вычислительного процесса.

Реализацию (программный блок) B^k управляющего графа программы можно представить в виде упорядоченной последовательности первичных соотношений [9,13], соответствующих арифметическим операторам:

$$(1)\quad \begin{cases} y_1 = f_1^k(x_1, x_2, ..., x_N), \\ y_2 = f_2^k(x_1, x_2, ..., x_N, y_1), \\ ... \\ y_M = f_M^k(x_1, x_2, ..., x_N, y_1, y_2, ..., y_{M-1}). \end{cases}$$

Выполнив в правых частях соотношений суперпозицию $\{y_i\}$ на X, получим систему соотношений инвариантных относительно перемещения:

$$(2)\quad \begin{cases} y_1 = z_1^k(x_1, x_2, ..., x_N), \\ y_2 = z_2^k(x_1, x_2, ..., x_N), \\ ... \\ y_m = z_m^k(x_1, x_2, ..., x_N). \end{cases}$$

Соотношение $y_i = z_i^k(x_1, x_2, ..., x_N)$ можно представить в виде:

$$(3)\quad y_i = \sum_{i=1}^{p_i} z_{ij}(x_1, x_2, ..., x_N),$$

где $z_{ij}(x_1, x_2, ..., x_N)$ – степенной одночлен.

В соответствии с правилом Фурье слагаемые суммы (3) должны быть однородными по размерностям, т.е.

$$(4)\quad \begin{array}{l} [y_i] = [\, z_{ij}(x_1, x_2, ..., x_N)\,], \ j = \overline{1, p_i} \ \text{ или} \\ [\, z_{ij}(x_1, x_2, ..., x_N)\,] = [\, z_{il}(x_1, x_2, ..., x_N)\,], \ j, l = \overline{1, p_i} \end{array}$$

Система (4) является системой определяющих соотношений или системой уравнений подобия.

С помощью функции ρ = $X \to [X]$ сопоставим каждому $x_j \in X$ некоторую абстрактную размерность $\left[x_j\right] \in \left[X\right]$. Тогда размерности слагаемых суммы (3) выразятся как

$$(5)\quad \left[z_{ij}(x_1, x_2, ..., x_n\right] = \prod_{n=1}^{N} \left[x_n\right]^{\lambda_{jn}}, \ j = \overline{1, p_i}$$

Используя (4) и (5), построим систему определяющих соотношений

$$\prod_{n=1}^{N} \left[x_n\right]^{\lambda_{jn}} = \prod_{n=1}^{N} \left[x_n\right]^{\lambda_{ln}}, \ j, l = \overline{1, p_i},$$

которую преобразуем к виду

$$(6)\quad \prod_{n=1}^{N} \left[x_n\right]^{\lambda_{jn} - \lambda_{ln}} = 1, \quad j, l = \overline{1, p_i}$$

Используя прием логарифмирования, как это обычно делается при анализе соотношений подобия, из системы (5) получим однородную систему линейных уравнений

(7) $\sum_{n=1}^{N}\left(\lambda_{j\,n}-\lambda_{l\,n}\right)\ln[x_n]=0\,,\ \ j,l=\overline{1,p_i}$

Выражение (8) является критерием семантической корректности.

Выполнив подобное построение для $\forall B_i^k \in B^k$ получим для *к*-ой реализации систему однородных линейных уравнений:

(8) $A^{\kappa}\omega = 0$

В общем случае, можно предположить, что функция $\rho = X \rightarrow [X]$ сюръективна и, следовательно, реализация B^k представляется матрицей $A^k = \left\| a_{ij} \right\|$ размером $m_k \times n_k$, у которой число столбцов не меньше, чем число строк, т.е. $n_k \geq m_k$.

Будем говорить, что реализация B^k представительна, если ей соответствует матрица A^{κ} с $m_k \geq 1$, т.е. реализация позволяет построить хотя бы один критерий подобия.

Обычно программа соответствует отдельному функциональному модулю или состоит из взаимосвязанной группы таковых и описывает общее решение некоторой задачи. Каждая из реализаций $B^k \in B$ описывает частное решение этой же задачи, соответствующее определенным значениям компонент *X*. Так как $B^k \cap B^l \neq \varnothing$, $\forall B^k, B^l \in B$, то структура математических зависимостей при переходе от одной реализации к другой должна в основном сохраняться, т.е. критерии подобия должны быть общими. Тогда матрицы $\{A^k\}$, соответствующие реализациям $\{B^k\}$, могут быть объединены в одну систему.

Пусть подпрограмма имеет *q* реализаций. Обозначим через *A* объединение матриц $\{A^k\}$, соответствующих реализациям $\{B^k\}$, т.е.

(9) $A = \begin{pmatrix} A_1 \\ \dots \\ A_q \end{pmatrix}.$

Построение *A* можно осуществить по выборочным, обеспечивающим покрытие вершин реализациям. Нетривиальная совместность системы матриц *A*, согласно данному методу, является критерием контроля семантической корректности процесса.

При разработке программы на процедурном языке программирования для точек вызова процедур и подпрограмм возникает вопрос сопряжения их формальных параметров. В этом случае формируются квадратные перестановочные матрицы T_e, отражающие соответствие между формальными параметрами процедуры и основными переменными процесса. В этом случае система (10) может иметь следующий вид:

(10) $A = \left\| \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \cdot T_1 \\ A_3 \\ \dots \\ A_{q-2} \cdot T_{e-1} \\ A_{q-1} \cdot T_e \\ A_q \end{matrix} \right\|.$

Прямым методом исчисления модифицированного критерия является построение на основании матрицы *A* коэффициентов системы уравнений размерности (10) матрицы *R*, имеющей специальную форму:

$$(11)\quad R=\begin{Vmatrix} 1 & 0 & \dots & 0 & c_{1,1} & \dots & c_{1,n-k} \\ 0 & 1 & \dots & 0 & c_{2,1} & \dots & c_{2,n-k} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & 1 & c_{k,1} & \dots & c_{k,n-k} \end{Vmatrix}.$$

Матрицу R в данной форме можно представить следующей формулой:

$$(12)\quad R_{k\times n}=E_{k\times k}\mid C_{k\times(n-k)}$$

где E – единичная матрица, k и n – количество строк и столбцов исходной матрицы A соответственно.

Для построения матрицы R достаточно использовать три типа операций:

1) сложение произвольной строки матрицы с линейной комбинацией других строк;
2) перестановка строк;
3) перестановка столбцов.

Применительно к решению системы ограничений размерности матрица R идентична матрице A за исключением возможно произведенных перестановок столбцов. То есть имеет место эквиваленция

$$(13)\quad (S\cdot X=0)\Leftrightarrow(R\cdot T\cdot X=0)$$

где T – квадратная перестановочная матрица размерности $n\times n$, соответствующая выполненным на этапе построения R перестановкам столбцов в A. Данный результат обусловлен характером преобразований, выполняемых над матрицей A в процессе построения матрицы R.

Формула (13) позволяет при исчислении модифицированного критерия семантической корректности использовать не матрицу A, а матрицу R.

Таким образом семантический инвариант, характеризующий внутреннюю структуру программы, представляет собой базу данных семантических эталонов $\{A^k\}$ для линейных участков программы $\{B^k\}$, а в общем случае объединение матриц A в матрицу R формирует базу данных семантических эталонов $\{R_i\}$для подпрограмм f_i.

Для формирования семантического инварианта, полученного при решении систем уравнений описанным выше образом, в качестве переменных уравнений использовались операнды программ. Для формирования структурного инварианта в качестве переменных систем уравнений будем использовать имена подпрограмм, комплексов и задач.

Определим аддитивную операцию «+» и мультипликативную операцию «*» на приведенной выше внешней структуре вычислений. Будем считать, что если два элемента структуры не взаимодействуют между собой, то они связаны между собой аддитивной операцией «+». В противном случае они связаны мультипликативной операцией «*». Таким образом, мы имеем возможность описать полученную структуру в виде систем уравнений.

Операцию умножения в общем виде можно представить как умножение структурных многочленов $x^0(\Omega_1(x))$ и $x^0(\Omega_2(y))$:

$x^0(\Omega_1(x)) * x^0(\Omega_2(y))$.

Здесь символ $x^0 = 1$ означает корень структурного дерева, вместо которого будет в дальнейшем записан некоторый символ структуры и, тем самым, будет осуществляться преобразование дерева в некоторое новое поддерево.

Умножение многочленов даёт:

$x^0(\Omega_1(x)) * x^0(\Omega_2(y)) = x^0(\Omega_1(x)) * (\Omega_2(y))$

Количество сомножителей характеризует число уровней иерархии структуры, а структура каждого сомножителя характеризует структуру соответствующего уровня иерархии. Выражение, стоящее в правой части, отражает фактическую структурную сложность каждого элемента на самом элементарном уровне иерархии структуры.

Операцию сложения в общем виде можно представить как сложение структурных многочленов $x^0(\Omega_1(x))$ и $y^0(\Omega_2(y))$:

$x^0(\Omega_1(x)) + y^0(\Omega_2(y))$.

Полученный многочлен представляет собой структуру с максимальной сложностью отношений субординации в модулях, её составляющих ($\Omega_1(x)$ и $\Omega_2(y)$).

Рассмотрим следующую структурную схему (рис.6):

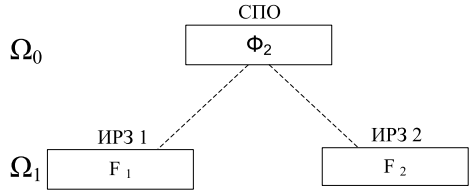


Рисунок 6 – Структурная схема уровней представления программных систем

Схему на рис.6 можно описать уравнением:

$\Omega_1 = \omega(\Omega_0) = \Phi_2 * (F_1(\Phi_2) + F_2(\Phi_2))$.

Используя метод подстановки, все эти многочлены можно развернуть, выражая многочлен Ωi через Ω1. Дальнейшая развертка структуры (рис.7) дает многочлен:

$\Omega_2=\omega(\Omega_1)=(\Phi_2*(F_1(\Phi_2)+F_2(\Phi_2)))(f_1((\Phi_2*(F_1(\Phi_2)+F_2(\Phi_2))))+(f_2((\Phi_2*(F_1(\Phi_2) + F_2(\Phi_2)))))$.

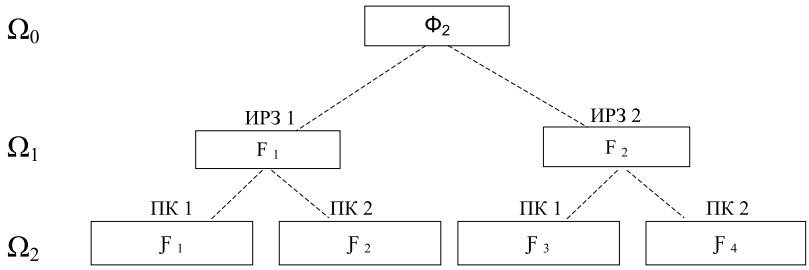


Рисунок 7 – Структурная схема уровней программного обеспечения, программных систем и комплексов

Рассмотрим операцию свертки структурных многочленов. В результате свертки структурный многочлен преобразуется таким образом, что по своей структуре будет тождественен к исходному многочлену. Процесс свертки заключается в том, что происходит преобразование структуры к более простому виду.

Пусть, например, мы имеем следующие структурные многочлены

$$(14)\quad \begin{cases} \Omega_3 = \omega(\Omega_2) = f_1 * (f_1(f_1) + f_2(f_1)); \\ \Omega_2 = \omega(\Omega_1) = F_1 * (f_1(F_1) + f_2(F_1)); \\ \Omega_1 = \omega(\Omega_0) = \Phi_2 * (F_1(\Phi_2) + F_2(\Phi_2)); \end{cases}$$

Здесь каждый последующий многочлен является сверткой предыдущего, т.е. каждый предыдущий многочлен в таких структурах играет роль элементарного члена структуры (базисный элемент).

Рассмотрим систему уравнений, описывающую структуру выполнения вычислений программного комплекса информационно-расчетной задачи в рамках специального программного обеспечения, содержащего три подпрограммы:

$$(15)\quad \begin{cases} \text{Ғ} = \text{Ғ}_1 * (f_1 + f_2 + f_3); \\ \text{F} = \text{F}_1 * \text{Ғ}; \\ \Phi = \Phi_2 * \text{F}. \end{cases}$$

В терминах размерностей систему (15) можно представить в виде [6-8]:

$$(16)\quad \begin{cases} [f_1]^1 = [f_2]^1 \\ [f_1]^1 = [f_3]^1 \\ [\text{Ғ}]^1 = [\text{Ғ}_1]^1 [f_1]^1 \\ [\text{F}]^1 = [\text{F}_1]^1 [\text{Ғ}]^1 \\ [\Phi]^1 = [\Phi_2]^1 [\text{F}]^1 \end{cases}$$

Используя прием логарифмирования, из системы (16) получим матрицу коэффициентов:

$$S = \begin{pmatrix} 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & -1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & -1 & 1 \end{pmatrix}$$

Решение системы (14) позволяет получить матрицу коэффициентов, описывающую структурный инвариант программы. Таким образом, многослойный инвариант программы (рис.8) представляет собой многомерную матрицу [17], позволяющую контролировать семантику вычислительного процесса.

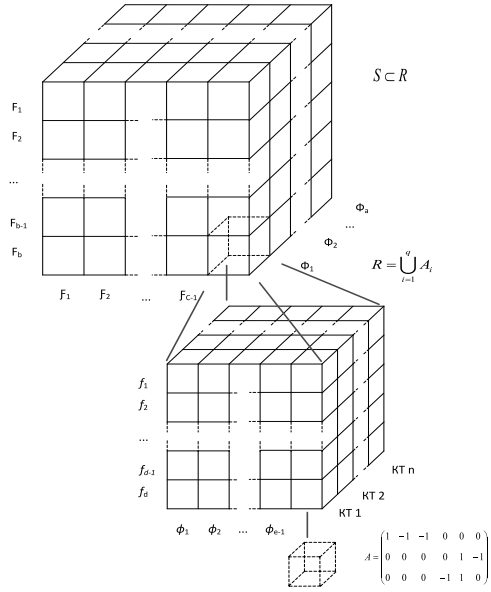


Рисунок 8 – Многослойный инвариант программы

Здесь, как показано выше, матрица A – инвариант программного блока, объединение которых образует матрицу R, – инвариант подпрограммы. Инвариант структуры S включает в себя матрицу R и образует, тем самым, многослойный инвариант программного обеспечения ИВК.

4 Облик интеллектуальной системы администрирования безопасности выполнения специальных вычислений

Схема этапов управления безопасностью выполнения специальных вычислений включает подготовительный и основные этапы. К подготовительному этапу относится этап формирования паспорта программы в инвариантах подобия, к основным относятся этап контроля корректности вычислений и этап администрирования безопасности выполнения вычислений [18].

Этап контроля корректности вычислений включает подэтапы формирования инвариантов подобия в условиях воздействий, формирования базы данных инвариантов подобия в контрольных точках УГ программы, обнаружения воздействия в результате проверки критерия семантической корректности вычислительных процессов по паспорту программы. На этапе администрирования безопасности выполнения вычислений супервизор анализирует обнаруженные модификации и принимает решение на обработку критических ситуаций.

Общее представление вычислительной системы, производящей корректные вычисления в условиях скрытых воздействий, отражено на рисунке 9.

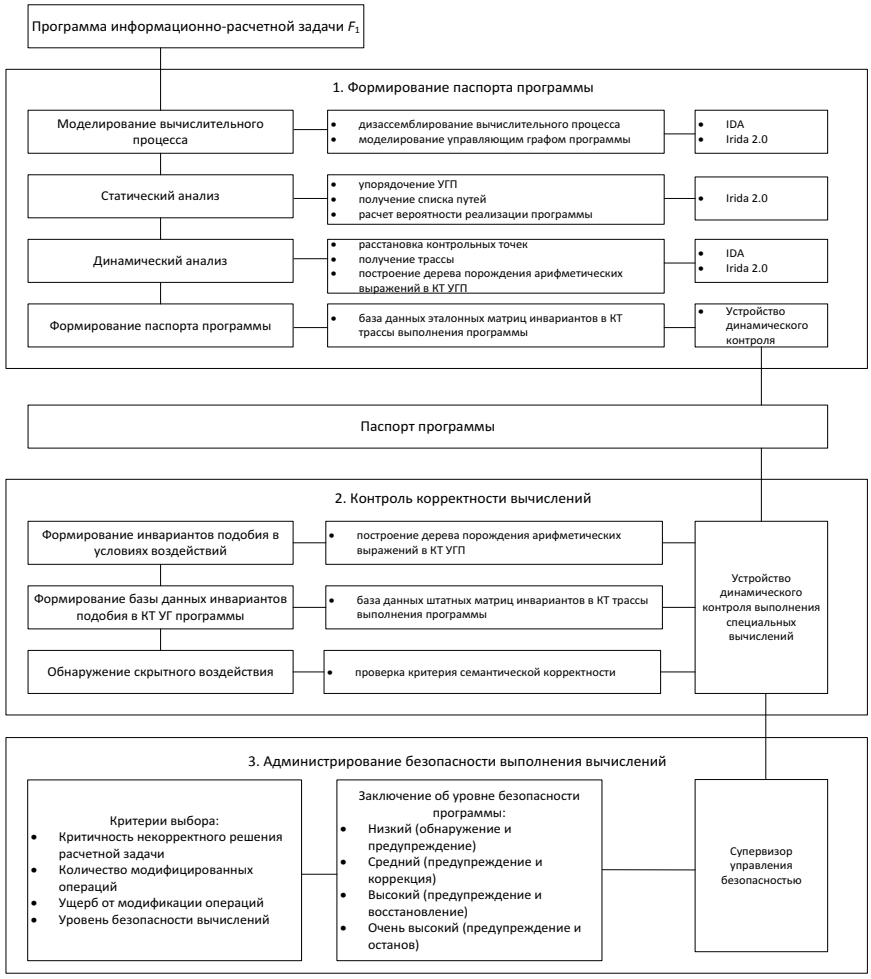


Рисунок 9 – Система администрирования безопасности выполнения специальных вычислений

Описанные выше преобразования процесса для контроля производимых вычислений требуют значительных затрат ресурсов вычислительной системы. Поэтому для реализации предложенного подхода разработана полезная модель устройства [9], позволяющего в режиме реального времени выполнения задачи производить контроль вычислений с минимальным временем задержки.

Устройство представляет собой отдельную микросхему, содержащую блок анализа машинных инструкций, поступающих с процессора (математического сопроцессора), блок обработки данных, содержащий программируемую логическую интегральную схему для высокопроизводительной обработки данных и позволяющий с помощью семантической функции:

$$T : a \rightarrow [\, a \,]$$

ставить в соответствие каждому аргументу a некоторую абстрактную сущность или размерность $[a]$, блок построения определяющих соотношений в терминах размерностей в соответствии с обрабатываемой машинной (ассемблерной) инструкцией, блок решения системы определяющих соотношений, результатом которого является матрица инвариантов подобия, блок анализа и сравнения полученных матриц инвариантов с эталонными матрицами, база данных которых хранится в виде паспорта программы в постоянном запоминающем устройстве (рис.10).

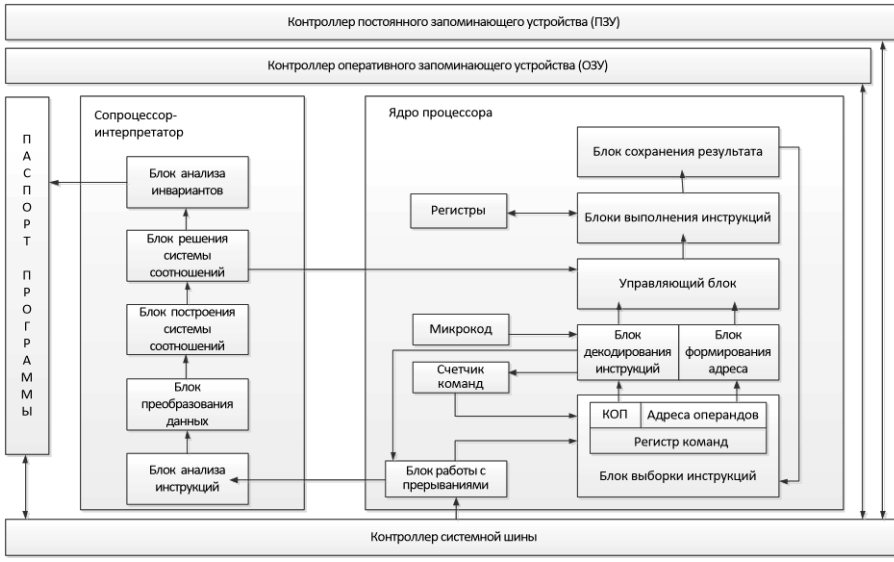


Рисунок 10 – Функционально-логическая схема устройства динамического контроля выполнения специальных вычислений

Плата сопроцессора обеспечивает распараллеливание задач контроля и управления вычислительным процессом, выполняемого центральным процессором (математическим сопроцессором). Устройство и процессор обмениваются информацией по каналам последовательного интерфейса (рис. 11).

Устройство работает следующим образом:

Множество команд K исполняемой программы (команды ассемблера) разбивается на три подмножества [9]:

1) K_A – аддитивные команды (сложение, вычитание, сравнение …);
2) K_M – мультипликативные команды (умножение, деление, возведение в степень, …);
3) K_N – не интерпретируемые команды.

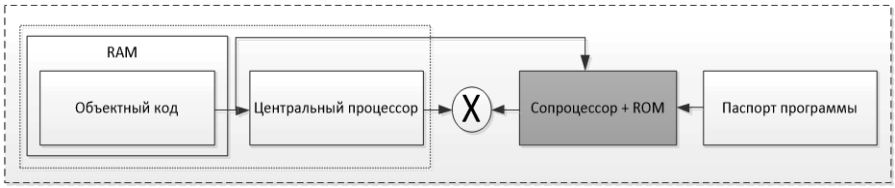


Рисунок 11 – Взаимодействие устройства с центральным процессором

Устройство интерпретирует команды процессора (математического сопроцессора) следующим образом:

- если процессор выполняет команду $\kappa_i \in K_A$, то сопроцессор выполняет сравнение размерностей ее операндов;
- если процессор выполняет команду $\kappa_i \in K_M$, то сопроцессор выполняет манипуляции с размерностями операндов (сложение или вычитание);
- если процессор выполняет команду $\kappa_i \in K_N$, то сопроцессор простаивает.

Технический результат заключается в том, что полезная модель позволяет представить вычислительный процесс в виде соответствующей системы уравнений размерностей, решение системы позволяет исследовать семантику вычислений, производимых процессором (математическим сопроцессором), сравнение полученных результатов с эталонными позволяет сделать вывод о корректности выполняемого вычислительного процесса и отсутствии скрытных модификаций арифметических операций.

Кроме того, разработана модель системы интеллектуального администрирования безопасности выполнения специальных вычислений (рис.12), которая позволяет проводить контроль наиболее критических путей выполнения программы в потоке вычислений, осуществлять при помощи супервизора корреляционный анализ выявленных модификаций и выделять наиболее критические события, которые требуют немедленного реагирования.

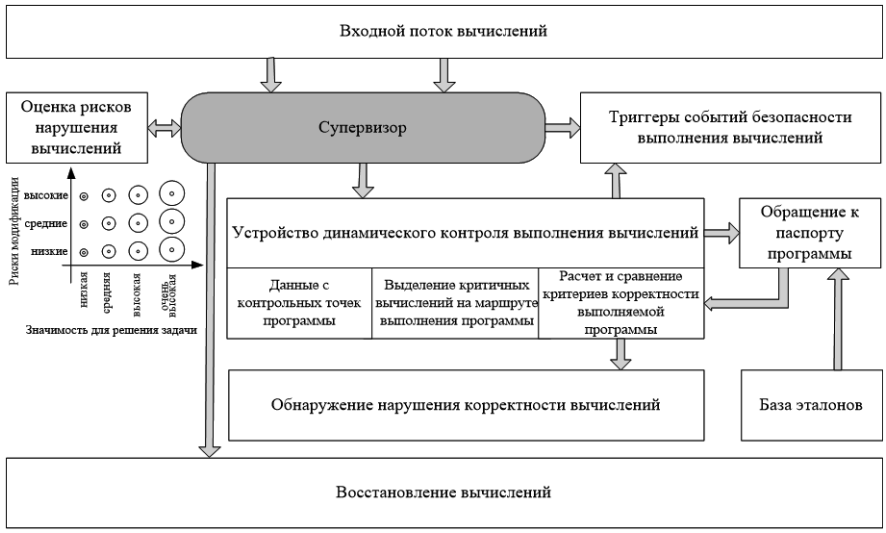


Рисунок 12 – Архитектура системы управления безопасностью вычислений

В данной модели основные функции управления безопасностью вычислений выполняет специализированный супервизор, представляющий собой устройство, которое на каждое прерывание, поступающее с контроллера выполнения вычислений, рассчитывает оценку рисков нарушения семантики вычислений на основе автоматизированного метода анализа иерархий.

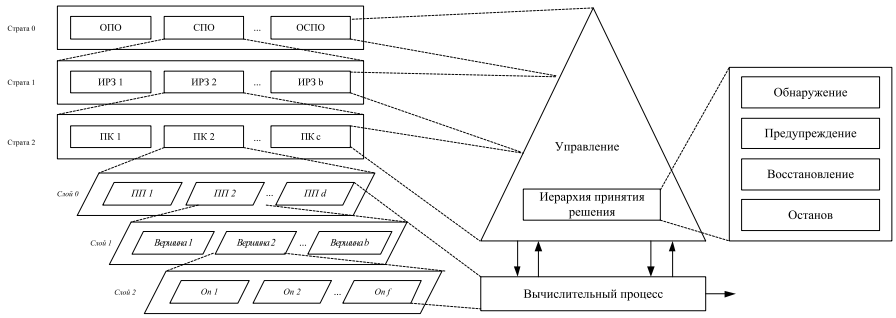


Рисунок 13 – Иерархия уровней принятия решения по управлению безопасностью выполнения вычислений

Метод анализа иерархий (МАИ) представляет собой математический инструмент системного подхода принятия оптимальных решений [19, 20]. МАИ содержит процедуру синтеза приоритетов, вычисляемых на основе информации, поступающей с устройства динамического контроля вычислений. Супервизор производит математические вычисления и обработку поступающей информации, выполняет количественную оценку альтернативных вариантов решения и на основе полученных данных принимается решение на предупреждение или восстановление вычислений по паспорту программы.

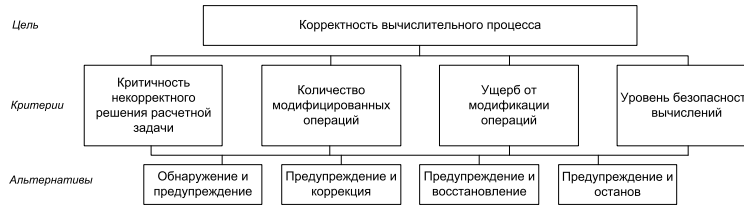


Рисунок 14 – Критерии принятия решения супервизором

Для определения подхода к многокритериальной проблеме определения корректности вычислительного процесса необходимо составить матрицу и выразить парные суждения. В силу разнородности критериев оценки формируются по шкале относительной важности (табл.2). Например, если сравниваются относительные веса критериев и имеются критерий А весом W_A и Б весом $W_Б$, то в качестве отношения критерия А к критерию Б в матрицу вводится отношение W_A / $W_Б$. Обратная величина – $W_Б$ / W_A вводится в матрицу в качестве отношения критерия Б к критерию А.

Таблица 2 – Шкала относительной важности

Интенсивность относительная	Определение	Объяснения
1	Равная важность	Равный вклад двух критериев в цель
3	Умеренное превосходство одного над другим	Опыт и суждения дают легкое превосходство одному критерию над другим
5	Существенное или сильное превосходство	Опыт и суждения дают сильное превосходство одному критерию над другим
7	Значительное превосходство	Одному критерию дает значимое превосходство
9	Очень сильное превосходство	Очевидность. Превосходство одного критерия над другим подтверждается наиболее сильно
2, 4, 6, 8	Промежуточные решения между двумя соседними суждениями	Применяются в компромиссном случае
Обратные величины приведенных выше чисел	Если при сравнении критериев получено одно из вышеуказанных чисел (3), то при сравнении второго критерия с первым получим обратную величину (1/3)	

Для каждого последующего уровня иерархии строятся дополнительные матрицы. Сравнивается, какой из двух сравниваемых критериев считается более важным и насколько он более важен именно по отношению к цели.

После составления матриц и субъективных парных суждений необходимо определить ту альтернативу, которую следует выбрать. Из группы матриц парных сравнений формируется набор локальных приоритетов, выражающих относительное влияние множества элементов на элемент примыкающего сверху уровня. Теперь надо найти относительную силу, желательность или вероятность каждого отдельного объекта через решение матриц, каждая из которых обладает обратно-симметричными свойствами. Для этого нужно вычислить множество собственных векторов для каждой матрицы, а затем нормализовать результат к единице, получая тем самым вектор приоритетов (табл.3).

Таблица 3 – Получение вектора приоритетов

Матрица					Вычисление оценки компонент собственного вектора по строкам	Нормализование результата для получения оценки вектора приоритетов
	A_1	A_2	A_3	A_4		
A_1	$\frac{w_1}{w_1}$	$\frac{w_1}{w_2}$	$\frac{w_1}{w_3}$	$\frac{w_1}{w_4}$	$\sqrt[4]{\frac{w_1}{w_1}\times\frac{w_1}{w_2}\times\frac{w_1}{w_3}\times\frac{w_1}{w_4}}=a$	$\frac{a}{сумма}=x_1$
A_2	$\frac{w_2}{w_1}$	$\frac{w_2}{w_2}$	$\frac{w_2}{w_3}$	$\frac{w_2}{w_4}$	$\sqrt[4]{\frac{w_2}{w_1}\times\frac{w_2}{w_2}\times\frac{w_2}{w_3}\times\frac{w_2}{w_4}}=b$	$\frac{b}{сумма}=x_2$
A_3	$\frac{w_3}{w_1}$	$\frac{w_3}{w_2}$	$\frac{w_3}{w_3}$	$\frac{w_3}{w_4}$	$\sqrt[4]{\frac{w_3}{w_1}\times\frac{w_3}{w_2}\times\frac{w_3}{w_3}\times\frac{w_3}{w_4}}=c$	$\frac{c}{сумма}=x_3$
A_4	$\frac{w_4}{w_1}$	$\frac{w_4}{w_2}$	$\frac{w_4}{w_3}$	$\frac{w_4}{w_4}$	$\sqrt[4]{\frac{w_4}{w_1}\times\frac{w_4}{w_2}\times\frac{w_4}{w_3}\times\frac{w_4}{w_4}}=d$	$\frac{d}{сумма}=x_4$

Умножение матрицы на вектор приоритетов производится следующим образом (17):

$$(17)\quad A_{4\times4}\times\begin{pmatrix}x_1\\x_2\\x_3\\x_4\end{pmatrix}=\begin{pmatrix}Y_1\\Y_2\\Y_3\\Y_4\end{pmatrix}$$

Приоритеты синтезируются, начиная со второго уровня вниз. Локальные приоритеты перемножаются на приоритет соответствующего критерия на вышестоящем уровне и суммируются по каждому элементу в соответствии с критериями, на которые воздействует этот элемент. Это дает составной, или глобальный, приоритет того элемента, который затем используется для взвешивания локальных приоритетов элементов, сравниваемых по отношению к нему как к критерию и расположенных уровнем ниже. Процедура продолжается до самого нижнего уровня.

Таким образом, в общем виде представлено абстрактное решение задачи разработки научно-методического аппарата интеллектуального администрирования безопасности выполнения алгоритмов программ расчетных задач при искажениях вычислений.

Заключение

Исследование современной ситуации в области обнаружения скрытных воздействий на вычисления, а также анализ нормативно-правовых аспектов в сфере информационной безопасности РФ позволили сделать вывод об актуальности разработки новых моделей и методов рационального применения средств защиты информации для выполнения требований своевременности обнаружения ИТВ, учитывая скрытность их проведения вероятным противником [21-24]. Современные методы верификации и контроля не распространяются на этап выполнения программ, когда естественные ошибки и уязвимости, а также преднамеренные закладки проявляются через используемые данные и ресурсы.

Анализ следствий теории подобия и теории размерностей позволили предложить применение новых информативных признаков – инвариантов подобия для контроля корректности вычислительных процессов. Применение инвариантов подобия в терминах теории размерностей для обнаружения нарушения семантической корректности вычислительных процессов позволяет максимально приблизить систему контроля искажений и восстановления процессов вычислений к семантике контролируемого процесса. Полученные результаты позволяют представить вычислительный процесс в виде многослойного инварианта, содержащий в себе информацию о структуре контролируемых вычислений и их семантических свойствах. Разработанное для реализации этой модели устройство позволяет построить системы уравнений размерностей и инвариантов подобия вычислений, их решение позволяет исследовать семантику вычислений в условиях скрытных модификаций, а предложенная модель супервизора позволяет определить место модификации в программе. Построенная система интеллектуального администрирования безопасности выполнения программ подтверждает результативность предлагаемого подхода.

Благодарности

Работа выполнена при поддержке грантов: гранта РФФИ (№ 16-29-04268 офи_м), гранта Президента РФ (НШ-6831.2016.8).

Список литературы

[1] Петренко С.А., Ступин Д.Д. Национальная система раннего предупреждения о компьютерном нападении // под. ред. Боева С.Ф. – СПб.: Афина. – 2017. – 437 с.

[2] Петренко С.А., Курбатов В.А., Бугаев И.А., Петренко А.С. Когнитивная система раннего предупреждения о компьютерном нападении // Защита информации. Инсайд. 2016. № 3 (69). С. 74-82.

[3] Ломако А.Г., Зима В.М. Многомодельное исследование программ // Приборостроение. – 1993 №2 - С.76.

[4] Зима В.М., Котухов М.М., Ломако А. Г., Марков А.С., Молдовян А.А. Разработка систем информационно-компьютерной безопасности. СПб: ВАК им. А. Ф. Можайского, 2003.– 327 с.

[5] Месарович М., Мако Д., Такахара И. Теория многоуровневых иерархических систем // М.: МИР – 1973. – 344 с.

[6] Годердзишвили Г.М., Ковалев В.В., Романюк В.А. Метод статического контроля правильности программ. – СПб, 1986 – 8 с.

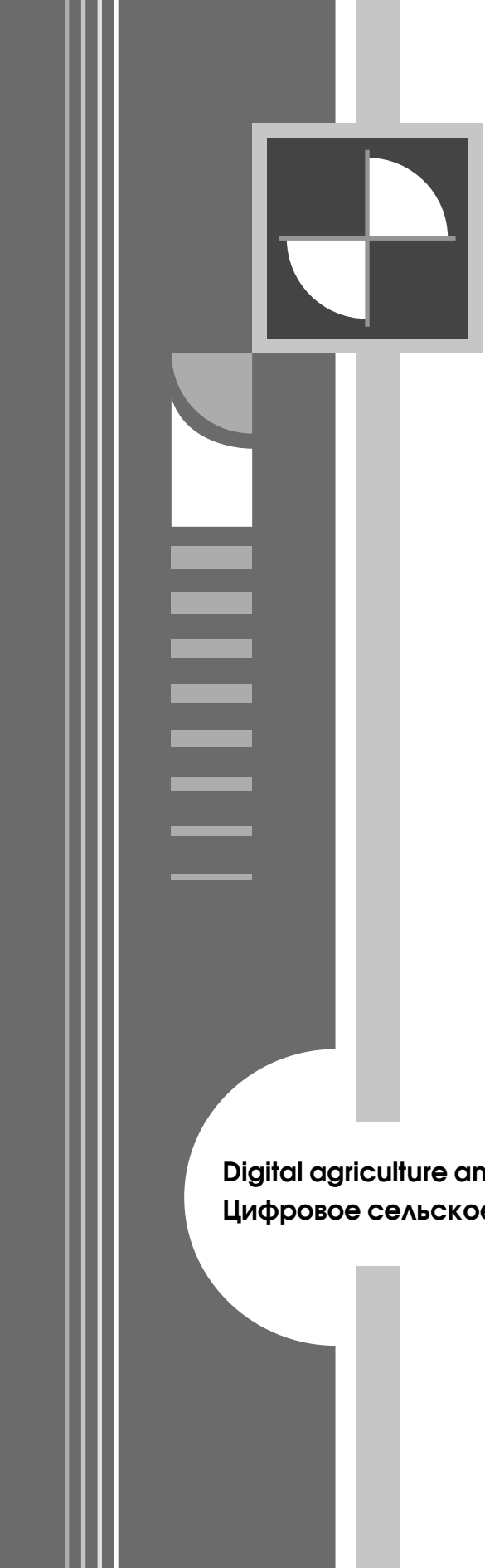
[7] Харжевская А.В., Ломако А.Г., Петренко С.А. Представление программ инвариантами подобия для контроля искажения вычислений. – Вопросы кибербезопасности.– 2017.- № 2(20).-С. 9-20.

[8] Зотова А.В., Компаниец Р.И., Ковалев В.В. Способ паспортизации расчетных алгоритмов программ // Защита информации. Инсайд. 2016. № 5 (71). С. 26-33.

[9] Ковалев В.В., Компаниец Р.И., Новиков В.А. Верификация программ на основе соотношений подобия // Труды СПИИРАН. 2015. № 1. С. 233-245.

[10] Петренко С.А., Ломако А.Г., Амельченкова О.Н., Зотова А.В. Вычисления с памятью критически важных информационных систем в условиях кибератак // Защита информации. Инсайд. 2012. № 6 (48). С. 58-69.

[11] Калинин В.Н. Теоретические основы системных исследований. – СПб.: ВКА им. Можайского, 2013. – 278 с.
[12] Ломако А.Г., Еремеев М.А., Новиков В.А. Метод выявления дефектов и недокументированных возможностей программ // Информационное противодействие угрозам терроризма. 2010. № 14. С. 46-49.
[13] Компаниец Р.И., Ковалев В.В., Маньков Е.В. Экспертиза и защита кода программ на основе автоматов динамического контроля. – Inside. Защита информации. – 2007. - № 3. – С. 48 – 55.
[14] Новиков В.А., Компаниец Р.И., Ломако А.Г. «Спецпроверка» программ // Защита информации. Инсайд. 2006. № 3 (9). С. 18-27.
[15] Ломако А.Г., Еремеев М.А., Новиков В.А. Метод выявления дефектов и недокументированных возможностей программ // Информационное противодействие угрозам терроризма. 2010. № 14. С. 46-49.
[16] Инструментальный комплекс для автоматизации проведения статического и динамического анализа потоков управления в исполняемых кодах программ «IRIDA» // ТУ 425790.007.72410666.04. ООО «Газинформсервис».
[17] Ильин В.А., Позняк Э.Г. Линейная алгебра // М.: ФИЗМАТЛИТ. – 2004. – 280 с.
[18] Зотова А.В. Алгоритм контроля корректности функционирования критически важных информационно-технических объектов. – Сборник статей по материалам докладов Всероссийской научно-практической конференции. – Воронеж: ВУНЦ ВВС, 2013. Вып. 1 – С. 304 -308.
[19] Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий – М: Радио и связь. – 1993. – 278 с.
[20] Зотова А.В., Голицын С.А., Бунина Ю.Е. «Программа выбора приоритетов решения сложноструктурированных задач методом анализа иерархий» – Свидетельство о государственной программы для ЭВМ № 2014618117 – 2014 г.
[21] Петренко С.А., Петренко А.С. Новая доктрина информационной безопасности Российской Федерации // Защита информации. Инсайд. 2017. № 1 (73). С. 33-39.
[22] Петренко А.С., Петренко С.А. Первые межгосударственные киберучения стран СНГ: «Кибер-Антитеррор-2016» // Защита информации. Инсайд. 2016. № 5 (71). С. 57-63.
[23] Петренко А.А., Петренко С.А. Киберучения: методические рекомендации ENISA // Вопросы кибербезопасности. 2015. № 3 (11). С. 2-14.
[24] Петренко А.А., Петренко С.А. НИОКР Агенства DARPA в области кибербезопасности // Вопросы кибербезопасности. 2015. № 4 (12). С. 2-22.



Digital agriculture and agro cybernetics
Цифровое сельское хозяйство и агрокибернетика

ВЛИЯНИЕ ЦИФРОВОЙ ЭКОНОМИКИ НА РАЗВИТИЕ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

И.С. Козубенко[1], С.Н. Косогор[2]

[1]Департамент развития и управления государственными информационными ресурсами АПК Минсельхоз России
[2]Аналитический центр Минсельхоз России
Орликов пер., 1/11, Москва, 107139
ел: (495) 608-60-00;
E-mail: dit@mcx.ru

Ключевые слова: *Информационные технологии, сельское хозяйство, цифровая экономика, Эффективный гектар, ИТ-индекс, ЕФИС ЗСН, Личный кабинет СХТП.*

Аннотация

В статье рассматривается вопросы влияние цифровой экономики на развитие сельского хозяйства, определяется степень влияния информационных технологий на технологические процессы сельскохозяйственного производства, представлены виды сведений, получаемых от сельхозтоваропроизводителей и предложены технологические решения цифровизации производства для каждого сельхозтоваропроизводителя посредством его личного кабинета.

*АПК – это наукоёмкая отрасль***,** практически все входные и выходные элементы которой становятся подвластными цифровым технологиям. Благодаря цифровым технологиям огромный набор данных генерируется, собирается и аккумулируется сельхозтоваропроизводителями. Он охватывает весь жизненный цикл продукта: от электронного расчета питательных веществ в почве на его производство, кастомизации его потребительских свойств до доставки продовольствия потребителям на дом. Компетенции СХТП плавно перетекают *«Из поля – в офис»*.

Важным компонентом экономического механизма управления сельскохозяйственным производством являются возможности сокращения затрат государства и сельхозтоваропроизводителей за счет внедрения современных сквозных цифровых технологий. Проведенный при участии автора анализ более 20 тыс. предприятий АПК показывает, что благодаря новым технологиям не менее 23% себестоимости производства может быть оптимизирован (рис. 1).



Рисунок 1 – Сокращение затрат государства и сельхозтоваропроизводителей за счет внедрения современных сквозных цифровых технологий

Эффективное применение цифровых технологий возможно при наличии данных по всем объектам АПК. Для этого необходима полная инвентаризация отрасли АПК и совершенствование Системы государственного информационного обеспечения сельского хозяйства (СГИО СХ). Инструментами решения этих задач выступают: *Эффективный гектар, ИТ-индекс, ЕФИС ЗСН, Личный кабинет СХТП, Сквозная технология «От поля до прилавка», Новая экономика села, Агроэкспорт [3].*

Концепция эффективного гектара позволит вести похозяйственный мониторинг эффективности используемой пашни в перерасчете на факторы производства (например: затраты, прибыль и рентабельность, мощности машинно-тракторного парка и кадры) (рис. 2).



Рисунок 2 – Эффективный гектар

Необходима точная информация об оптимальном типе хозяйства в конкретном регионе, что позволит обеспечить точное, прозрачное и эффективное использование бюджетных средств, высокую прибыльности АПК, увеличит объемы агроэкспорта, рационализирует использование сельхозземель. «Эффективный гектар» является основой для формирования Модели управления сельским хозяйством до 2025 года.

ИТ-индекс АПК - интегральный расчетный показатель оценки цифровой модернизации агропромышленного комплекса. Позволит вычислить степень проникновения ИТ на всех уровнях сельскохозяйственного производства, увяжет в единую цепочку цифровые технологии и их влияние на себестоимость производства [4]. Сделает ее прозрачной и регулируемой для государства и СХТП.

ЕФИС ЗСН (Единая федеральная информационная система о землях сельскохозяйственного назначения) консолидирует данные всех источников о сельскохозяйственных землях. Решает самую сложную проблему АПК – нехватку сведений о землях АПК, реализует задачу инвентаризации земель и объектов АПК, которой не было более 30 лет. Предоставляет полную картину по структуре севооборотов страны, и на этой основе подготовим научно обоснованные подходы к повышению продуктивности земель.

Личный кабинет СХТП и других участников рынка АПК. Каждый пользователь кабинета сможет получить необходимую аналитику по своему предприятию, заказать оказание государственных услуг, воспользоваться банком типовых проектов для ведения сельского хозяйства, выбрать отраслевого консультанта для решения производственных, торговых, технологических задач.

С учетом регионального опыта и пилотных проектов Минсельхоз России и Россельхознадзор создавали федеральные государственные информационные ресурсы, включающие ряд ИС, данные которых используются в целях управления сельскохозяйственным производством, а так же мониторинга состояния и использования земель сельскохозяйственного назначения, оценки плодородия почв и состояния сельскохозяйственных культур [2].

На рисунке 3 структурированы связи Минсельхоза России в рамках системы межведомственного взаимодействия (СМЭВ) и представлены виды сведений, получаемых от сельхозтоваропроизводителей (СХТП). Так же предложены технологические решения цифровизации производства для каждого СХТП посредством его личного кабинета.



Рисунок 3 – Сведения от СХТП и Технологические решения для них

Проведенные расчеты показывают, что внедрение цифровых технологий в АПК только в сфере растениеводства (производства зерновых) применительно к 20 тысячам сельхозорганизаций (около 60% от общего их количества), являющихся получателями мер государственной поддержки, позволяет при частичной цифровизации технологического процесса достичь снижения себестоимости на 29% или около 184 млрд. рублей (рис. 4).

ТЕХНОЛОГИИ В РАСТЕНИЕВОДСТВЕ	Полная стоимость реализуемой продукции	Оплата труда с начислениями на	Семена и посадочный материал	Удобрения		Нефтепродукты	Содержание основных средств	Рентабельность, %
				минеральные	органические			
		12%	12,00%	11%	1%	10%	16%	
Автоматическое управление машинами с GPS (Система рулевого управления EZ-Steer)	В % к общему количеству реализуемой продукции					1,0%		
Роботизация сельскохозяйственной техники		3,3%						
Мультисенсорное оптическое обнаружение вредителей и болезней растений. Обнаружение спор, переносимых по воздуху. Летающие датчики				7,3%				
Обнаружение сорняков (карты распространения сорняков)					0,2%			
Контроль за сельскохозяйственной техникой							3,8%	
Выведение и выращивание гибридов семян сахарной свеклы, подсолнечника и овощей								
Автоматический пробоотборник для почвенных обследований с функцией адаптации к каменистым почвам			0,8%		0,3%			
ДО ВНЕДРЕНИЯ ИТ, тыс.руб.	706 066 849	83 392 261	81 341 714	75 337 152	3 769 747	68 100 985	116 080 757	29,00%
ПОСЛЕ ВНЕДРЕНИЯ ИТ, тыс. руб.	522 572 454	50 035 356	73 207 543	11 677 259	1 884 873	61 290 886	46 432 303	48,00%

Рисунок 4 – Экономические эффекты (по статьям затрат в себестоимости) от внедрения цифровых технологий в растениеводстве

Проникновение особенностей нового технологического уклада в АПК будет происходить неравномерно в связи с разнообразием и спецификой регионов России и сложностью внедре-

ния новых технологий на разных уровнях аграрного рынка. Следовательно, государству следует предпринимать меры по выравниванию внедрения новых форм и технологий для различных участников аграрного рынка. В числе основных трендов, влияющих на цифровую экономику в АПК, целесообразно выделить следующее: использование технологий мобильной связи и передачи данных, миниатюризация и компактизация приборов, интернет вещей, проникновение блок-чейна, формирование скрытых неформальных общностей, концентрация отраслевой информации в системах больших данных.

Для обеспечения нормативного правового регулирования применения новых технологических решений в области применения новых технологий в сфере организации рационального использования сельскохозяйственных земель Минсельхоз России, Росреестр и Минкомсвязи России предлагают провести ряд мероприятий по изменению существующего земельного законодательства. В частности, предполагается внести изменения в Федеральный закон № 101 от 16.07.1998 «О государственном регулировании обеспечения плодородия земель сельскохозяйственного назначения». Изменится даже название закона.

Новое название - «Об организации рационального использования сельскохозяйственных земель, их учета и охраны».

В рамках работы над законопроектом будут приняты следующие акты Правительства Российской Федерации:

1) Постановление Правительства Российской Федерации «О порядке создания, развития и эксплуатации Единой федеральной ИС о землях сельскохозяйственного назначения».
2) Постановление Правительства Российской Федерации «О порядке информационного взаимодействия при ведении государственного реестра сельскохозяйственных земель.

Минсельхозу России предстоит издать ряд приказов о личном кабинете землепользователя и паспорте сельскохозяйственного земельного участка:

1) Приказ Минсельхоза России «Об утверждении порядка введения личного кабинета землепользователя».
2) 2. Приказ Минсельхоза России «О форме паспорта сельскохозяйственного земельного участка, составе и порядке внесения сведений в паспорт сельскохозяйственного земельного участка».

В настоящее время динамично изменяются условия ведения аграрного бизнеса. Это явилось основанием для разработки новых экономико-математических моделей и возможности их практической реализации. Новые модели должны охватывать не только узкие процессы производства аграрной продукции, но и учитывать все векторы формирования конъюнктуры аграрного рынка.

Так, в качестве экономико-математического инструмента анализа того, как наилучшим способом использовать имеющуюся площадь сельскохозяйственных земель под выращивание конкретных сельскохозяйственных культур и, следовательно, осуществить соответствующие меры целевой государственной поддержки сельхозтоваропроизводителей, выступает создаваемые в рамках Аналитического центра модели поиска рынков экспорта пшеницы.

В данном случае преследуется такая цель как разработка модели оптимизации валовой прибыли от экспорта пшеницы.

С учетом возможностей потребления зерновых странами – целевыми рынками для экспорта российского зерна был рассчитан прогноз расширения экспортного потенциала в части производства зерновых. Расчеты проводились на основе данных о финансово-хозяйственной деятельности 20 тысяч российских сельхозтоваропроизводителей, получателей мер господдержки. Данными производителями производится 2/3 зерна в стране [1].

На основе данных Аналитического центра Минсельхоза России предложены показатели и индикаторы процессов развития цифрового сельского хозяйства России (Таблица 1).

Таблица 1 – Показатели и индикаторы процессов развития

Показатели и индикаторы развития	2018	2021	2024
Доля покрытия различными технологиями связи земель сельскохозяйственного назначения	менее 10%	30 %	70 %
Количество (объем) продукции, проданной на электронных площадках	менее 10%	50%	100 %
Создание систем прогноза потребностей рынка, динамического управления спросом и предложением, сокращения цепочек логистики	Система прослеживаемости семенного материала и продукции животноводства	Система прослеживаемости удобрений и средств защиты	Система прослеживаемости производства сельскохозяйственной продукции «от поля до прилавка»
Доля предприятий АПК, использующих технологии интернета вещей, точного земледелия, цифрового стада, умных теплиц	менее 1 %	20%	60 %
Создание сквозных открытых информационных потоков для управления отраслью	Создание «Единой федеральной информационной системы о землях сельскохозяйственного назначения»	Создание прототипа платформы «Цифровое сельское хозяйство»,	Создание платформы «Цифровое сельское хозяйство», в рамках действующего законодательства
Повышение конкурентоспособности хозяйствующих субъектов , увеличение экспорта, развитие трансграничной электронной торговли	20 млрд. долл.	30 млрд. долл.	45 млрд. долл.
Увеличение рабочих мест	-	10%	20%

В заключение предлагается рассмотреть подготовленный Минсельхозом России сценарий развития управления сельским хозяйством в рамках цифровой экономики.

Сценарий подразумевает пошаговое развитие цифровизации отечественного сельского хозяйства в производственных циклах, и включает несколько этапов.

Этап 1. Пилотирование и обобщение опыта цифровизации. Объект трансформации: производство сельхозпродукции.

В привязке к пилотным регионам и хозяйствам, разрабатываются общедоступные тренды внедрения современных технологий растениеводства и животноводства. На их основе формируется базовый набор процессов и методологии цифрового сельского хозяйства. Этот этап можно охарактеризовать как «глобальный консалтинг» для сельхозпроизводителей силами самих производителей и участников ИКТ рынка.

Минсельхоз России руководит процессом определения динамических сезонных KPI: прогноз уровня себестоимости продукции по отраслям, прогноз по сбыту, фьючерсы закупочных цен на продукцию внутри России и для экспорта продукции. Производится инвентаризация земель для рационального использовании в соответствии с их природно-климатическими условиями.

Результатами первого этапа является готовность к внедрению экологически устойчивого цифрового земледелия в сельхозпроизводство, создание цифровой модели управления, производства, а также сбыта сельхозпродукции на внутреннем рынке и развития экспорта сельхозпродукции. Учитывая сезонность сельхозпроизводства, первый этап займет 2-3 года.

Этап 2. Масштабирование, технологии и наука. Этот этап затрагивает крупные и средние сельскохозяйственные производства. Происходит масштабирование апробированных технологий первого этапа на хозяйствующие субъекты. В том числе используя «кнут и пряник»: меры господдержки предприятий переориентируются на предприятия, внедряющие у себя процессы и технологии цифровизации с использованием методов объективного контроля за производством. Выстраиваются цифровые цепочки для поддержки логистики снабжения и сбыта продукции с параллельно происходящими процессами цифровизации транспорта и логистики.

Важнейшим элементом этого этапа является создание базы знаний, которая способствует развитию биологизации земледелия, к росту производства экологически безопасных и качественных продуктов, способствует сохранению здоровья нации.

В области животноводства объективный контроль качества и системы прослеживаемости животных позволят эффективнее выводить продукцию на экспорт («зеленые коридоры»). Активная фаза роста второго этапа 2020 - 2024.

Этап 3. Тотальная цифра. Здесь будут оцифрованы и контролироваться все циклы сельхозпроизводства. Произойдет фрагментация, и разделение рабочих циклов мелких хозяйств. Например, хозяин крупного рогатого скота и молочного производства отвечает только за кормление, выгул и дойку. Поставку кормов, лекарств, вывоз продукции осуществляют специализированные компании. Также происходит фрагментация и разделение производства среди крупных предприятий, агрохолдингов и фермерами даст мощный толчок росту производительности труда в сельском хозяйстве, занятости населения на селе, повышению доходности сельхозпредприятий на новом уровне. Использование информационных технологий фермерами, способность обрабатывать большие объемы земельных ресурсов и специализация фермеров на производстве базового сырья для крупных потребителей позволит повысить качество жизни в деревне и увеличить спрос на проживание на селе.

Россия выходит на первое место по экспорту продукции сельского хозяйства в мире. Цены на продукты питания оптимизируются, качество растет в период с 2024 года и далее.

Список литературы

[1] Козубенко И.С. Поиск оптимальных рынков экспорта пшеницы / И.С. Козубенко, А.П. Козионов, А.В. Андреев, А.С. Минин, О.А. Моторин // Землеустройство, кадастр и мониторинг земель. - 2017. - № 11. .- С. 26-29.

[2] Козубенко И.С. Точное земледелие и интернет вещей / И.С. Козубенко // Техника и оборудование для села. - 2017. - № 11. - С. 46-48.

[3] Козубенко И.С. «Интернет вещей» в управлении агропромышленном комплексом / И.В. Балабанов, И.С. Козубенко // Техника и оборудование для села. - 2017. - № 8. - С. 44-46. ВАК.

[4] Козубенко И.С. Оценка экономической эффективности внедрения информационных технологий в агропромышленном комплексе / И.С. Козубенко, В.И. Балабанов, И.В. Цветков, И.М. Жогин // Техника и оборудование для села. - 2017. - № 12. – С. 42-46.

СОЗДАНИЕ ЦИФРОВОЙ ПЛАТФОРМЫ БАЗЫ ЗНАНИЙ НА ПРИМЕРЕ КОМПЛЕКСНОГО ПРИМЕНЕНИЯ ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ НА ОСНОВЕ ПРЯМОГО ПОСЕВА С CTF С ЦЕЛЬЮ ДОСТИЖЕНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ СЕЛЬХОЗПРОИЗВОДСТВА

Л.В. Орлова

НП «Национальное движение сберегающего земледелия»
443099, Самара, ул. Куйбышева, 88, Россия
info@rmrl.ru
тел: +7 (846) 333-70-31

Ключевые слова: *Цифровое сельское хозяйство, цифровизация, прямой посев, Controlled Traffic Farming, База знаний, изменение климата, переуплотнение, деградация, цены на сельхозпродукцию*

Аннотация

Цифровое сельское хозяйство может решить системные проблемы управления АПК В РФ, эффективно анализировать большие объемы информации и выстраивать алгоритмы управления, которые уменьшат влияние субъективных факторов, позволят не только добиться прозрачности и точности получения информации на различных уровнях управления и этапах сельхозпроизводства, но и снизить затраты в производстве и повысить конкурентоспособность.

Основой цифрового сельского хозяйства является создание наряду с платформой управления современной Базы знаний по инновационным технологиям, комплексное взаимодействие этих платформ будет способствовать формированию аграрной технологической политики.

По данным ФАО в ближайшем будущем сельское хозяйство и всемирная продовольственная система столкнется с вызовом - примерно к 2050 году накормить предполагаемое население планеты в 9,7 миллиарда человек при уменьшении земельных и водных ресурсов - человечество уже утратило более 2 млрд га плодородных земель.

Еще одним глобальным вызовом является изменение климата - по данным ФАО ООН, ежегодно из-за природных катаклизмов мировое сельское хозяйство теряет около 40 млрд долларов. Мы находимся в ситуации, когда нам необходимо найти пути решения глобальных проблем – увеличение производства качественной продукции и сохранения природных ресурсов.

В нашей стране две трети сельскохозяйственных регионов находятся в зоне рискованного земледелия и страдают от изменения климата. Ежегодные потери только от засух составляют от 10 до 100 млрд. рублей.

Кроме того, многолетнее применение устаревших агротехнологий в сельхозпроизводстве за последние десятилетия по данным МСХ РФ привело к падению плодородия почв почти вдвое, эрозия и деградация земель достигли уже 60% от площади всех сельхозугодий, по данным ВИМ переуплотнению подвержено более 80% сельхозугодий, что приводит к ежегодной потере более 30 млн. тонн продукции и доходов сельхозпроизводителей. По всей стране идет усиление деградации агроценозов, сопровождаемое накоплением патогенов, что приводит к снижению качества продукции – по данным ВНИИ фитопатологии до 40% продукции растениеводства заражено опасными для здоровья людей токсинами.

Ситуация в растениеводстве усугубляется устаревшими программами обучения в аграрных вузах и колледжах, а также на курсах повышения квалификации специалистов АПК, недостатком знаний у аграрных специалистов, отсутствием научно-обоснованных рекомендаций к практическому применению эффективных агротехнологий в конкретных почвенно-климатических условиях, отсутствием службы профессиональных аграрных консультантов.

Итогом стала низкая производительность труда (отставание производительности России от США около 340-440%), отставание по урожайности основных сельскохозяйственных культур (по сравнению со странами-лидерами в среднем в 3-4 раза), высокие потери сельхозпродукции на всех уровнях производства (около 10-12 миллионов тонн, что составляет более 40 миллиарда рублей в год в денежном эквиваленте), падение рентабельности производства (что особенно характерно для регионов рискованного земледелия).

При этом у нас на протяжении многих лет сохраняются крайне нестабильные цены на сельхозпродукцию, отсутствуют четкие алгоритмы, определяющие эффективную себестоимость производства и баланс с закупочными ценами на продукцию растениеводства. В последние 4 года цены на картофель находились на низком уровне, что привело к разорению многих сельскохозяйственных предприятий. С прошлого года ситуация повторяется и с зерновыми.

По данным МСХ РФ в 2017 г. целом по стране собраны рекордные урожаи - 134 млн. тонн зерна, что обернулось катастрофой для сельхозпроизводства. Практически во всех зернопроизводящих регионах страны для аграриев сложилась крайне неблагоприятная ценовая конъюнктура. Стоимость зерна снизилась в зависимости от культуры и региона на 30-40%, низкие цены на зерно сохраняются и по сей день. Закупочные цены, по которым сельхозпроизводители вынуждены реализовывать урожай, оказались ниже себестоимости производства зерна на 20-30%. Правительство оказалось не готово к таким урожаям: не хватает мощностей для хранений, перевозки и переработки зерна, не проводятся интервенции.

Данная ситуация с одной стороны вызвана перепроизводством на рынке, а с другой – это результат неэффективного управления отраслью в целом.

Президент РФ В.В. Путин поставил задачу – создание эффективной системы управления через цифровую экономику. Именно от эффективного управления зависит устойчивость сельского хозяйства. Данная система должна включать анализ объемов производства и потребления сельхозпродукции (баланса), системный анализ себестоимости и цен, комплексные меры по поддержке разумных цен на сельхозпродукцию, а также срочные меры в экстремальных ситуациях, связанные с перепроизводством или дефицитом сельхозпродукции, стимулирование применения торговых онлайн-платформ и систем для продвижения сельхозпродукции; создание аграрной технологической политики и эффективную государственную поддержку, направленную на внедрение инновационных технологий, позволяющих снижать себестоимость производства и сохранять природные ресурсы. Создание цифровой платформы позволит выработать эффективные алгоритмы управления, снижающие и практически устраняющие субъективные факторы, связанные с непрофессионализмом и коррупцией.



Источник: Trimble

Цифровое сельское хозяйство может решить системные проблемы управления отраслью, более эффективно анализировать большие объемы информации и выстраивать эффективные алгоритмы управления, которые уменьшат влияние субъективных факторов (коррупция, непрофессионализм, безответственность), позволяют не только добиться прозрачности и точности получения информации на различных уровнях управления и этапах сельхозпроизводства, но и снизить затраты в производстве и повысить конкурентоспособность.

Для решения этих задач Минсельхозом России уже создан Аналитический центр. Его глобальными целями является проведение полной инвентаризации отрасли АПК России и создание условий для внедрения новых информационно-аналитических технологий в деятельность органов управления АПК субъектов РФ и сельхозтоваропроизводителей.

По данным Аналитического центра и Департамента развития и управления государственными информационными ресурсами АПК МСХ РФ более 50% затрат наших сельхозпредприятий могут быть оптимизированы при помощи цифровых технологий, при этом ИТ-технологии, связанные с экологизацией, позволят снизить затраты в сельхозпроизводстве на 23%.

Это очень важный этап в глобальном процессе: создание комплексной цифровой платформы эффективного управления на основе передовых управленческих и информационных технологий на федеральном уровне, региональном, районном и сельхозпредприятия, является первым этапом, необходимым для обеспечения разумных цен на сельхозпродукцию.

Цифровизация в АПК может быть применена ко всем аспектам систем сельскохозяйственного производства, в ней предлагается переход от обобщенного управления ресурсами хозяйства до высокооптимизированного, индивидуального управления каждым полем и каждой точкой поля в реальном времени.

Основой цифрового сельского хозяйства является создание наряду с платформой управления современной Базы знаний по инновационным технологиям, комплексное взаимодействие этих платформ будет способствовать формированию аграрной технологической политики.

База знаний представляет собой платформу - структурированный массив информации, включающий в себя данные и практические рекомендации по применению в различных почвенно-климатических условиях современных методов диагностики, управленческих решений и инновационных технологий.

База знаний основана на двух принципах:

- формируется на основе технологических решений конкретных проблем сельхозпроизводителей, с которыми они сталкиваются на полях. В России отсутствует тесная взаимосвязь науки, сельхозпроизводства и производителей техники, минеральных удобрений, средств защиты растений и т.д. Используются устаревшие принципы

определения тем исследований аграрной тематики (НИОКРов), они должны определяться самими сельхозпроизводители в соответствии со своими потребностями;

- для включения в Базу знаний и дальнейшего трансфера сельхозпроизводителям тех или иных технологий, химических и биологических препаратов, сортов и гибридов обязательна их независимая экспертная оценка, апробация на площадках практических хозяйств с выработкой рекомендации к применению в различных почвенно-климатических зонах на разных культурах.

С 2013 года я реализую идею создания инновационного хозяйства – для отработки комплекса технологий в жестких почвенно-климатических условиях Поволжья с целью моделирования климатически оптимизированного экономически и экологически эффективного растениеводства.

Хочу подчеркнуть, что нам остро не хватает практических знаний по внедрению комплексных технологий, в т.ч. прошедших экспертную оценку, каждая агрономическая ошибка оборачивается миллионными потерями.

Приведу пример, мы приобрели гибрид кукурузы компании «Пионер» через их дилера «Агролигу». По данным компании, это была кукуруза с ФАО 160, которая была разрешена Госсортсемкомиссией РФ. 6 сентября ранние морозы убили урожай. Посеяна она была до 15 мая. Мы получили убытки в 5 миллионов рублей. Гибрид кукурузы компании «Вудсток», посеянная 28-29 мая, сохранилась великолепно.

Также мы столкнулись с неэффективностью некоторых химических препаратов. Эти препараты разрешены МСХ РФ, но они не соответствуют указанным характеристикам. Это говорит о субъективности в принятии решений многими чиновниками, но от этих решений страдают в первую очередь сельхозпроизводители. Независимая экспертная оценка позволила бы нам избежать понесенных убытков.

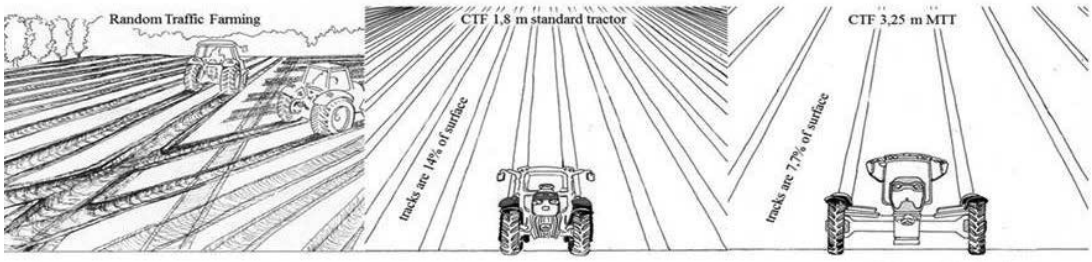
На полях мы столкнулись с проблемами эрозии, уплотнения почв, снижения биологической активности почвы, ионно-катионного обмена и др. Например, проблема уплотнения почвы решается подбором севооборотов, это длительный дорогостоящий процесс, знаний по севооборотам не хватает, наука не уделяет внимания эффективным севооборотам для прямого посева.

В поиске решения проблемы уплотнения мы пришли к технологии Controlled Traffic Farming - «управляемое движение по полям» - отделение зон движения от зон возделывания растений.

На сегодняшний день в РФ нет практического опыта применения технологии Controlled Traffic Farming, хотя в Европе, США и Австралии они применяются более 20 лет. Лидером в применении CTF является Австралия, где по данной технологии обрабатывается более 3 млн. гектаров. В этих странах созданы ассоциации фермеров-сторонников Controlled Traffic Farming, насчитывающие десятки тысяч членов: Australian Controlled Traffic Farming Association (Австралия), Controlled Traffic Farming Alberta (Канада), Controlled Traffic Farming across Europe (Европа) и др.

Все транспортные средства, оснащенные системами управления GPS, передвигаются по полю по постоянной технологической колее с взаимно согласованной шириной захвата. На практике это означает, что одни и те же колесные колеи используются для обработки почвы, посадки растений, опрыскивания и уборки. За пределами следа машины не ездят. Благодаря этому, в зависимости от ширины захвата, как минимум на 2/3 площади создаются условия для устойчивого улучшения структуры почвы. При этом колеса всех тракторов и машин установлены на одну и ту же ширину колеи. При комплексном использовании с технологией прямого посева, предполагающем сокращение числа агротехнических операций, а следовательно, требуется меньше проходов техники по полям, площадь проходов машин на поле сокращается до 50%.

Технология Controlled Traffic Farming



Источник: CTF Europe

Исследования применения данной системы в Европе, США и Австралии фиксируют повышение инфильтрации воды, формирование более рыхлой структуры почвы, беспрепятственный газообмен, улучшение полевой всхожести, более интенсивное прорастание корней и более стабильная урожайность, имеет место лучшая доступность питательных веществ и воды для растений, повышается биологическая активность почвы. Более рыхлая структура почвы уменьшает потребность в тяговой мощности для обработки почвы, а компактные полосы движения уменьшают сопротивление качению. Потребность в топливе с CTF уменьшается в среднем на 50%. За счет открытых почвенных пор система позволяет воспрепятствовать эрозии почвы и смыву питательных веществ. При системном использовании CTF происходит увеличение урожайности до 20% с более низким по сравнению с традиционной технологией уровнем выбросов парниковых газов. По данным различных исследований в Австралии и Европе при использовании данной технологии содержание углерода в почве в год в расчете на 1 га превысило 0,77 тонн, эмиссия CO2 уменьшилась на 2,8 тонн.

Ряд компаний-производителей сельхозтехники производит машины для технологии согласованного проезда техники по полю: Класс, Хорш, Джон Дир и др. При этом производителями сельскохозяйственной техники приняты единые стандарты ширины колеи в три метра. Существует несколько вариантов CTF, но для больших полей наиболее эффективным считается стандарт по ширине захвата комбайнов и сеялок в 12 метров, опрыскивание при этом производится на ширину 36 метров.

Применение комплексной технологии прямого посева с CTF в РФ позволит: повысить производительность техники, снизить затраты на гектар, повысить урожайность и качество сельхозпродукции, снять уплотнение почвы, сохранить почвенный углерод и снизить выброс парниковых газов, восстанавливать биологических процессов в почве и повышать ее плодородие. Данная технология способствует эффективному осуществлению полевых операций в поле в максимально короткие сроки и с высокой производительностью, что особенно актуально для 2/3 регионов страны, характеризующихся жесткими климатическими условиями для растениеводства. Однако она требует создания нового комплекса машин и оборудования, с едиными стандартами колеи и согласованной шириной захвата техники для посева, внесения удобрений и СЗР, уборки и логистики. Такая техника и оборудование в России не производятся. Это принципиально новая для РФ комплексная технология, новая парадигма для развития с/х машиностроения и с/х производства, ориентированная на создание умного растениеводства в нашей стране, следующим этапом которого является автономизация, позволяющую произвести переход к созданию безкабинных машин. Сегодня уже ведутся испытания различных прототипов безкабинных машин (в т.ч. и в России), при этом отмечается значительная экономия в инвестициях (цена безкабинного опрыскивателя на 40% ниже, безкабинного трактора – на 30%), экономия на ГСМ, заработной плате механизатора, а также высокая точность работ на всех полевых операциях.

На сегодняшний день нами отрабатывается концепция Базы знаний по внедрению комплексной технологии прямого посева с CTF, включающая технологии точного земледелия, высокопродуктивные засухоустойчивые сорта и гибриды, эффективные севообороты, применение покровных культур, биологизации, системы дифференцированного внесения удобрений и СЗР, применение ЖКУ, эффективная уборочная и послеуборочная логистика и т.д.

Следующим этапом является практическое освоение и адаптация на полях инновационного хозяйства данных агротехнологий – элементов Базы знаний. В рамках реализации данной концепции нами уже отрабатываются на практике прямой и полосовой посев, применяется навигация, осуществляется мониторинг движения транспорта и контроль расхода топлив в реальном времени, в т.ч. на основе использования ГИС-технологий, БПЛА и спутниковых снимков, внедряется методы биологизации и т.д.

Третий этап заключается в выборе оптимальных агротехнологий и интегации с методами диагностики и современными интеллектуальными технологиями для поддержки управленческих решений: автономизации, применение технологии многоуровневого мониторинга сельхозугодий и управления ресурсами в реальном времени на основе использования ГИС-технологий, БПЛА с применением гиперспектральной съемки современных IT-технологий, сенсоров, датчиков, Интернета вещей; современных комплексных исследовательских лабораторий и технологий с применением новейших и традиционных методик агрохимических, микробиологических, почвенных и экологических исследований, в т. ч. электроультрафильтрации, ионно-катионного обмена для определения баланса макро- мезо- и микроэлементов, почвенного углерода и др. в единую платформу (Базу знаний) для конкретных почвенно-климатических условий.



База знаний по технологии прямого посева с CTF должна быть отработана для различных почвенно-климатических условий для каждой культуры, каждого поля, каждого участка и стать интеллектуальной системой поддержки принятия решений, выполняющая анализ ситуации на полях, построение рекомендации и планов действий: от стратегического планирования до сменно-суточных заданий для механизаторов; контроля исполнения

поставленных задач; выявляющая расхождение между планом и фактом по различным показателям, адаптивно перестраивая планы по событиям и отображая бизнес-радары основных показателей хозяйства в реальном времени, помогая сельхозпроизводителю в жестких климатических условиях и в сжатые сроки в проведении полевых работ принимать верные решения и снижать потери, а также контролирующей достижение результатов.

Для создания Базы знаний, позволяющей решать проблемы на полях мы должны объединить усилия сельхозпроизводства, РАН, Министерства сельского хозяйства РФ, Министерства науки и высшего образования РФ, Министерства промышленности и торговли РФ, Министерства цифрового развития, связи и массовых коммуникаций РФ, выработать комплекс мер, предусматривающих:

- создание программы по цифровизации сельского хозяйства, в которой должны быть предусмотрены комплексные, интегрированные инновационные технологии, приоритетно для прямого посева с CTF;
- отбор в каждом регионе инновационный хозяйств, на площадке которых будет отрабатываться комплекс эффективных агротехнологий, экономящих ресурсы и сохраняющих плодородие почвы, позволяющих повышать рентабельность производства;
- создание необходимой инфраструктуры для внедрения цифровых технологий и автономизации, обеспечение покрытие широкополосным интернетом 5G земель сельскохозяйственного назначения;
- внесение необходимых изменений в законодательство РФ.

Принятие данных мер позволит поднять нам экономическую эффективность растениеводства, повысить качество сельхозпродукции, сохранять российские почвы и окружающую среду для будущих поколений.

Список литературы

[1] Положение дел в области продовольственной безопасности и питания в мире. Повышение устойчивости к внешним воздействиям в целях обеспечения мира и продовольственной, безопасности. ФАО ООН, Рим, 2017.

[2] Орлова Л. В. Организационно-экономические основы и эффективность сберегающего земледелия, Самара, 2009

[3] Орлова Л.В. Сельское хозяйство в Австралии // Ресурсосберегающее земледелие. - № 4, 2011. с. 9-10

[4] Biotecnologia e Nanotecnologia // Сайт Бразильской корпорации сельскохозяйственных исследований Embrapa: http://www.embrapa.br/kw_storage/keyword.2007-06-04.4920163721

[5] Smart Farming - Automated and Connected Agriculture/ /Официальный сайт Европейской ассоциации CTF / www.engineering.com/

[6] Woodard J. D., A. Shee, and A. Mude: Spatial Econometric Approach to Designing and Rating Scalable Index Insurance in the Presence of Missing Data/ The Geneva Papers on Risk and Insurance: Issues and Practice, 2017

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА УПРАВЛЕНИЯ ГРУППОЙ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ПРЕДПРИЯТИЙ РАСТЕНИЕВОДСТВА

Е. Пантелей[1], Н.А. Гусев[2], Г.Ю. Вощук[3], А. Желонкин[3]

[1] ООО «Сетецентрические платформы»,
443013 Самара, Московское шоссе 17, БЦ «Вертикаль», оф.2203, Россия
mekachiku-san@mail.ru
[2] Самарский Государственный Технический Университет
443100 Самара, ул. Молодогвардейская 244, Россия
nikolayagusev@gmail.com
[3] ООО «Аэропатруль»,
443013 Самара, Московское шоссе 13, БЦ «Вертикаль», оф.35, Россия
voschuk@gmail.com

Ключевые слова: *точное земледелие, дистанционное зондирование земли, группа беспилотных летательных аппаратов, мультиагентный планировщик*

Abstract
This paper provides an overview of the system remote sensing for the implementation of precision agriculture. In this article, we demonstrate the software and hardware complex of the UAV group, which will solve the problems of precision farming. The use of our system can provide users with more decision-making information and operational convenience to achieve the entire system of remote management.

Введение

На предприятиях растениеводства сталкиваются со следующими угрозами: вредители, болезни растений, изменение климата и воровство. Эти угрозы причиняют существенный урон прибыли предприятий. На территории Российской Федерации общая площадь пашни в 2017 году занимала 116709,5 тысяч гектар [1]. Средние по размеру сельские хозяйства в России занимают десятки тысяч гектар. Наземный мониторинг не позволяет полноценно анализировать, оценивать и контролировать наличие угроз на таких больших площадях. В настоящее время широкое распространение получили системы дистанционного зондирования Земли, которые используются для своевременного устранения вредителей и болезней, оценки эффективности удобрений, охраны сельскохозяйственных угодий.

1 Использование ДЗЗ в задачах точного земледелия

В качестве инструментов дистанционного зондирования используются спутниковые системы [2, 3], управляемые летательные аппараты и беспилотные летательные аппараты (БПЛА) [4-6].

Использование спутниковых снимков в качестве инструмента дистанционного зондирования Земли обычное явление. Спутники постоянно снимают земную поверхность в условиях безоблачной погоды. Использовать эти снимки для диагностики состояния объектов очень удобно. Недостатком спутниковых снимков является низкое пространственное разрешение. Зонд спутника Sentinel-2 под прямым углом съемки содержит в одном пикселе от 10 до 60 метров в зависимости от используемого спектра. Этого разрешения достаточно, чтобы определить наличие «проблемы», но недостаточно для установления причины ее появления и точной оценки пораженной территории. Другим недостатком зондирования с помощью спутников

является временное разрешение – промежуток между повторной съемкой данного места. Временное разрешение зависит от траектории и скорости спутника. В среднем оно составляет 2-7 суток для гражданских спутников, предоставляющих доступ к своим снимкам. Если во время съемки пасмурно, то время ожидания следующих снимков увеличивается. В определенных случаях может требоваться более частый мониторинг вплоть до ежедневного – это критические фазы развития растений, тестирование новых удобрений, период уборки урожая.

В сельском хозяйстве большую ценность представляют снимки не в видимом диапазоне, а мультиспектральные снимки, по которым рассчитывают вегетативный индекс NDVI. Мультиспектральные снимки со спутников имеют очень низкое пространственное разрешение и для полноценного анализа индекса NDVI по этим снимкам лучше использовать данные не с одного спутника, а с нескольких, что даст больше пикселей, а значит и более точную информацию.

Некоторые сервисы загружают свои снимки с временным опозданием. Есть даже бесплатные сервисы, например, Sentinel, но частота загрузки снимков у них может достигать 2 недель, что никак не назовешь «данными в реальном времени». Все выше перечисленные условия делают использование спутниковых снимков полезным, но недостаточным для задач точного земледелия.

Использование пилотируемой авиации дает возможность получить качественную картинку в необходимых точках поля в любую погоду. Существенным недостатком является стоимость оборудования: не каждое сельское хозяйство, особенно небольшие фермерские угодья, может позволить себе такую дорогостоящую технику как самолет. Учитывая расходы на камеру, бензин и работу пилотов и механиков, стоимость одного вылета будет существенно дороже по сравнению с использованием БПЛА.

Беспилотные летательные аппараты (БПЛА), в сравнении с космическими снимками со спутников, дают более точную информацию. В зависимости от установленной фотокамеры, с беспилотника можно получать информацию масштаба 1:100, 1:2000 и 1:5000, вместо 1:10000 «космических». Геодезическая точность снимков достигает 1-3 см. Информацию с БПЛА можно получать в любую погоду вне зависимости от облачности, в отличие от спутниковых систем, актуальных только в ясную погоду. Стоимость одного вылета БПЛА в несколько сотен раз дешевле полетов «традиционной авиации».

Таким образом, достижение автоматизации процесса мониторинга и оценки сельскохозяйственных территорий возможно только при совместном использовании всех названных способов мониторинга, объединенных с помощью сети интернет. Доступные цены коммерческих БПЛА и относительная простота эксплуатации делает их основным инструментом в задачах точного земледелия. Рассмотрению этих вопросов и будет посвящено дальнейшее исследование.

2 Система управления группой БПЛА

В условиях небольших фермерских хозяйств в сотни гектар предпочтительно использовать одиночный БПЛА. Однако, для больших сельскохозяйственных компаний с территорией в десятки тысяч гектар, зачастую с удаленными друг от друга полями, необходимо использование не только одиночных БПЛА, но и группы беспилотников, управляемых из единого центра. В случае ручного управления БПЛА требуется специальная подготовка оператора, сложность работы которого повышается с увеличением количества аппаратов. По приблизительным данным около 60% аварий на полях с участием БПЛА случается по причине человеческого фактора. Поэтому необходимо автоматизированная система, обеспечивающая постоянный мониторинг сельскохозяйственных полей.

Цель работы: создание автоматизированного комплекса управления группой БПЛА в режиме реального времени.

Для выполнения поставленной цели комплекс решает следующие задачи: управление группой БПЛА, контроль коэффициента удовлетворенности миссии, получение и анализ данных в режиме реального времени, построение оптимальных маршрутов по выбранным параметрам, машинное обучение.

2.1 Используемое оборудование и ПО

Общая архитектура программно-аппаратного представлена на рисунке 1. Система состоит из группы БПЛА с установленными на борту компьютерами, а также операторского центра управления, осуществляющего связь с БПЛА при помощи беспроводных технологий.

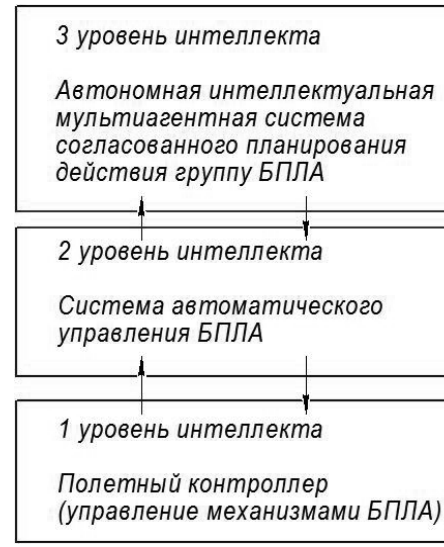


Рисунок 1 – Общая архитектура комплекса

В качестве БПЛА может выступать любой беспилотный аппарат, оснащенный камерой видимого и мультиспектрального диапазона. При выборе БПЛА необходимо учитывать его полезную нагрузку, среднее время полета, скорость и надежность. Проведение испытаний показало, что наибольшую эффективность в условиях удаленных территорий будет иметь использование БПЛА самолетного типа, а не мультироторного типа. Несмотря на активное равитие отрасли беспилотных аппаратов мультироторного типа, в большинстве своем они имеют ограничение по времени полета, которое составляет у промышленных аппаратов 20-35 минут, реже до 50-60 минут. Стоимость аппаратов, способных проводить в воздухе до 50-60 минут, до 5 раз больше, чем аппаратов с меньшим временем полета. Беспилотные самолеты развивают скорость в 2-3 раза больше мультироторных аппаратов. За аналогичную стоимость экономически выгодно приобретать БПЛА самолетного типа, обеспечивающие время полета от 2 до 4 часов при сохранении остальных функциональных характеристик.

При проведении испытаний на аппарате DJI PHANTOM 3 Advanced с камерой 12,4 Мп с разрешениями 4000x3000 был совершен полет и получены снимки территории в 100 гектар на высоте 120 метров. Эта задача потребовала сделать 4 вылета, посадки осуществлялись для смены аккумулятора. Пространственное разрешение составляет десятки сантиметров. В случае БПЛА самолетного типа для подобной миссии при всех остальных аналогичных характеристиках понадобится один вылет, что позволит сэкономить общее время операции и избавит от необходимости приобретения большого количества запасных аккумуляторов. В зависимости от требований к разрешению снимков можно совершать полеты на большей высоте, как следствие, охватывать большую территорию. При высоте более 500 метров пространственное разрешение уменьшается настолько, что пропадает разница в качестве со спутниковыми снимками.

В качестве бортовых компьютеров были выбраны Raspberre Pi, обладающие необходимом функционалом и относительно небольшим весом.

Стенд представляет собой совокупность дисплеев, приемно-передающих устройств, персонального компьютера и периферийных устройств.

Установка связи между группой и стендом управления может осуществляться разными способами в зависимости от задач миссии и условий эксплуатации.

Для решения задач группового мониторинга и непрерывного автоматизированного патрулирования территорий используются мультиагентные технологии [7].

2.2 Мультиагентный планировщик

Изначально оператор составляет план миссии и команды на выполнение, представляющие собой заданные территории для полета, оптимальные параметры полета, время вылетов и цель миссии. Команды на выполнения отправляются группе БПЛА. В стандартных условиях облета происходит декомпозиция общей задачи на наборы подзадач, соизмеримые характеристикам участников группы. Система составляет для каждого БПЛА оптимальные планы обхода набранных квадратов наблюдения и расписания выполнения задач. В режиме реального времени оператор получает данные с БПЛА на стенде управления (рис. 2), имея возможность изменять, продлять и завершать миссии в любое время.



Рисунок 2 – Пример данных, получаемых оператором во время выполнения миссии

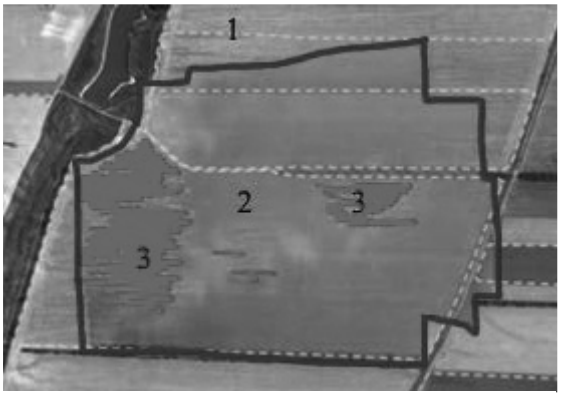


Рисунок 3 – Фрагмент поля

1 – изображения, полученные со спутника; 2 – изображения, полученные в ходе выполнения миссии; 3 – участки, на которых было **диагностировано** уничтожение урожая паразитами

Планировщик производит балансировку планов действий участников группы в ответ на динамически возникающие события. Например, при полете над своим квадратом на высоте 500 м один БПЛА из группы обнаружил неравномерность роста культур (рис. 3). Пространственного разрешения для точной оценки пораженной территории и выявления причины гибели культур на выбранной высоте недостаточно. Система принимает решение снизить высоту до оптимального значения 100 м, при этом происходит перерасчет параметров, учитывающий оставшийся заряд аккумулятора БПЛА, необходимую территорию детального облета и оставшуюся неосмотренную территорию. Планировщик принимает решение, что для детального облета необходим второй аппарат, а между остальными участниками группы будет поделена оставшаяся территория. В результате работы группы был продолжен облет всех полей, и было диагностировано поражение слизняком на поле А.

В зависимости от времени года расписание полетов и распределение задач может варьироваться. Так, в период созревания урожая, возможна следующая ситуация (рис. 4). Данные получены путем сшивки NDVI снимков. Красным цветом выделены территории со созревшим урожаем, зеленым цветом – созревающие. Разные культуры созревают в разные промежутки времени. На полях, засеянных одними культурами, возможно точечное созревание вдоль дорог, трубопроводов, на возвышенностях и в низинах. Все эти территории требуют детального мониторинга в период сбора урожая. Например, не успев вовремя собрать урожай под трубопроводом, можно допустить его загнивание к моменту уборки основной части поля.

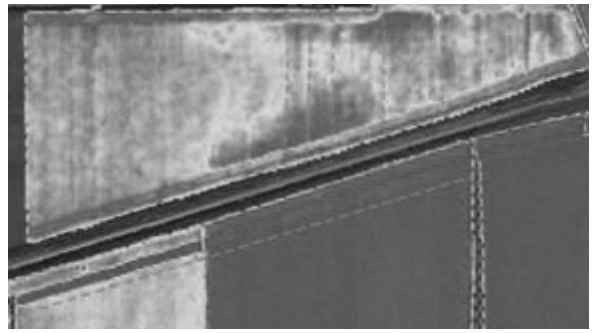


Рисунок 4 – Анализ снимков, сделанных с помощью спутника: красными областями обозначен уже созревший урожай

Информация о возделываемых землях (культура, технология обработки) и проблемных участках вносится оператором в базу знаний системы. На основании этих данных и опыта выполнения миссий прошлых лет формируются особые миссии для группы беспилотников с отмеченными местами повышенной важности мониторинга.

Использование роя беспилотников, объединенных в единый программный комплекс, позволит автоматизировать полеты над сельскохозяйственными угодьями, оценивать получаемую информацию, распределяя миссии между всеми БПЛА, своевременно выявлять проблемные участки и принимать меры по их устранению, следить за эффективностью используемых удобрений, выдавать полноценный отчет и загружать полученную информацию в облачное хранилище знаний.

Описанный программно-аппаратный комплекс успешно прошел испытания на группе БПЛА мультироторного типа. Использование комплекса на БПЛА самолетного типа позволит покрывать большие территории за меньшее время и решать не только задачи местного патрулирования, но и мониторинга протяженных и достаточно обширных сельскохозяйственных территорий.

2.3 Существующие ограничения системы

Использование БПЛА в России затормаживают нововведения в воздушном кодексе [8], согласно которому все воздушные суда свыше 250г подлежат обязательному учету, а для каждого вылета необходимо получать разрешение. Формально, каждая посадка считается завершением полета и, как следствие, аннулированием текущего разрешения. Для каждого следующего взлета необходимо получить новое разрешение, даже если посадка была совершена для сменены аккумулятора. В условиях существующего кодекса БПЛА самолетного типа, находящиеся в воздухе до 4 часов, имеют преимущества перед БПЛА коптерного типа, полет которых составляет порядка 30 минут.

По нашим наблюдениям, для целей сельского хозяйства полет совершается над большими территориями без большого скопления людей и без наличия секретных охранных объектов. Принимая это во внимание, можно предложить упрощение процедуры полетов, например, за счет выдачи разрешения на полеты заранее на весь сезон исключительно над территориями хозяйства, обратившегося в ведомство.

В России при эксплуатации мультироторных аппаратов зачастую пренебрегают предписаниями воздушного кодекса и совершают полеты без получения разрешения. Самолеты-

беспилотники, в сравнении с БПЛА мультироторного типа, обладают повышенной массой, заметнее с земли и в настоящее время имеют сложности с запуском в воздух: необходима взлетная полоса или специальное устройство пуска. Ведутся работы по устранению этого устройства и уже сейчас можно купить самолеты, взлетающие с места. Учитывая выше сказанное, при эксплуатации БПЛА самолетного типа без разрешения имеется повышенный риск недопуска к полетам со стороны контролирующих органов.

Мы не беремся судить о «правильности и законности» полетов без разрешения, но наличие подобных случаев показывает, что существует потребность в рассмотрении поправок к воздушному кодексу РФ для нужд сельскохозяйственного производства.

Заключение

В условиях постоянно растущего населения земли необходимо развивать новые методы управления предприятиями растениеводства. Особое внимание уделяется развитию точного земледелия, в рамках которого стремительно развиваются беспилотные летательные аппараты для решения задач мониторинга и диагностики. Наиболее перспективным является использование группы БПЛА самолетного типа, объединенных в единую систему. Такая система была разработана и протестирована в компании «Сетецетрические платформы». Система представляет собой группу БПЛА самолетного типа с установленными Raspberry Pi на борту, разрабатываемым нашей компанией программным обеспечением и единым полетным центром. Программно-аппаратный комплекс способен планировать полетные задания, автоматически анализировать отснятый материал в процессе полета, принимать самостоятельные решения по построению задач мониторинга и выдавать отчет и рекомендации на основе проделанного анализа. Система отлично показала себя в испытаниях на группе беспилотников мультироторного типа. Для расширения возможностей системы и экономии времени конечных пользователей рекомендуется использовать систему БПЛА самолетного типа. Ограничения нормативно-правовой базы в России затрудняют гражданское применение БПЛА любого вида.

Благодарности

Работа выполнена при поддержке гранта Министерства образования и науки Российской Федерации – договор № 14.574.21.0183, уникальный идентификационный номер RFMEFI57417X0183.

Список литературы

[1] Сборник: Агропромышленный комплекс России в 2016 году. Росинформагротех, Pp. 704 (2017).
[2] Uwizera D., McSharry P.: Forecasting and monitoring maize production using satellite imagery in Rwanda// Technological Innovations in ICT for Agriculture and Rural Development (TIAR), 2017. – pp.51-56.
[3] Yang C., Everitt J.H., Qian Du, Bin Luo , Chanussot J. Using High-Resolution Airborne and Satellite Imagery to Assess Crop Growth and Yield Variability for Precision Agriculture// Proceedings of the IEEE, vol. 101, No. 3, 2013. – pp.582-592.
[4] Wei Li, Haidi Yuan, Wei Li, Liangtu Song: Prediction of Wheat Gains with Imagery from Four-rotor UAV// 2nd IEEE International Conference on Computer and Communications, 2016. – Pp. 662-665.
[5] Perez-Ortiz M., Gutierrez P.A., Pena J.M., Torres-Sanchez J., Lopez-Granados F., Hervas-Martınez C. Machine Learning paradigms for Weed Mapping via Unmanned Aerial Vehicles// Computational Intelligence (SSCI), 2016 IEEE Symposium Series on.
[6] Vehicl J. N., Prado J., Lino M. Low-cost Multi-spectral Vegetation Classification using an Unmanned Aerial// Autonomous Robot Systems and Competitions (ICARSC), 2017. – pp. 336-342.
[7] Skobelev P., Budaev D., Brankovsky A., Voshuk G. Multi-agent tasks scheduling for coordinated actions of unmanned aerial vehicles acting in group// International Journal of Design & Nature and Ecodynamics 13(1), 2018. – pp. 39-45.
[8] Воздушный кодекс Российской Федерации, доступ по ссылке: http://docs.cntd.ru/document/9040995, последний запрос 2018/04/05.

ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА «АНТ»: ВИДЕТЬ ВСЁ, ЗНАТЬ НЕОБХОДИМОЕ

Усанов Д.А., Пальчун А.М., Еремеев К.В.

Общество с ограниченной ответственностью «АНТ»
353500, Краснодарский край, г.Темрюк,
ул.Карла Маркса 60, ИНН 2352043730
e-mail: sale@ant.services
тел. +7(499)348-12-18

Ключевые слова: *информационная система, интеграция данных, он-лайн мониторинг*

Abstract

The main features of the new information system “ANT”, dedicated to the decision support in agriculture business, are described. The system allows to integrate heterogeneous data needed for farmers to improve efficiency of their business.

«Кто владеет информацией, тот владеет миром», – говорил Натан Ротшильд, основатель знаменитой династии банкиров. Особенно понятен этот тезис аграриям, которые испытывают одновременно недостаток и избыток информации. С одной стороны, к ним ежедневно поступает масса данных: метеоусловия, количество внесённых удобрений, состояние техники, планируемые и проведённые сельхозработы, закупки, расход ГСМ, текущие сведения по каждому участку и т.д. С другой стороны, все эти сведения разрознены и не дают цельной картины, а их систематизация и анализ отнимают драгоценное время, столь необходимое руководителю. Едва человек успевает составить общее представление о состоянии дел, как ситуация меняется и решения, принятые на основе предыдущих данных, устаревают.

Превратить эту бесконечную лавину сводок и отчётов в хорошо структурированный и управляемый поток; визуализировать всё, что происходит на полях; предоставить актуальную и понятную базу для принятия управленческих решений – всё это может новая российская разработка «АНТ», созданная на платформе GeoLook.

Сервис интегрирует огромное количество данных – от карт сельхозугодий и структуры предприятия до регулярно обновляемых метеосводок. «АНТ» хранит информацию обо всех технологических операциях, ведёт паспорта полей, рассчитывает количество семян и удобрений, составляет отчётность, анализирует риски и прогнозирует производственные процессы. Система учитывает неоднородность почв и рельефа, что позволяет скорректировать количество посевного материала, удобрений и средств защиты и таким образом использовать каждый конкретный участок с максимальной эффективностью. «АНТ» связана со спутниками. Ведётся постоянный мониторинг полей в режиме он-лайн: пользователь может удалённо наблюдать за работой стехники, отслеживать расход семян, ГСМ, контролировать работы на разных участках. Возможен экспорт данных (в том числе автоматический) в Excel и 1С – это облегчает составление ведомостей, отчётов, актов и других документов.

К основным плюсам системы «АНТ» относятся:

- единая база данных: вся необходимая информация в одном месте;
- получение актуальных сводок в автоматическом режиме;
- визуализация процессов;
- планирование агрокультурных мероприятий с учётом ресурсов, текущих условий и рисков;
- мониторинг сельскохозяйственных операций в режиме он-лайн;
- своевременное выявление и корректировка проблем;

- расчёты и аналитика;
- оптимизация документооборота, сведение к минимуму бумажной работы;
- интеграция с другими информационными системами.

Внедрив «АНТ» на своём предприятии, руководитель увеличивает рентабельность своего бизнеса сразу по трём направлениям:

Во-первых, благодаря точным расчётам и контролю процессов в режиме онлайн исключается перерасход материалов и комплектующих, имеющиеся ресурсы используются оптимальным образом, следовательно, снижается себестоимость конечного продукта.

Во-вторых, повышается эффективность производства – за счёт прозрачности процессов, грамотного планирования и своевременных корректировок.

В-третьих, актуальная информационная база в сочетании с постоянным анализом данных повышает ценность управленческих решений, сведя к минимуму возможность ошибки. Имеющийся опыт внедрения «АНТ» показывает: благодаря этой системе прибыль с одного гектара увеличивается в 1,5–2 раза.

Дополнительно система «АНТ» обеспечивает:

- демонстрацию заказчикам и партнёрам угодий и сельскохозяйственных мероприятий в онлайн-режиме, в том числе с мобильных устройств;
- агроскаутинг (оперативный мониторинг на местах) с сохранением результатов в системе с привязкой к месту и времени;
- управление уровнями доступа к информации.

Система «АНТ» может быть внедрена на любом агропредприятии, независимо от региона, структуры угодий и выращиваемых культур. Это облачный продукт «под ключ», которым можно пользоваться сразу после подписания договора. Настройку системы и её привязку к местности и условиям производит поставщик, он же обеспечивает информационное сопровождение продукта. Заказчик получает доступ к спутниковым картам и сервисам, метеосводкам, навигационным инструментам, справочным материалам, мониторингу. Возможности «АНТ» позволяют интегрировать в неё любые данные: реестры сельхозугодий и производственных отделений, структуру предприятия, карты и паспорта полей, справочники товарно-материальных ценностей, технологические карты, сельскохозяйственные справочники, результаты агрохимических обследований, фотоснимки и т.д.

Фактически «АНТ» – это база данных с функцией автоматического обновления, интерактивная карта, система видеонаблюдения, планировщик, аналитический пакет, архив и справочник в одной программе. Преимущества такой системы – владение информацией, снижение рисков и уверенность в принятии решений. Кроме того, современный аграрий, в отличие от своих предшественников, значительную часть времени проводит за пределами своего предприятия. Доступ к системе с любого мобильного устройства дарит ему свободу передвижения при полном контроле ситуации. Современные информационные технологии в агробизнесе – это ваше конкурентное преимущество.

Author index

Индекс авторов

А

Аббаси М.М. 236
Асанов А.З. 242
Ахметова Д.Р. 332

Б

Барашков А.А. 218
Батищев В.И. 432
Бахмут А.Д. 299, 307
Белоконь С.А. 68
Белопухов В.Н. 405, 408
Бирюк В.В. 74
Бирюков Д.Н. 487
Блинова Д.В. 93, 332
Бобко Е.Ю. 424
Боргест Н.М. 338
Боровик С.Ю 13, 405, 408
Боровский А.С. 101, 314
Брянцева К.П. 321
Бугаков В.А. 157

В

Валиуллина Г.Р. 327
Виноградов Г.П. 247
Воронов Е.М. 79, 196
Вощук Г.Ю. 548

Г

Габидулин М.А. 410
Гвоздев В.Е. 86, 93, 332, 391
Герасимов Б.Н. 255
Глыбовский П.А. 461
Горбачева О.М. 101
Горбунов Д.В. 22
Горемыкина Г.И. 261
Грудцына Л.Ю. 242
Гулина С.А. 74
Гусев Н.А. 548
Гусейнов Ж.С. 338

Д

Давлиева А.С. 86
Демьянов Д.Н. 327
Дёмина Е.А. 106
Дилигенская А.Н. 112
Дьяченко А.А. 119

Ж

Желонкин А.В. 548
Жиляев А.А. 367
Жирабок А.Н. 424

З

Золотухин Ю.Н. 68
Зуев А.В. 424
Зянчурин А.Э. 299, 307

Е

Еремеев К.В. 554
Еремеев М.А. 481, 493

И

Иванов Д.Я. 119, 125
Игнатьев М.Б. 182
Ильясов Б.Г. 86
Имамвердиев Я.Н. 267

К

Казарин С.В. 348
Калинин В.Н. 467
Катьянов А.Ю. 344
Кацурин А.А. 131
Кириллова Е.Н. 285
Кирсанова Н.В. 247
Коваленко А.И. 138
Козубенко И.С. 535
Колесникова С.И. 145
Коробкова Г.Н. 106
Коромысличенко В.Н. 299, 307
Косогор С.Н. 535
Котов К.Ю. 206
Краснов С.В. 348
Кретов С.И. 29
Кружков А.С. 455
Крылов А.В. 299, 307
Кузьмин Д.В. 182
Куралесова Н.О. 348
Кутейникова М.М. 405, 408

Л

Ларин Е.А. 151
Лахин О.И. 106, 367
Лившиц М.Ю. 151
Липатов А.А. 157
Ломако А.Г. 467, 487, 499, 509, 513

М

Майоров И.В. 367

Мальцев А.С. 206
Мартынчев Е.А. 106
Марьясин О.Ю. 352
Мастяева И.Н. 261
Машков А.В. 432
Машунин Ю.К. 163
Миляков Д.А. 176
Михайлов В.В. 182
Михопаркин Я.Н. 79
Моисеева Т.В. 273, 279
Моргунова О.В. 189
Мухаметьянова Р.И. 391
Мышкина И.Ю. 242
Мятишкин Ю.В. 273

Н

Насыров Р.В. 455
Насырова Р.А. 332
Нестеров А.Ю. 22
Никитенко А.И. 196
Новиков С.В. 461

О

Овчаров В.А. 467
Орлова Л.В. 541
Охтилев М.Ю. 299, 307
Охтилев П.А. 299, 307

П

Пальчун А.М. 554
Пантелей Е. 548
Петренко С.А. 467, 499, 513
Пилькевич С.В. 481
Плешивцева Ю.Э. 212
Подлипнов П.Е. 405, 408
Попеленков В.В. 206

Р

Рапопорт Э.Я. 212
Рассадникова Е.Ю. 396
Репкин А.Л. 196

С

Сабиров Т.Р. 487
Савчук А.М. 79
Самойленко Д.В. 493
Самойлов Д.Е. 358
Секисов Ю.Н. 405, 408
Семенова В.А. 358
Сергеев С.Ф. 34
Серов В.А. 79
Симонова Е.В. 367
Скобелев П.О. 13, 367
Скобелев О.П. 405, 408

Скобцов Ю.А. 376
Сметанина О.Н. 396
Смирнов С.В. 138, 358
Соколов Б.В. 299, 307
Ступин Д.Д. 481, 499, 505, 509
Сухарева А.Н. 505
Сухов А.М. 461, 509
Сычев С.И. 79

Т

Тесленко В.В. 86

У

Урлапкин В.В. 74
Усанов Д.А. 554
Устинов А.В. 299, 307

Ф

Фомина Е.Е. 247
Филимонов А.Б. 218
Филимонов Н.Б. 218
Филиппов М.Н. 68
Финько О.А. 493

Х

Хаджиева С.В. 223
Хаматьянов Р.В. 327
Харжевская А.В. 515

Ц

Цапенко М.В. 285
Царёв А.В. 382

Ч

Ченгарь О.В. 376
Черняховская Л.Р. 93, 391

Ш

Шабанов В.Б. 119, 125
Шелудько Л.П. 74, 151
Шпак В.В. 40
Шумилина Н.А. 314
Шумский А.Е. 424

Щ

Щукина Н.А. 261

Ю

Юсупова Н.И. 396

Я

Якимов В.Н. 432

B

Baake E. 57

Baldan M. 45

Birjukovs M. 51

J

Jakovics A. 51

K

Khalyavkin A.V. 441

Klokovs A. 51

Köppen D. 57

Krut'ko V.N. 441

M

Mau J. 3

N

Nacke B. 45, 61

Nikanorov A. 45, 61

O

Orkin D. 231

R

Rudolph S. 446

S

Schulze M. 61

V

Vogel S. 446

Vontobel P. 57

ДЛЯ ЗАМЕТОК

Научное издание

Труды XX Международной конференции

ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЯ В СЛОЖНЫХ СИСТЕМАХ

3-6 сентября 2018, Самара, Россия

Редакторы:
академик Е.А. Федосов
академик Н.А. Кузнецов
д.т.н. С.Ю. Боровик

Proceedings of the XX International Conference

COMPLEX SYSTEMS: CONTROL AND MODELING PROBLEMS

September 3-6, 2018, Samara, Russia

Editors:
academician E.A. Fedosov
academician N.A. Kuznetsov
Dr.Tech.Sc. S.Yu. Borovik

Подписано в печать 31.07.2018 г.
Формат 70x100/16. Бумага офсетная. Печать офсетная.
Объём 46,8 усл. печ. л. Тираж 300 экз. Заказ № 748.

Издательство ООО «Офорт».
443011, г. Самара, ул. Потапова, 78В, оф. 102.
Тел.: 973-70-80, 973-70-55
e-mail: ofort-samara@mail.ru

Отпечатано в типографии ООО «Офорт».