Российская академия наук
Институт проблем управления сложными системами

Труды XIX Международной конференции

Proceedings of the XIX International Conference

ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЯ В СЛОЖНЫХ СИСТЕМАХ

COMPLEX SYSTEMS: CONTROL AND MODELING PROBLEMS

12-15 сентября 2017, Самара, Россия

September 12-15, 2017, Samara, Russia

Редакторы:

академик Е.А. Федосов

академик Н.А. Кузнецов

профессор В.А. Виттих

Editors:

academician E.A. Fedosov

academician N.A. Kuznetsov

professor V.A. Vittikh

ИЗДАТЕЛЬСТВО
ОФОРТ
Самара 2017

УДК 519.7
ББК 32.817
П78

П78 **ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЯ В СЛОЖНЫХ СИСТЕМАХ:** *Труды XIX Международной конференции* (12-15 сентября 2017 г. Самара, Россия) / Под ред.: акад. ***Е.А. Федосова***, акад. ***Н.А. Кузнецова***, проф. ***В.А. Виттиха***. – Самара : ООО «Офорт», 2017. – 616 с.

ISBN 978-5-473-01154-8

В сборнике содержатся труды XIX 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, измерения, контроль и диагностика в экстремальных условиях, информационно-управляющие системы в климатически оптимизированном растениеводстве, мониторинг ресурсов и посевов.

УДК 519.7
ББК 32.817

ISBN 978-5-473-01154-8

© Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем управления сложными системами Российской академии наук, составление, оформление, 2017
© Оформление. ООО «Офорт», 2017
© Все права принадлежат авторам публикуемых работ, 2017

The XIX International Conference ”Complex Systems: Control and Modeling Problems” (CSCMP’2017), was held on September 12-15, 2017 in Samara (Russia) by the International Association for Mathematics and Computers in Simulation (IMACS), 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 Smart Solutions Company (Samara, RF).

The Conference was funded by Russian Foundation for Basic Research according to the project № 17-08-20442.

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;
- Operational Information Systems in Climate-Optimized Plant-Growing, Resources and Plants Monitoring.

The scientists from universities and research institutes of Germany, Great Britain, The Netherlands and France participated at the conference. The Russian participants represented the Russian Academy of Sciences, research institutes, universities, research and development centers, enterprises and governmental authorities.

XIX Международная конференция «Проблемы управления и моделирования в сложных системах» (ПУМСС-2017) проводилась в г. Самаре (Россия) с 12 по 15 сентября 2017 года Международной ассоциацией по математическому и компьютерному моделированию (IMACS), 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 № 17-08-20442).

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;
- Информационно-управляющие системы в климатически оптимизированном растениеводстве, мониторинг ресурсов и посевов.

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

ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ КОНФЕРЕНЦИИ

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

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ КОНФЕРЕНЦИИ

1.	*Виттих В.А.*	д.т.н., ИПУСС РАН, г. Самара, *Председатель*
2.	*Боровик С.Ю.*	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.	*Мишин Д.В.*	д.т.н., ПГУТИ, г. Самара
11.	*Орлова Л.В.*	к.э.н., НП «НДСЗ», г. Самара
12.	*Плешивцева Ю.Э.*	д.т.н., ИПУСС РАН, г. Самара
13.	*Смирнов С.В.*	д.т.н., ИПУСС РАН, г. Самара
14.	*Чекалов Л.Л*	к.т.н., ООО «Транс-Мобил-Спедишн», г. Самара

CONTENTS
СОДЕРЖАНИЕ

Plenary Papers
Пленарные доклады

1. *G. Rzevski* 3
Researching digital ecosystems

2. *В.А. Виттих* 4
Дополнительность системного и обыденного подходов к урегулированию проблемных ситуаций в повседневности

3. *Н.А. Гаврилов* 12
Коррупция как атрибут управления государством и обществом и индикатор его эффективности

4. *В.Ф. Меньщиков* 18
Антропогенное воздействие для экосистемы как целого и критерии безопасности при радиоактивном облучении

5. *D. Trentesaux, R. Rault* 26
Ethical behaviour of autonomous non-military cyber-physical systems

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

1. *Yu. Pleshivtseva, E. Rapoport, A. Popov, B. Nacke, A. Nikanorov* 37
Designing of induction heating systems based on three-criteria numerical optimization

2. *В.К. Абросимов, А.Н. Мочалкин, П.О. Скобелев* 45
Стратегия поведения автономного робота в противодействующей среде: ситуационная осведомленность и самоорганизация

3. *А.З. Асанов, Е.О. Гурьянова* 54
Моделирование нелинейных характеристик двухпоточной трансмиссии роботизированных автомобилей

4. *С.А. Белоконь, Ю.Н. Золотухин, А.А. Нестеров, М.Н. Филиппов* 60
Способ построения тестовой последовательности сигналов для оценки аэродинамических характеристик летательного аппарата

5. *А.М. Беляев, Г.Д. Соловьева, О.И. Лахин, Ю.В. Миронов* 67
Реализация экспериментальной версии модуля адаптивного планирования полетных операций в составе автоматизированной системы планирования РС МКС

6. *Е.М. Воронов, Т.Г. Крыжановская, С.А. Варакушин, А.А. Селезнев* 77
Статистические решения в эвристической самоорганизации

7. *Е.М. Воронов, В.А. Серов, М.А. Клишин, К.К. Любавский* 83
Адаптация результатов многокритериальной оптимизации трехканальной системы стабилизации беспилотного летательного аппарата

8. *В.Е. Гвоздев, Д.В. Блинова, Д.Р. Ахметова, Р.А. Насырова* 91
Сравнительный анализ базовых фрактальных архитектур по признаку устойчивости к отказам компонентов

9. *Н.Г. Губанов, С.В. Сусарев, Ю.И. Стеблев, В.И. Батищев* 96
Метод функционирования интеллектуального программно-аппаратного комплекса для мониторинга и обеспечения безопасности эксплуатации трубопровода с применением базы данных

10. *Н.С. Долгов, В.Г. Шалумов* 103
Разработка и эксплуатация программно-аппаратных комплексов мониторинга состояния и управления технологическим оборудованием космодрома

11. *А.И. Дьяконов* 111
Система агрегированного управления процессом индукционного нагрева

12. *Ю.И. Еременко, А.И. Глущенко, В.А. Петров* 117
О совместной работе нейросетевых настройщиков регуляторов тока якоря и скорости для решения задачи адаптивного управления электроприводом прокатной клети

13. *Ю.И. Еременко, Д.А. Полещенко, Ю.А. Цыганков, М.Д. Боровинских* 123
Идентификация многопараметрического технологического объекта при помощи нейронной сети

14. *Б.Г. Ильясов, Г.А. Саитова* 129
Анализ устойчивости линейных многомерных динамических систем, взаимодействующих через голономные связи

15. *К.В. Канина, А.С. Мальцев, А.Е. Цупа* 135
Создание экспериментальных роботов и алгоритмов управления в условиях возмущений

16. *К.Ю. Котов, А.М. Свитова, Е.Д. Семенюк, М.А. Соболев* 141
Структурный синтез системы автоматического управления полетом параплана

17. *Г.А. Крыжановский, В.В. Купин* 146
Разработка измерительной процедуры для оценки мотивационной готовности операторов автоматизированных систем управления на транспорте

18. *Б.И. Крючков, А.А. Карпов, В.М. Усов, В.А. Чертополохов* 153
Многоуровневый мониторинг жестового управления мобильным роботом при внекорабельной деятельности на поверхности луны

19. *С.А. Кулабухов, А.С. Якушев* 160
Подбор оптимального оператора нечеткой импликации для автономной системы охлаждения режущего инструмента на станках с ЧПУ

20. *М.Ю. Лившиц, М.Ю. Деревянов, Е.А. Якубович* 165
Оптимизация процесса вакуумной цементации

21. *О.Ю. Марьясин* 172
Методы оптимального управления теплоснабжением зданий с использованием прогнозирующих моделей

22. *В.В. Михайлов, Н.М. Иванов* 178
Управление походкой шагающего робота на основе гибридного автомата

23. *В.В. Михайлов, Д.В. Кузьмин, С.А. Потрясаев* 186
Разработка и моделирование системы управления гидравлическими приводами шагающего шасси

24. *М.Л. Паткин* 193
Актор-критик метод в задачах управления взаимодействующими мобильными киберфизическими системами

25. *Э.Я. Рапопорт, Ю.Э. Плешивцева* 199
Векторная оптимизация систем управления с распределенными параметрами

26. *Я.К. Рунков, А.З. Асанов* 206
Математическая модель движения большегрузного автомобиля с колесной формулой 6х4 в задаче разработки алгоритма противопробуксовочной системы с идентификацией пробуксовки на каждом колесе

27. *С.В. Соловьев, Н.В. Мишурова* 212
Применение теории графов для оперативного контроля при управлении полётом пилотируемых кораблей

28. *С.В. Соловьев, К.И. Хаиров* 218
Метод прогнозирования состояния космических аппаратов на основе интеллектуального анализа данных

29. *П.А. Степанов, М.Ю. Охтилев* 224
Эффективная разработка мнемосхем при контроле технического состояния космической техники

30. *В.Ю. Тарасов, А.З. Асанов* 230
Математическая модель движения большегрузного автомобиля в задаче управления курсовой устойчивостью

31. *В.Ю. Тарасов, А.З. Асанов* 237
Структура и способ реализации системы управления курсовой устойчивостью большегрузного автомобиля

32. *А.Б. Филимонов, Н.Б. Филимонов* 242
Некоторые аспекты применения метода потенциальных полей в задачах локальной навигации мобильных роботов

33. *К.Р. Чернышев* 248
Меры энтропии в идентификации стохастических систем

34. *В.Г. Шалумов, Н.С. Долгов* 255
Интеллектуальные информационные технологии проектирования программных средств диагностирования автоматизированных систем управления технологическим оборудованием и их применение на космодромах

Management Processes in the Society
Процессы управления в обществе

1. *J. Mau* 261
Behavior, society, and neuroexperimentation

2. *Г.В. Акопов, Л.Е. Загребова, З.Ф. Камальдинова, Д.Е. Овчинников, С.А. Пиявский, С.В. Смирнов, В.Ю. Шаврин* 273
Проблемы формирования региональной научно-образовательной развивающей среды в сфере науки, техники и технологий

3. *М.Р. Арпентьева* 281
Консенсус как феномен интерсубъективного управления

4. *М.Р. Арпентьева* 293
Интерсубъективные аспекты формирования и развития правосознания

5. *Г.П. Виноградов, Н.Г. Виноградова, Е.Е. Фомина* 303
Принятие решений в эмоционально мотивированных системах

6. *В.А. Виттих* 311
Эвергетика и феноменология

7. *Д.В. Вырыпаев* 321
Влияние различных типов индивидуального сознания на управление социальными системами

8. *Н.К. Криони, Б.Г. Ильясов, И.Б. Герасимова, А.Г. Карамзина* 326
Многосвязное управление деятельностью научной школы на основе знаний

9. *Т.В. Моисеева* 332
Социогуманитарная составляющая интерсубъективного управления инновационным развитием социотехнических объектов

10. *Ю.В. Мятишкин* 338
Средства достижения консенсуса в широких группах людей, объединенных общей проблемной ситуацией

11. *А.Ю. Нестеров* 346
«Спор о технике» Ф. Дессауэра и проблема исполнения

12. *С.Ф. Сергеев* 351
Постнеклассическая парадигма сложных систем в инженерно-психологическом проектировании

13. *М.В. Цапенко* 355
Анализ свойств системных оценок сравнительной эффективности инновационных проектов

14. *Л.Л. Чекалов* 365
Виды управления в социальных системах и их взаимодействие

Intellectual Technologies in Complex Systems
Интеллектуальные технологии в сложных системах

1. *А.З. Асанов, И.Ю. Мышкина* 373
Применение когнитивных карт для решения некоторых кадровых задач проектных организаций

2. *А.Д. Бахмут, А.В. Крылов, П.А. Охтилев* 379
Подход к организации интеллектуальной системы поддержки принятия решений по управлению сложной организационно-технической системы на основе модифицированной сети Петри

3. *В.Е. Гвоздев, Д.В. Блинова, А.С. Давлиева* 387
Элементы концепции управления дефектами систем обработки данных и управления

4. *В.Е. Гвоздев, И.С. Симонов* 393
Комплексный анализ сетевых графиков на основе аппарата схем сопряжения

5. *В.Е. Гвоздев, Л.Р. Черняховская, Р.И. Мухаметьянова, И.П. Владимирова* 399
Стратегическое управление проектами на основе прогнозирования эффективности персонала организации с использованием интеллектуального анализа данных

6. *О.И. Захарова* 404
Разработка аналитической CRM–системы оценки кредитоспособности заемщиков регионального банка

7. *А.Э. Зянчурин, А.В. Устинов* 410
Описание моделей и методов разработки адаптивного пользовательского интерфейса трехмерных мнемосхем в составе систем поддержки принятия решений

8. *Н.А. Калинина, А.Е. Шумский* 416
Метод мониторинга процесса управления проблемами ИТ систем

9. *Д.В. Каширских* 422
Использование DEA-метода для сравнительной оценки ресурсной ценности объектов размещения нефтесодержащих отходов

10. *А.В. Крылов, П.А. Охтилев, А.Д. Бахмут* 428
Комбинированная прецедентная модель поддержки принятия решения и её применение в экспертных системах для сложных организационно-технических объектов

11. *Л.В. Массель* 436
Ситуационное управление, качество жизни и эвергетика

12. *Я.А. Мостовой, В.А. Бердников* 445
Муравьиные алгоритмы в планировании двухфазных операций на больших сетях

13. *П.А. Охтилев, А.В. Крылов, А.Д. Бахмут* 455
Системный анализ моделей представления знаний при решении задачи синтеза системы мониторинга структурных состояний сложных организационно-технических объектов

14. *Д.Е. Самойлов, В.А. Семенова, С.В. Смирнов* 468
Модель ограничений существования свойств в онтологическом моделировании

15. *П.О. Скобелев, А.А. Жиляев, И.В. Майоров, В.Г. Елисеев, В.С. Травин, Е.В. Симонова* 474
Оперативное управление ресурсами цехов предприятий на основе мультиагентного подхода

16. *П.О. Скобелев, С.С. Кожевников, И.В. Майоров, Д.П. Полюдов, Е.В. Симонова* 486
Разработка мультиагентной системы управления проектами в аэрокосмических приложениях

17. *П.О. Скобелев, А.Н. Лада, И.В. Орлов* 501
Метод построения тандем-плана комплектации и курьерской внутригородской развозки сборных грузов в специальной VRPTW задаче доставки продуктов питания

18. *Б.В. Соколов, А.В. Крылов А.В., М.Ю. Охтилев, П.А. Охтилев, С.А. Потрясаев* 508
Логико-динамическая модель и алгоритмы комплексного планирования функционирования автоматизированной системы управления активными подвижными объектами

19. *А.В.Устинов, А.Э. Зянчурин, И.С. Кириллов* 514
Перспективы использования потоковой модели распределённых вычислений в системах мониторинга

20. *Л.Р. Черняховская, Н.О. Никулина, Н.И. Федорова, А.И. Малахова* 519
Разработка системы диагностических знаний с использованием интеллектуального анализа данных

21. *Н.И. Юсупова, О.Н. Сметанина, А.И. Агадуллина* 526
Интеллектуальные технологии поддержки принятия решений в системе экологического 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, Ю.Н. Секисов, О.П. Скобелев* 535
Самокомпенсация температурных воздействий на одновитковый вихретоковый датчик при измерении радиальных зазоров в компрессоре и турбине

2. *М.А. Габидулин* 538
Синтез и анализ математических моделей фазовращателей преобразователей перемещений

3. *С.В. Жуков, У.В. Бояркина* 547
Автоматизированная система контроля деформационного состояния лопастей несущего винта вертолета

4. *Г.Г. Куликов, В.А. Трушин, А.И. Абдулнагимов, Г.И. Погорелов* 554
Мониторинг параметров напряженно-деформированного состояния системы ротор-корпус турбины авиационного ГТД

5. *П.Е. Подлипнов* 562
Интегрированная модель одновиткового вихретокового датчика и компрессорной лопатки

6. *Г.А. Черезов, А.В. Волынская* 564
Концептуальная модель системы диагностирования объектов железнодорожной автоматики и телемеханики

Operational Information Systems in Climate-Optimised Plant-Growing, Resources and Plants Monitoring
Информационно-управляющие системы в климатически оптимизированном растениеводстве, мониторинг ресурсов и посевов

1. *A. Bijl* 573
Poultry farming in Africa

2. *В.В. Ерёменко* 575
Современные решения в управлении эффективностью в растениеводстве

3. *И.С. Козубенко, А.В. Алжеев, О.А. Моторин* 578
Инновационные системы управления в сельском хозяйстве

4. *Л.В. Орлова, В.А. Виттих, С.Ю. Боровик, П.О. Скобелев, Д.В. Будаев А.Н. Мочалкин* 583
Разработка информационно-управляющей системы для климатически-оптимизированного сельскохозяйственного производства на принципах экологической и экономической эффективности

5. *Л.В. Орлова, П.О. Скобелев, Д.В. Будаев* 591
Проблемы, стоящие перед сельхозпроизводством, программные продукты, управленческие решения для экономической и экологической эффективности производства

Plenary Papers
Пленарные доклады

RESEARCHING DIGITAL ECOSYSTEMS

George Rzevski
Emeritus Professor, Centre for Complexity and Design,
The Open University, UK
3 Ashbourne Close London UK
George@rzevski.net
+447525746106

***Keywords**: Complex Adaptive Systems, Self-Organisation, Digital Ecosystem, Connected and Sustainable Society*

Abstract
В статье дается определение цифровым экосистемам. Цель исследования – понимание и разработка методологий их построения. Рассматривается несколько примеров цифровых экосистем, таких как управление водными ресурсами и здравоохранение.

Introduction

According to Wikipedia, "A digital ecosystem is a distributed, adaptive, open socio-technical system with properties of self-organisation, scalability and sustainability inspired from natural ecosystems. Digital ecosystem models are informed by knowledge of natural ecosystems, especially for aspects related to competition and collaboration among diverse entities".

Gartner's definition is simpler, "A digital ecosystem is an interdependent group of enterprises, people and/or things that share standardized digital platforms for a mutually beneficial purpose (such as commercial gain, innovation or common interest). Digital ecosystems enable you to interact with customers, partners, adjacent industries — even your competition".

The aim of this research is to gain understanding of and develop methodologies for building digital ecosystems, as defined in Wikipedia.

The overall objective is to build connected, sustainable society, which is capable of cost-effectively feeding, watering, housing, educating, keeping in good health and harnessing skills, creativity and intelligence of its members.

The results are expected to emerge from *self-organization* of the digital ecosystem, rather than to be achieved as explicit design goals.

The author is particularly interested in building ecosystems consisting of enterprises, administrations, individuals and "things" (like in the Internet of Things).

Presentation

During the presentation the speaker will outline first results of this research and demonstrate a practical application.

ДОПОЛНИТЕЛЬНОСТЬ СИСТЕМНОГО И ОБЫДЕННОГО ПОДХОДОВ К УРЕГУЛИРОВАНИЮ ПРОБЛЕМНЫХ СИТУАЦИЙ В ПОВСЕДНЕВНОСТИ

В.А. Виттих

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем управления сложными системами Российской академии наук
443020, Самара, ул. Садовая, 61, Россия
vav1940@gmail.com
тел: +7 (846) 332-39-27, факс: +7 (846) 333-27-70

***Ключевые слова**: дополнительность, проблемная ситуация, повседневность, системный и обыденный подходы, гетерогенный актор*

Abstract

The article explains the complementarity (understood in the sense by N. Bohr) of the classical system approach to resolving problem situations in the society, implemented by professional managers, and of the commonplace approach, involving active ordinary citizens from everyday life in the processes of decisions elaborating and making. In the first case, the man acts as a functionary, cognizing the situation "from the outside", in the second case – in the role of the heterogeneous actor, getting conscious and experiencing the situation "from the inside". Both of these approaches are partially true, as they describe the situation based on two different types of knowledge: the system approach is aimed at the acquisition of abstract knowledge by S. Frank, expressed in judgments by means of concepts, while the commonplace approach is aimed at living knowledge, knowledge - experience. Each of these situation descriptions is well-grounded and can therefore be used as a complement to the other; this means that only joint use of the system and commonplace approaches can give an adequate, comprehensive view of the problem situation

Введение

Когда-то в глубокой древности, в эпоху «общинной демократии», сложился обыденный подход (commonplace approach) к урегулированию проблемных ситуаций в жизни общины: осознав проблему, члены общины собирались в выбранном ими общем месте (common place), обсуждали способы возможного избавления от неё и принимали устраивающее всех решение, которое затем теми же общинниками и реализовывалось. Всё делалось совместно, «лицом к лицу», начиная с общего понимания проблемы, заканчивая её решением. И такой способ организации, а точнее – самоорганизации, процессов управления в какой-то степени сохранился до наших дней при решении «локальных проблем», когда, например, группа людей объединяет свои усилия и ресурсы для оперативного устранения препятствия, возникшего на их пути. Однако по мере роста размера общины, расширения территории проживания, разделения труда, развития технологий и т.п. непосредственное участие каждого члена общины в процессах принятия общезначимых решений становилось невозможным, поскольку у него не оставалось времени для выполнения других важных функций в повседневной жизни.

Тогда пришлось договариваться о том, чтобы некоторые наиболее часто и регулярно возникающие проблемы решались на постоянной основе выделенными из общины людьми, освобождёнными от части повседневных забот и объединёнными в формально организованные группы, в которых они исполняли возложенные на них функции (т.е. являлись функционерами), вступая между собой в некоторые регламентированные отношения. Так появились первые

системы, которые наделялись необходимыми ресурсами со стороны повседневного жизненного мира, определяющего «зачем?» и «что нужно делать?» создаваемым системам. «Мир повседневности» поначалу направлял деятельность «мира систем», формировавшегося на основе институционализации, т.е. путём формализации социальных отношений, создания организационных структур с иерархией власти и регламентации деятельности.

Однако со временем положение изменилось на обратное: интересы систем стали доминировать над повседневными чаяниями людей. *Свою приверженность системе функционер (чиновник, менеджер), как элемент этой системы, выражал в деятельности, ориентированной в первую очередь на достижение показателей эффективности самой системы,* а вот, например, удовлетворённость населения качеством услуг, предоставляемых системой, он отодвигал на второй план. Ведь именно «система» определяет его успешное продвижение по карьерной лестнице, размеры оплаты труда и иных вознаграждений, а то, что совершенствование систем не влечёт за собой автоматическое повышение качества повседневной жизни людей, «человек системы» старался не принимать во внимание.

Иными словами, любая система, несмотря на то, что она «вырастает» из повседневности, начинает вырабатывать собственные цели и критерии эффективности, постепенно всё больше отдаляясь от повседневного жизненного мира. Более того, по мнению Ю.Хабермаса, происходит *«колонизация жизненного мира» системами*: «императивы автономных подсистем, сбросив идеологические покровы, завоёвывают, подобно колонизаторам, пришедшим в первобытное общество, жизненный мир извне и навязывают ему процесс ассимиляции» [1]. Всё стало сводиться к созданию, эксплуатации, модернизации и оптимизации самых разнообразных систем. И дело не столько в том, что *системный подход*, с его рациональностью и ориентацией на работу нанятых менеджеров и внешних экспертов, *стал превалировать в теории и практике управления* [2], сколько в забвении обыденного подхода к урегулированию проблемных ситуаций, включающего в процессы выработки и принятия решений рядовых людей из повседневности, не являющихся профессиональными управленцами.

Понятия «повседневность», «обыденность», «жизненный мир» и другие, связанные с ними, долгое время находились вне поля зрения учёных, занимающихся наукой об управлении, которые, если и предполагали участие «непрофессионалов» в процессах управления, то только в рамках развиваемого ими системного подхода (например, создавая разнообразные совещательные общественные органы при властных структурах). В то же самое время в реальной жизни всегда выделяется часть активных людей, которые переживают ту или иную жизненную ситуацию, озабоченные необходимостью её урегулирования и готовые принимать участие в постановке задач и решении возникающих проблем, используя имеющиеся в их распоряжении ресурсы. Включение таких людей, называемых *акторами*, в процессы управления открывает новые возможности повышения качества повседневной жизни населения. Однако для достижения этой цели требуется создание соответствующего теоретического фундамента.

Поэтому в работах [3–5] обоснована необходимость создания эвергетики - науки о процессах интерсубъективного управления в повседневности, связанной с классической наукой об управлении принципом дополнительности [6], который является развитием фундаментального принципа дополнительности Н.Бора [7].

В данной статье ставится задача показать дополнительность системного и обыденного подходов к урегулированию проблемных ситуаций в повседневности, которые, несмотря на то, что являются взаимоисключающими, тем не менее оба должны использоваться в процессах управления; в противном случае не будет достигаться должного качества принимаемых решений в силу их слабой адекватности жизненным реалиям.

1 Функционеры и акторы

Человек существует одновременно и в повседневности, и в мире систем. При этом, как справедливо полагал А.Лефевр [8], «концепт повседневности не означает систему, но скорее

является знаменателем, общим для существующих систем». Повседневность – это мир, в котором человек родился и живёт как телесно-духовная целостность. В повседневности человек выступает как личность, как субъект общественной жизни, общения и деятельности, а также – своих собственных сил, способностей, потребностей, интересов, устремлений и т.п. [9]. Н.Бердяев подчёркивал, что «человек – не дробная, бесконечно малая часть Вселенной, а малая, но цельная вселенная» [10]. Именно в повседневности 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 [11].

В любой системе, в которой фиксированы элементы и отношения между ними, человек выполняет определённую функцию, являясь, таким образом, функционером, который в силу возложенных на него обязанностей, опираясь на действующие в системе регламенты, должен осуществлять деятельность по урегулированию проблемных ситуаций, используя ресурсы системы. Для функционера, в отличие от актора, ситуация является внешним объектом, объективно познаваемым со стороны, управление которым не должно зависеть от каких-то особенностей характера субъекта. В этом смысле «идеальная бюрократия» М.Вебера, с её жёсткой функциональной специализацией, иерархией власти и игнорированием личных качеств людей, вообще превращает человека в «винтик» бюрократической управленческой машины.

Таким образом, *человек может быть и актором в повседневном жизненном мире, и функционером в одной или нескольких системах*. И эти его роли на «сцене жизни» принципиально отличаются между собой. Актор опирается на обыденную картину мира, возникающую из повседневной жизни, в центре которой стоит человек; ведь повседневность – это и есть мир, где он является главной фигурой. Поэтому каждый актор субъективно воспринимает и оценивает ситуацию, исходя из своих собственных представлений о ценностных приоритетах (по этой причине, кстати, акторы и являются неоднородными). Функционер же должен руководствоваться объективной научной картиной мира, которая строится вокруг объектов, понимаемых как не зависящие от человеческой субъективности. Здесь субъект отделён от объекта (ситуации), являясь сторонним наблюдателем, стремящимся получить объективно истинные знания, на основе которых он будет вырабатывать управляющие воздействия. Таким образом, *обыденный подход к урегулированию проблемных ситуаций является субъектно – и ценностно – ориентированным, а системный – субъектно – и ценностно – инвариантным.*

Системный подход предполагает эффективную деятельность функционеров в духе веберовской целерациональности (инструментальной рациональности), ориентирующей их поведение на средства, представляющиеся адекватными для достижения поставленных целей [12]. Речь идёт именно о средствах (инструментах) достижения целей, а не об оценке рациональности последних. Цель принимается и фиксируется как некая исходная данность, а вот действия функционеров по направлению к цели могут варьироваться и должны быть инструментально рациональными. Поэтому инструментальная рациональность трактуется как соответствие средств цели, как подчинение деятельности функционеров только критерию эффективности. При этом З. Бауман отмечает [13], что в системах, построенных на бюрократических принципах, приходится сталкиваться с эффектом латентной «подмены целей», когда «всякое действие направлено не на объект, не на цель, а на следование правилам и подчинено процедурной рациональности», т.е. приоритетными становятся цели канцелярские, а не государственные или корпоративные.

В отличие от целерациональных функционеров, акторы должны придерживаться коммуникативной рациональности, ориентированной на достижение взаимопонимания между ними и консенсуса, которая является одним из ключевых понятий теории коммуникативного действия Ю. Хабермаса [14]. «Если инструментальная рациональность состоит в способности находить, выбирать и осуществлять наиболее эффективные способы осознанных и чётких целей, то коммуникативная рациональность предполагает достижение понимания и согласия относительно целей на основе диалога между субъектами социального действия в рамках со-

циализации. В отличие от действия на основе сотрудничества, стимулом к которому является вознаграждение или угроза, коммуникативная рациональность зависит от степени добровольной вовлечённости в соответствующее действие заинтересованных и компетентных индивидов. Диалог между ними способствует осознанию взаимных прав и моральных обязательств, продуцирует солидарность, имеющую внутреннюю связь со справедливостью» [15]. Причём выражение «взаимопонимание» обязательно требует дополнения «свободное от принуждения» и трактуется как «процесс взаимного убеждения».

Иными словами, целеполагание становится результатом коммуникативных действий неоднородных акторов, которые поэтому выступают в роли постановщиков задач по отношению к функционерам из мира систем. И это чрезвычайно важно, поскольку именно акторы, переживающие проблемную ситуацию, способны совместными усилиями понять её смысловое содержание и определить основное направление поиска способа решения проблемы.

2 Познание и осознание проблемной ситуации

Если функционеры познают (cognition) проблемную ситуацию, то акторы её осознают (consciousness). Процедура познания осуществляется на основе классической *гносеологии*, постулирующей *оппозицию субъекта* (функционера) и *объекта* (ситуации) и нацеленной на приобретение *объективно истинного знания* без примеси человеческой субъективности. *Объект здесь пред – дан субъекту* и является «вещью в себе», т.е. некой сущностью, понимаемой как суть, внутреннее содержание вещи, выражающееся в единстве всех многообразных форм её бытия. Функционеры, используя различные источники информации, приобретают знание (knowledge acquisition) о ситуации, которое С. Франк в своей монографии «Предмет знания» назвал знанием отвлечённым: «знание, выраженное в суждении посредством понятий, то, что мы называем отвлечённым знанием, имеет всегда свой предмет вне себя и, достигая содержания самого предмета, вместе с тем не есть полное обладание предметом, а даёт лишь вторичное воспроизведение его в отражённой, низшей сфере понятий… *Понятия далеко не исчерпывают всей полноты того, что я непосредственно воспринимаю»* [16].

Являясь внешним наблюдателем, приобретающим «объективное» отвлечённое знание о проблемной ситуации, функционер из мира систем, таким образом, всегда имеет дело с её «срезом», а целостная картина ему недоступна. Полнота описания ситуации может быть достигнута только тогда, когда в сферу рассмотрения будут введены знания людей, находящихся «внутри» сложившейся ситуации, т.е. знания тех самых неоднородных акторов. С. Франк определяет такое знание как *живое знание*, как «знание-жизнь, где субъект вообще уже не противостоит объекту, а знает объект в силу того, что слит с ним в самом своём бытии, или где бытие и знание действительно есть одно и то же» [16].

Для актора объект – ситуация является *феноменом* – вещью, которая не существует «сама по себе», отдельно от человека; *субъект и объект в нём слиты воедино*. *Феномен* – это нечто переживаемое человеком, *то, что составляет содержание человеческих переживаний* [17]. В феноменологии Э. Гуссерля под феноменом понимаются возникающие в сознании смыслы предметов. Поэтому именно феноменологический взгляд на вещи, призывающий вернуться (от научных идеализаций и понятий) «назад к вещам», составляет основу обыденного подхода к урегулированию проблемных ситуаций в повседневности. Здесь следует отметить *синонимичность феноменологии Э. Гуссерля и онтологической гносеологии С. Франка*, относящего их к «единой науке, объемлющей единство знания и его предмета» [16].

Коммуницируя между собой, *неоднородные акторы совместно осознают смысловое содержание проблемной ситуации* и ищут устраивающий всех способ выхода из неё, следуя *конвенциональной концепции истины А. Пуанкаре*, трактующей истину как результат соглашения. Приобретаемое ими «живое» интерсубъективное знание становится поэтому результатом достижения взаимопонимания и консенсуса, в отличие от формальных процедур принятия решений функционерами, использующих обычно мажоритарный принцип голосования. Каза-

лось бы, что может быть проще – проголосовали, решили большинством голосов, и нет сомнений в правильности сделанного выбора. Но при этом не следует забывать «меньшинство», остающееся в оппозиции, будучи не согласным с принятым решением, которое начинает играть роль «занозы» в общественной жизни, потенциального источника социальной напряжённости.

Таким образом, *системный и обыденный подходы* к урегулированию проблемных ситуаций, имеющие различные методологические основания, *являются по своей сути взаимоисключающими*, хотя на практике иногда обозначаются зоны их пересечения. Например, когда говорят, что в системе сработал «человеческий фактор», то хотят подчеркнуть существование и внесистемных факторов, относящихся к повседневной жизни. Поэтому, реализуя системный подход, необходимо одновременно принимать во внимание и обыденный взгляд на проблему, поскольку только в этом случае можно обеспечить должную полноту представления о проблемной ситуации и способах её урегулирования. В таком контексте можно говорить о дополнительности этих двух подходов.

3 Дополнительность системного и обыденного подходов

Около ста лет назад в физике возникла проблема, связанная с тем, что Э. Резерфорд описал атом как частицу, а Э. Шредингер предложил модель атома как волнового процесса. Оба эти описания являлись взаимоисключающими, потому что одна и та же вещь не может быть одновременно и частицей, поскольку заключена в очень малый объём, и волной, распространяющейся в значительной области пространства. Для разрешения этого противоречия Н. Бор предложил свой знаменитый принцип дополнительности, рассмотрев описания частицы и волны как два дополняющих друг друга описания одной и той же реальности [7]. Каждое из этих описаний могло быть только частично истинным, и не могло избежать противоречий, но при этом оно являлось состоятельным и потому дополняющим другое [18].

Н. Бор предвидел более широкое, выходящее за рамки квантовой механики, применение принципа дополнительности: «Что касается человеческих сообществ, то мы хотели бы особенно подчеркнуть, что *в описании положения отдельного лица внутри общества имеются типично дополнительные стороны, связанные с подвижной границей между оценкой ценностей и общими положениями, на основании которых о них судят*... В каждом случае, где нужно строго применять закон, не остаётся места для проявления милосердия, и наоборот, доброжелательство и сострадание могут вступить в конфликт с самими принципами правосудия… В древневосточной философии это подчёркивается следующим мудрым советом: добиваясь гармонии человеческой жизни, никогда не забывай, что на сцене бытия мы сами являемся как актёрами, так и зрителями» [7].Этим высказыванием Н.Бор, по-существу, предвосхитил появление принципа дополнительности в науке о процессах управления в обществе [6].

Что касается системного и обыденного подходов к урегулированию проблемных ситуаций в повседневности, то они являются *частично истинными*, поскольку описывают ситуацию, опираясь на два различных, в значительной степени противоположных типа знаний: один из подходов направлен на приобретение отвлечённого знания, выраженного в суждении посредством понятий, а другой вырабатывает живое знание, знание – переживание. *Каждое из этих описаний ситуации*, безотносительно друг к другу, *является в достаточной степени обоснованным, и поэтому может использоваться в качестве дополнения к другому*. С этой точки зрения системный и обыденный подходы и являются дополнительными.

А это означает, что только *их совместное использование может дать адекватное, исчерпывающее представление о проблемной ситуации.* В то же самое время существующая практика управления показывает, что системный подход занимает доминирующее положение, отодвигая обыденный на задний план. Соответственно общественное мнение сформировано таким образом, что системный взгляд на проблему считается едва ли не единственно прием-

лемым, отвечающим жизненным потребностям людей, поскольку окружающий мир – это одни только системы и системы систем. На самом деле это не совсем так, а точнее, совсем не так.

Дополнительность системного и обыденного подходов означает, что они, являясь противоположными сущностями, *не столько противостоят, сколько дополняют друг друга* (см. табл. 1). Это два различных взгляда, два несводимых друг к другу описания одной и той же реальности (проблемной ситуации) *потенциальными оппонентами - акторами и функционерами, которые тем не менее должны уметь вырабатывать консенсус путём взаимных убеждений и аргументации*. Тогда становится ясным, что *в процессах принятия решений относительно урегулирования проблемной ситуации должны участвовать как профессиональные управленцы (чиновники, менеджеры), так и непрофессионалы – неоднородные акторы («простые люди») из повседневности.* Понимание и признание принципа дополнительности системного и обыденного подходов приводит нас, таким образом, к необходимости *включения в процессы управления «обыденных управленцев», которые должны выступать «в тандеме» с функционерами из мира систем:* имея независимые и даже взаимоисключающие взгляды на проблемную ситуацию, они должны, коммуницируя между собой, достигать взаимопонимания и консенсуса при выборе способа урегулирования ситуации, устраивающего тех и других. Конечно же, при этом управленческие механизмы станут более сложными, но не следует забывать, что человечество начинает жить в информационном обществе, в котором информационные технологии открывают новые возможности преодоления этой самой сложности. Например, мультиагентные технологии могут использоваться в качестве инструмента для решения упомянутой нетривиальной задачи достижения консенсуса [19].

Следует отметить, что своими корнями идея дополнительности в сфере организации процессов управления в жизни общества уходит в далёкое прошлое. В частности, она нашла отражение в книге А. де Токвиля [20], написанной им под впечатлением от поездки в США и Канаду в 1831 году. Уже тогда он увидел в объединении простых людей из повседневности необходимость и возможность содействия выполнению государственных функций: «свободная ассоциация граждан могла бы играть роль могущественных вельмож, защищая государство и от опасности тирании, и от угрозы вседозволенности… И хотя государственное правление имеет представительную форму, нет сомнения, что в повседневном управлении обществом беспрепятственно проявляются мнения, предрассудки, интересы и даже страсти народа» [20]. Как отмечается в [21], М.Вебер писал о том, что ценностные категории, присутствующие в обыденном подходе, и автономные от ценностей научные критерии, характерные для системного подхода, являются необходимыми (дополнительными) инструментами познания, но лежат в разных (гетерогенных) плоскостях. А К.Лоренц предупреждал, что «подход к жизненным проблемам с чисто научным (системным – примечание моё) мышлением может иметь катастрофические последствия» [21].

Однако вторая половина 20-го века ознаменовалась широким распространением именно системного подхода к решению задач, возникающих в жизни людей, который рассматривался (и рассматривается до сих пор) вне связи с подходом обыденным. Осознание дополнительности и, соответственно, необходимости совместного использования этих двух подходов является важным шагом на пути повышения эффективности процессов управления в жизни общества.

Таблица 1 – Сравнение системного и обыденного подходов

Обыденный подход	Системный подход
Человек принимает непосредственное участие в процессах управления как телесно-духовная целостность (the man) из повседневности	Человек делегирует свое право участвовать в принятии решений функционерам (чиновникам и менеджерам) - «проекциям» людей (a man) на их функции в системе (опосредованное участие)
Человек устремлен получать блага, являющиеся пределом его желаний и ожиданий	В системах накапливаются и распределяются ресурсы как имеющиеся возможности для создания благ
Человек переживает и осознает проблемную ситуацию в повседневной жизни, приобретая живое «субъективно окрашенное» знание	Функционер познает проблемную ситуацию в повседневности «со стороны», приобретая отвлеченное «объективное» знание, выраженное в понятиях и суждениях
Методологическая база - феноменология Э. Гуссерля, рассматривающая физический мир и сознание индивида как связанные между собой части единого, и онтологическая гносеология С.Л. Франка	Методология системного подхода основывается на классической логике научного познания - гносеологии
Акторы, мотивированные к урегулированию проблемных ситуаций, самоорганизуются в ассоциации	Функционеры взаимодействуют на основе предписанных системой инструкций, формируя целевые программы
Объект (проблемная ситуация) и цель управления не пред-даны априори, а формируются в интерсубъективном сознании акторов	Объект, целевая функция и критерии эффективности определяются топ-менеджерами, исходя из интересов систем
Эвергетика - постнеклассическая ценностно- и субъектно-ориентированная наука о процессах управления в обществе	Классическая наука управления (management science) - ценностно- и субъектно-инвариантная наука
⇓	
Обыденный и системный подходы являются дополнительными друг к другу. Это два несводимых один к другому описания одной и той же реальности (проблемной ситуации). Поэтому в процессах управления должны участвовать и функционеры, и акторы, для чего должна быть разработана соответствующая нормативная база.	

Заключение

На протяжении всей своей жизни человек постоянно участвует в урегулировании тех или иных проблемных ситуаций, делая это непосредственно, на основе обыденного подхода, либо опосредованно, используя системный подход. В первом случае человек выступает как неоднородный актор из повседневной жизни, осознающий и переживающий ситуацию «изнутри», а во втором – в роли функционера – профессионального управленца из мира систем, познающего ситуацию «со стороны». Системный подход, с его рациональностью и рычагами управления – властью и деньгами, выражающий интересы чиновников и менеджеров, стал доминантой в процессах управления, отодвинув на задний план обыденный подход, исходящий из озабоченности рядовых граждан необходимостью решения волнующих их проблем повседневной жизни. В результате между населением и властью образуется пропасть, которая постепенно становится непроходимой. Для того чтобы приостановить этот негативный процесс , необходимо понять и признать дополнительность этих двух подходов, после чего трансформировать соответствующим образом механизмы управления.

Системный и обыденный подходы к урегулированию проблемных ситуаций в повседневности являются частично истинными, поскольку описывают ситуацию, опираясь на два различных, в значительной степени противоположных типа знаний : один из них направлен на

приобретение отвлечённого знания, выражаемого в суждениях посредством понятий, а другой вырабатывает живое знание, знание – переживание. Каждое из этих описаний ситуации является состоятельным, в достаточной степени обоснованным, и поэтому может использоваться в качестве дополнения к другому. С этой точки зрения системный и обыденный подходы и являются дополнительными, а это означает, что только их совместное использование может дать адекватное, исчерпывающее представление о проблемной ситуации. Таким образом, эти два, казалось бы, взаимоисключающих подхода не столько противостоят, сколько дополняют друг друга.

Список литературы

[1] Хабермас Ю. Отношения между системой и жизненным миром в условиях позднего капитализма. – Thesis, вып.2, 1993, с.123 – 136.

[2] Johnson R.A., Kast F.E., Rosenzweig J.E. The Theory and Management of Systems (second edition)//McGraw – Hill Book Company, New York, 1967 (перевод с английского, М.: Советское радио, 1971. – 648 с.)

[3] Виттих В.А. Проблемы эвергетики. – Проблемы управления, № 4, 2014, с. 69 – 71.

[4] 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.

[5] Vittikh V.A. Evergetics : Science of Intersubjective Management Processes in Everyday Life. - International Journal Management Concepts and Philosophy, vol.9, No.2, 2016, p.63-72.

[6] Виттих В.А. Принцип дополнительности в науке о процессах управления в обществе. – Вестник Самарского государственного технического университета. Серия «Технические науки», №4 (52), 2016.

[7] Нильс Бор. Избранные научные труды (в двух томах), том II. – М.: Издательство «Наука», 1971 - 1230 с.

[8] Анри Лефевр. Повседневное и повседневность. – Социологическое обозрение, том 6, № 3,2007, с.33 – 36.

[9] Современный философский словарь. – Лондон, Франкфурт – на – Майне, Париж, Люксембург, Москва, Минск // ПАНПРИНТ, 1998.

[10] Бердяев Н. Философия свободы. – М.: ФОЛИО, 2004. – 732 с.

[11] 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.

[12] Вебер М. О некоторых категориях понимающей социологии // Вебер М. Избранные произведения: Пер. с нем. / Сост., общ. ред. и послесл. Ю.Н. Давыдова; Предисл. П.П. Гайденко. М.: Прогресс, 1990. С.495-546.

[13] Z. Bauman. Life in Fragments: Essay on Postmodern Morality. – London: Blackwell, 1995.

[14] J. Habermas. Theorie des kommunicativen Handelns. Bde 1-2. – F.a.M., 1981.

[15] Ю. Хабермас. Моральное сознание и коммуникативное действие. – СПб, Издательство «Наука», 2000, с. 90-92.

[16] С.Л. Франк. Предмет знания. Душа человека. – Мн.: Харвест, М.: АСТ, 2000. – 992 с.

[17] Демидов А.Б. Феномены человеческого бытия. – Учебное пособие. – Минск: ЗАО Издательский центр «Экономпресс»; 1999. – 180 с.

[18] Л.Я. Дорфман, Е.В.Дудорова. Системная традиция: теория холономности и холон. – В сб. «Системные исследования культуры». – СПб.: Алетейя, 2006.

[19] Виттих, В.А. Принятие решений на основе консенсуса с применением мультиагентных технологий / В.А. Виттих, Т.В. Моисеева, П.О. Скобелев // Онтология проектирования. – 2013. – №2(8). – С. 20-25.

[20] Токвиль А. Демократия в Америке. – М.: Прогресс, 1992. – 554 с.

[21] Кара-Мурза С.Г. Кризисное обществоведение. – М.: Научный эксперт, 2011. – 464 с.

КОРРУПЦИЯ КАК АТРИБУТ УПРАВЛЕНИЯ ГОСУДАРСТВОМ И ОБЩЕСТВОМ И ИНДИКАТОР ЕГО ЭФФЕКТИВНОСТИ

Гаврилов Н.А.

Самарское отделение межрегиональной общественной организации
гуманитарно-политологический центр «Стратегия»
443041, Самара, ул. Агибалова, 70, Россия
nickag@mail.ru
тел: +7 (902) 372-75-81

***Ключевые слова**: коррупция, уровни и стадии коррупции, первоисточник коррупции, борьба с коррупцией.*

Abstract
The definition of corruption is given. The author tries to answer the question: is it possible to manage society without corruption, or is it an integral attribute of any management method.

Введение

Попробуйте найти современного человека, который бы не отреагировал на тему коррупции. Каждый назовет это явление отрицательным, наносящим вред обществу и населению. Примеров несть тому числа способен привести почти каждый. При этом если обратить внимание некого Х.Х. на то, что нынешнему доходному месту, да еще и на государственной службе или в корпорации тот обязан своему высокопоставленному родственнику и вопросить этого Христофора Христофоровича, а не есть ли это та самая коррупция. Х.Х. будет несказанно возмущен: какая же это коррупция, это благое дело - содействие близкого ближнему. Коррупция это то, что делают другие и для других. Каждый индивидуально не усматривает в своих действиях коррупции, даже будучи схвачен с поличным.

Мы современники - очевидцы и участники эпохи перемен, явились свидетелями и потерпевшими развития и процветания коррупции в постперестроечной России (есть и бенефициары, сумевшие замести на время следы или находящиеся под иммунитетом, либо уже подследственные, подсудимые и осужденные, либо ждущие своего череда).

Почему партийно-советский социалистический способ управления так же не мог обойтись без коррупционных проявлений, почему в условиях правления при суверенной демократии коррупция просто разлилась безбрежной стихией? Что это - неотъемлемое явление (атрибут) любого метода управления обществом и единственный способ функционирования государства или возможно управление без коррупции? Попробуем подступиться к этому явлению с этого направления.

1 Понятие и определение коррупции

Понимание коррупции изначально связано с использованием выгод и преимуществ, получаемых лицом (человеком) из общественного или государственного положения (статуса), на который он возведен. Причем присвоением таких возможностей и благ для себя и близких, которые ему чаще всего прямо запрещены моральными устоями, обычаями, а в дальнейшем и правоустанавливающими нормами.

Брахманы, вайшьи, кшатрии, шудры – кастовое расслоение общества, в принципе не изменилось до настоящего времени в иерархии государственно-общественного устройства, будь - то например допетровский, пост петровский периоды в нашей отечественной истории,

все сохранялось и в период торжества «диктатуры пролетариата». Если мудреных кшатрий и вайшьей адаптировать на сегодня, то формула правления остается постоянной: номенклатура (жрецы) и обслуживающая их инфраструктура. Как не назови – власть сохраняется при всех режимах и получает право на распоряжение и управление как верно, так и неверно подданными и принадлежащими обществу ресурсами. Власть милует и казнит, возносит и испепеляет, торгует, отчуждает и присваивает. Статус же власти восходит к сакральности жреческой и более ранней. Задабривание стихийных сил жертвоприношением, затем приношением даров жрецам. Вот та приемлемость и допустимость одариваемого и одаряемого и возможные первоисточники коррупциогенности. Их «величества, первосвященства, короли, цари, вожди, президенты» - все власть предержащие и их назначенцы использует преимущества своего статусного положение сообразно своим аппетитам. Вот такая схематизация властного управления позволяет по достоинству оценить концентрированное определение коррупции по Н. Макиавелли «Коррупция – это использование публичных возможностей в личных интересах».

Прямой перевод латинского *corrumpere* — растлевать, *corruptio* — подкуп, порча, растление, продажность, разложение, разрушение — термины, обозначающие обычно использование должностным лицом своих властных полномочий и доверенных ему прав, а также связанных с этим официальным статусом авторитета, возможностей, связей в целях личной выгоды. А порче и разрушению коррупционеры подвергают систему и нормы общественного и государственного управления (общежития), предназначенного на благо каждого, а не только избранных.

В современном российском законодательстве определение коррупции дано в Федеральном Законе «О противодействии коррупции»:

коррупция - а) злоупотребление служебным положением, дача взятки, получение взятки, злоупотребление полномочиями, коммерческий подкуп либо иное незаконное использование физическим лицом своего должностного положения вопреки законным интересам общества и государства в целях получения выгоды в виде денег, ценностей, иного имущества или услуг имущественного характера, иных имущественных прав для себя или для третьих лиц либо незаконное предоставление такой выгоды указанному лицу другими физическими лицами; б) совершение деяний, указанных в подпункте "а" настоящего пункта, от имени или в интересах юридического лица.

В этой же статье закона дано понятие противодействию коррупции - как деятельности федеральных органов государственной власти, органов государственной власти субъектов Российской Федерации, органов местного самоуправления, институтов гражданского общества, организаций и физических лиц в пределах их полномочий: а) по предупреждению коррупции, в том числе по выявлению и последующему устранению причин коррупции (профилактика коррупции); б) по выявлению, предупреждению, пресечению, раскрытию и расследованию коррупционных правонарушений (борьба с коррупцией); в) по минимизации и (или) ликвидации последствий коррупционных правонарушений.

Данное определение коррелируется с пониманием коррупционных проявлений изложенных в Конвенции ООН против коррупции, открытой для подписания 9 декабря 2003 года, с объявлением этой даты Международным Днем борьбы с коррупцией. Конвенцию Совета Европы об уголовной ответственности за коррупцию, Россия ратифицировала 25 июня 2006 года. Конвенции существенно расширяют круг коррупционных деяний. Европейская конвенция относит к коррупционным проявлениям подкуп национальных и иностранных публичных должностных лиц, подкуп в международных организациях и парламентских сообществах, судей и должностных лиц международных судов, подкуп в частном секторе, отмывание доходов, связанных с коррупцией. Конвенция ООН раскрывает понятие должностных публичных лиц, имущества, доходов от преступления, арест «замораживание» и конфискации имущества.

Основными принципами противодействия коррупции названы прозрачность (транспарентность) в деятельности физических и юридических лиц, добросовестность и надлежащее выполнение публичных функций, принятие кодексов поведения должностных лиц, предоставление ими деклараций, прозрачность закупок и расходования публичных финансов, доступ-

ность информации и упрощение административных процедур. Отдельная статья 13 посвящена участию общества в противодействии коррупции. Статьи о хищении, присвоении, нецелевом использовании имущества публичными должностными лицами, также как и злоупотребление должностным положением, вымогательство не явились новациями для отечественного законодательства. А вот статья 20 Конвенции сама по себе, имеет историю и требует отдельного анализа. Для наших целей кратко поясним ее суть в следующей главе.

В целом же положения и принципы Конвенций по противодействию коррупции представляют собой реальный инструментарий, способы, методы противостояния коррупции. Для целей раскрытия означенной темы наиболее аутентичными, адекватными являются названное определение Н. Макиавелли и перевод с латинского *corrumpere* — растлевать, *corruptio* — подкуп, порча, растление, продажность, разложение, разрушение.

2 Борьба с коррупцией или противодействие (ограничение)

Понимание всеобщности зла и урона наносимого обществу в целом и добропорядочному населению в новейший период отражено в преамбуле Конвенции ООН против коррупции:

«*Государства — участники настоящей Конвенции*,

будучи обеспокоены серьезностью порождаемых коррупцией проблем и угроз для стабильности и безопасности общества, что подрывает демократические институты и ценности, этические ценности и справедливость и наносит ущерб устойчивому развитию и правопорядку,

будучи обеспокоены также связями между коррупцией и другими формами преступности, в частности организованной преступностью и экономической преступностью, включая отмывание денежных средств,

будучи обеспокоены далее случаями коррупции, связанными с большими объемами активов, которые могут составлять значительную долю ресурсов государств, и ставящими под угрозу политическую стабильность и устойчивое развитие этих государств,

будучи убеждены в том, что коррупция уже не представляет собой локальную проблему, а превратилась в транснациональное явление, которое затрагивает общество и экономику всех стран, что обусловливает исключительно важное значение международного сотрудничества в области предупреждения коррупции и борьбы с ней,

будучи убеждены также в том, что всеобъемлющий и много дисциплинарный подход необходим для эффективного предупреждения коррупции и борьбы с ней,

будучи убеждены далее в том, что наличие технической помощи может играть важную роль в расширении возможностей государств, в том числе путем усиления потенциала и создания институтов, в области эффективного предупреждения коррупции и борьбы с ней,

будучи убеждены в том, что незаконное приобретение личного состояния может нанести серьезный ущерб демократическим институтам, национальной экономике и правопорядку…,

признали, что «Цели настоящей Конвенции заключаются в следующем:

a) содействие принятию и укрепление мер, направленных на более эффективное и действенное предупреждение коррупции и борьбу с ней;

b) поощрение, облегчение и поддержка международного сотрудничества и технической помощи в предупреждении коррупции и борьбе с ней, в том числе принятии мер по возвращению активов;

c) поощрение честности и неподкупности, ответственности, а также надлежащего управления публичными делами и публичным имуществом.»

3 Уровни и стадии коррупции

Для практических и научных целей используются различные способы определения коррупции по видам, способам, отраслям и т.п. Для целей рассматриваемой темы достаточно определиться с тем, что известна коррупция бытовая – повседневная, подарки, подношения в

связи с решением текущих неотложных дел, административная – целенаправленное извлечение выгод из должностного или служебного положения, коррупция высших эшелонов власти, где речь идет о злоупотреблении и хищении серьезных государственных и связанных с ними ресурсов.

Если бытовая и административная (среднего уровня администрирования) коррупции, очевидно, связаны, то коррупция высшего эшелона власти, особого рода – элитарного, допущенного круга лиц.

Мы с вами свидетели и очевидцы всех видов и стадий развития коррупции в нашем государстве. Коррупция развивается и разливается в условиях бедности и авторитаризма, когда она, собственно, уже не упоминается и тогда речь идет о захвате государства.

Захват может быть и не в условиях тоталитарного режима и тогда это олигархический захват, или криминальный захват, либо все это в синтезе.

Смысл выделить бытовую коррупцию из общего состава, особенно коррупции высшего эшелона имеет практический толк. Не случайно криминологи поднимали периодически вопрос о поборах как отдельном виде преступления и административном проступке. Это позволило бы отсечь поборы в виде взяток коньяком, конфетами, парфюмом и т.п. и небольшими денежными суммами, например в преподавательской и медицинской практике от коррупции административной и верхних эшелонов власти.

4 Первоисточник и среда (место) обитания коррупции

Паче всех наук, искусств, иных видов творчеств автор предпочитает классическую литературу, особливо отечественную. Отыскать глубинные смыслы, истинные процессы многих явлений человеческой деятельности, например, через такую многострадальную политически ангажированную науку как история не просто маловероятно, невозможно.

Применительно к исследуемому вопросу о коррупции значимые объемные ответы на вопросы о ней даны давным - давно.

Достоевский Ф.М., Гоголь Н.А., Салтыков-Щедрин М.Е., Чехов А.П., а до них Пушкин А.С. - те, кто глубинно вскрыли основы коррупции. Образно, объемно и одновременно точечно препарировано в литературных произведениях все, имеющее отношение к коррупции.

«Административный восторг» вот что происходит с любым человечком, предложи ему место. Нет-нет не должность, а лишь всего, какое – ни будь окошечко, через которое он будет выдавать даже никому не нужные билеты. И все не узнать человека. Обуял его административный восторг («Бесы» Ф.М. Достоевский).

А памятование должностного лица с солидным положением о родных и близких, что у него сразу на уме - «как станешь представлять к крестишку ли к местечку… ну, как не порадеть родному человечку». («Горе от ума» А.С. Грибоедов).

А трепет и чинопочитание нижестоящих перед административными бонзами с целью сохранения места и карьерного роста, вспомните «Смерть чиновника» А.П. Чехова. Вспомните увещевания Гоголя Н.В. в «Выбранных местах из переписки с друзьями» жен губернаторов и иных сановных дам. Почему их супруг в первую очередь, по мнению автора, понуждаем к взяткам, поборам и казнокрадству, потому что ей супруге и платья красивые на балы нужны, и сами обеды и балы на дому, и выезды в свет - уже двойки лошадей маловато, нужен экипаж покруче.

У М.Е. Салтыкова-Щедрина найдем все и про несправедливое государственное устройство и про казнокрадство и про бесправие, а уж про коррупцию через строку… (История одного города, Сказки для взрослых. Чего только стоят такие из них, как «Пропала совесть», «Как один мужик двух генералов прокормил».

Откуда - мощь, заряд и энергия у наших классиков? Исследования академической отечественной филологии показало, что все поименованные авторы и подобные им были воспитаны и освящены христианским православием. Достоевский, Гоголь, Пушкин и другие благодаря

тщательному изучению учителей и наставников христианства создали лучшие свои произведения.

А вот уж у учителей христианства ответы на исследуемую тему были даны исчерпывающе. Вслушайтесь «Если мы отбросим право и справедливость, то, что такое государство как не большая шайка разбойников. И что такое шайка разбойников как не маленькое государство». Полтысячи лет назад озвучено, а злободневность, своевременность и современность ошеломляющие. Так осмыслял Августин Блаженный государственное устройство.

С пониманием сущности человека, в котором гнездятся неистребимые в этом бренном мире страсти: славолюбие, сребролюбие, сластолюбие – солидарны все апостолы, учителя, наставники христианской мудрости, как первого века, так и последующих времен.

Отсюда – коррупции подвержен каждый, он же устанавливает пределы злоупотребления сообразно своему сребролюбию, сластолюбию, славолюбию и гордости житейской. Побороть искоренить эти страсти в себе удалось единицам – святым. Но они, как мы условились, при профессиональном противодействии коррупции в расчет не берутся. Корыстен, завистлив, карьерен каждый, кто вступил на путь государственного ли, муниципального ли, коммерческого ли, общественного ли служения.

Соответственно, сребролюбие, славолюбие, сластолюбие – победить простому смертному невозможность физическая, ментально-психологическая. Эти всем нам присущие страсти, порождающие злоупотребления можно только грамотно, профессионально, системно ограничивать всем миром. Да будут на то, личная, общественная, да и политическая воля с ними.

Заключение

На современном этапе явление коррупции исследовано настолько полно, что не существует вопроса по этой теме, на который не было бы ответа. Полагаю, очевидными ответы и на то - можно ли победить коррупцию или только ограничить, сдерживать на определенном уровне, уместна ли борьба с коррупцией или предпочтительнее грамотное, профессиональное противодействие ей всем миром? Пример о том, что коррупция сравнима с туберкулезом, достаточно аутентичен. Палочки Коха наличествуют в организме всегда, но туберкулез запускается при соответствующих условиях, в частности, антисанитарных проявлениях, в тех же, местах заключения.

Отчасти, по причине изученности этого неистребимого явления, приходится прибегать к метафизическим размышлениям, теологического и духовного порядка. Впрочем, на этом направлении размышляли не только Августин Блаженный и учителя раннего христианства, но и отцы основатели страны, преуспевшей в демократии и методах противодействия коррупции.

Суть проблемы при борьбе с коррупцией формулировал и Джеймс Мэдисон: «Если бы людьми правили ангелы, ни в каком надзоре над правительством — внешнем или внутреннем — не было бы нужды. Но при создании правления, в котором люди будут ведать людьми, главная трудность состоит в том, что в первую очередь надо обеспечить правящим возможность надзирать над управляемыми; а вот вслед за этим необходимо обязать правящих надзирать за самими собой» («Федералист», № 51).

Развивая метафизический подход Мэдисона следовало бы обратить внимание на то, что есть два вида ангелов и одни из них обслуживают Маммону (воплощение эгоизма, жадности, вожделения). Так что, все не так просто и при метафизическом подходе, даже при управлении людьми ангелами.

На одном из форумов, проводимых «Единой Россией» к неудовольствию организаторов, автор данного опуса спросил, видного на тот момент представителя партии и депутата ГосДумы А. Хинштейна: «А чем отличаются «Уральские (уралмашевские) братки» от питерского сообщества, находящегося при власти?». Тот, как всегда, с завидной реакцией ответил: «Последние не имеют судимости».

Список литературы

[1] Федеральный закон от 25 декабря 2008 г. N 273-ФЗ "О противодействии коррупции"
[2] Конвенция Организации Объединенных Наций против коррупции Принята резолюцией 58/4 Генеральной Ассамблеи от 31 октября 2003 года
[3] "Конвенция об уголовной ответственности за коррупцию" (заключена в г. Страсбурге 27.01.1999)
[4] Аврелий Августин – «О граде Божьем»
[5] Федералист № 51 [50] Джеймс Мэдисон (совместно с Александром Гамильтоном)
[6] Федералист: Политические эссе А. Гамильтона, Дж. Мэдисона и Дж. Джея.

АНТРОПОГЕННОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ ДЛЯ ЭКОСИСТЕМЫ КАК ЦЕЛОГО И КРИТЕРИИ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ РАДИОАКТИВНОМ ОБЛУЧЕНИИ

В.Ф. Меньщиков

Центр экологической политики России
119991, Москва, ул. Вавилова, 26, Россия
ecopolicy@ecopolicy.ru
тел: +7 (495) 952-24-23, +7 (495) 952-30-07

***Ключевые слова**: биосфера, биота, экосистемы, экологические критерии, критерий благополучия, антропогенное воздействие, стресс, радиоактивное загрязнение, уровень воздействия.*

Abstract

Preliminary results of the development of ecological criteria for assessment of the safety of ecosystem as the whole are presented. Experimental data on the influence of ionizing radiation on the ecosystem are considered and the possibility of the working out of the standards for regulation of anthropogenic impact on natural environment including regions far from human settlements is demonstrated.

Двести лет промышленного роста привели в середине XX века к резкому росту загрязнения окружающей среды и увеличению числа смертей и заболеваний, связанных с ним. В принятой в России «Стратегии экологической безопасности РФ на период до 2025 года» констатируется: «Окружающая среда в городах и на прилегающих к ним территориях, где проживает 74% населения страны, подвергается существенному негативному воздействию, источниками которых является объекты промышленности, энергетики и транспорта, а также объекты капитального строительства. В городах с высоким и очень высоким загрязнением воздуха проживает 17,1 млн. человек, что составляет 17% городского населения страны».

Наряду с катастрофическими изменениями окружающей среды, взрывообразным ростом населения развивающихся стран, серией крупномасштабных техногенных аварий или эпидемиями невиданных прежде инфекций. И всё это вызовы (называемые ещё вызовами глобализации) не отдельным нациям или государствам, а человечеству в целом, проигнорировать которые оно не в силах, даже если бы и очень того хотело.

Человечество не нарушает равновесия биосферы до тех пор, пока оно поглощает менее 1% первичной продукции биоты. В настоящее время ее потребление людьми превысило 10%. Сегодня более 60% суши освоено человеком и покрыто сильно разрушенной биотой. Другими словами, современная мощность цивилизации уже более чем достаточна для полного уничтожения ненарушенной биоты на всей планете.

Трансформировано почти 50% поверхности суши, что породило потери биоразнообразия (например, треть амфибий, где бы они ни проживали, уже на грани вымирания или вымерли), нарушение биогеохимических круговоротов, изменение климата и свойств почвы; синтетическая (антропогенно обусловленная) фиксация азота и применение его в удобрениях превосходят масштабы природно-обусловленной фиксации за счет всех экосистем суши; человек использует более половины всей доступной пресной воды, особенно быстро истощаются ресурсы грунтовых вод; в атмосфере существенно возросла концентрация парниковых газов; подверглись радикальным изменениям прибрежные и морские экосистемы – около 22% регионов морского рыболовства переэксплуатируются, а 44% находятся на пределе возможности возобновления ресурсов (Вестник РАН, 2002, т. 72, № 7).

Еще 15 лет назад, в 1992 году, было опубликовано «Предостережении ученых мира человечеству», под которым подписались 1600 ученых из 71 страны, включая более половины всех здравствующих лауреатов Нобелевской премии. В документе, в частности, подчеркивается: «Человеческое общество и природа вступили в состояние противоречия.

Деятельность человечества наносит огромный и зачастую непоправимый ущерб окружающей среде и жизненно важным ресурсам. Если не взять под контроль многие из наших повседневных действий, то они поставят под угрозу будущее, которое мы желаем человеческому обществу, растительному и животному царствам, и могут изменить живой мир настолько, что он будет неспособен поддерживать жизнь в том виде, в каком мы ее знаем. Нужны срочные фундаментальные перемены, если мы хотим избежать коллизий, к которым может привести наш теперешний курс».

Необходимость защиты в первую очередь здоровья людей дала жизнь первым нормам и правилам, регламентирующим промышленные сбросы в водную среду, выбросы в атмосферу и обращение с промышленными и бытовыми отходами. В целом, контуры системы защиты людей от последствий их собственной деятельности и, частично, биосферы, окончательно сложились в 60-е годы XX столетия. Однако законодательство и нормирование в области охраны окружающей среды было принято только в последние годы уже в другой стране.

Критериями безопасности населения и персонала промышленных объектов стали контрольные уровни загрязняющих и токсичных веществ в окружающей среде, представленные в виде пределов их допустимых концентраций в этих средах. Превышение предела считалось опасным, тогда как содержание загрязняющих веществ ниже предельного уровня полагалось безопасным. Эта концепция стала называться **пороговой зависимостью от величины дозы**.

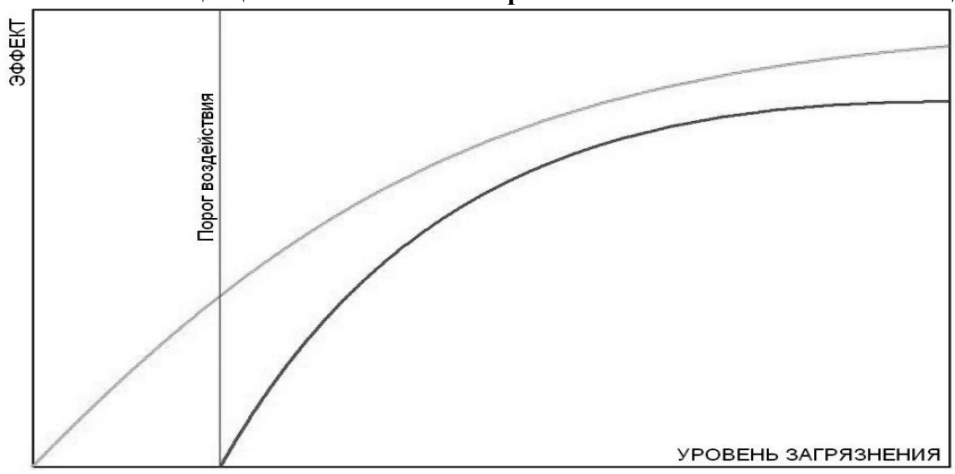


Рис.1 Пороговая и беспороговая зависимость «воздействие-эффект»

С научной точки зрения этот подход не выдерживает серьезной критики, хотя в модифицированном виде применяется до сих пор для определения «безопасных» для населения уровней загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами, токсичными химическими веществами и так далее.

Критерии безопасности для радиационного воздействия основаны на понимании беспороговости неблагоприятных эффектов, проявляющихся с некоторой вероятностью даже при самых малых дозах ионизирующего излучения. При этом требуется учитывать, как стохастичность самого радиационного воздействия, так и стохастичность биологического отклика в виде канцерогенных и генетических эффектов. Поэтому и сами критерии безопасности неизбежно имеют вероятностный характер.

Критерии безопасности для радиационного воздействия основаны на понимании беспороговости неблагоприятных эффектов, проявляющихся с некоторой вероятностью даже при самых малых дозах ионизирующего излучения. При этом требуется учитывать, как стохастичность самого радиационного воздействия, так и стохастичность биологического отклика в виде канцерогенных и генетических эффектов. Поэтому и сами критерии безопасности неизбежно имеют вероятностный характер. Гигиенические нормы радиационной безопасности (иногда именуемые «экологическими») ограничивают вероятность ущерба здоровью человека для стохастических эффектов и, как предполагается, исключают появление соматических детерминистских эффектов в условиях планового радиационного воздействия.

Сложно организованные системы живых организмов, социальные – у людей, экологические – у животных и растений, являются собранием многочисленных взаимодействующих организмов. Уровень воздействия, безопасный для отдельного человека с медицинской точки зрения, может вызвать тревогу в обществе и привести к серьезным экономическим и политическим потерям вплоть до деградации социальной среды, оказавшейся под неблагоприятным воздействием. Аналогично, и в экосистеме: даже незначительное ослабление какой-либо группы живых организмов приводит ее к элиминации (удалению) из экосистемы, проигрышу в конкурентной борьбе. Вместе с этой группой будут неизбежно элиминированы все группы живых организмов, зависимые от проигравших. Таким образом, незначительные с точки зрения отдельных организмов уровни воздействия неблагоприятных факторов могут привести к значительным эффектам на уровне системы таких организмов.

Эти факты показывают необходимость введения дополнительных критериев безопасности, характеризующих уязвимость систем – сообществ живых организмов, помимо существующих гигиенических и биологических критериев. Именно эти дополнительные критерии и следует называть «экологическими» или «социальными». Но, если социальные критерии безопасности для человеческого общества уже внедряются в жизнь, то экологические критерии попрежнему остаются предметом дискуссии.

Очевидно необходимость защиты от чрезмерного антропогенного воздействия не только отдельных особей «диких» растений и животных, и даже не отдельных видов живых организмов (кроме, возможно, наиболее редких и уязвимых), но и природных сообществ как целого. И даже если эта необходимость очевидна, то, по-прежнему, не очевидны те критерии безопасности, которые должны стать основой для реализации мер защиты экосистем. В состав экосистем входят живые организмы и среда их обитания (компоненты экосистем), а структуру каждой экосистемы определяют потоки вещества и энергии, переносимые между ее компонентами. Каждый компонент экосистемы состоит, как правило, из отдельных элементов, которые одновременно являются и элементами экосистемы.

Начиная от микроэкосистемы, или консорции, которые заполняют доступное пространство, образуя более сложные локальные системы – фации, совокупности консорций, и биотопы, совокупности фаций. Они, в свою очередь, формируют региональные экосистемы и так далее, до самой большой из известных экосистем, называемой «биосфера Земли».

Главная функция биосферы – преобразование солнечной энергии в процессе фотосинтеза в химическую энергию разнообразных органических соединений. Чем сложнее экосистема, тем больше разнообразие органических соединений. Таким образом, каждая экосистема – «технологическая» линия по преобразованию солнечной энергии.

Стабильное существование всякого сообщества живых организмов поддерживается сложной структурой связей между элементами этого сообщества. Главную роль в придании устойчивости экосистеме играют отрицательные обратные связи, формирующие своеобразные круговороты различных веществ и отдельных химических элементов в пространстве экосистемы.

При «стрессовых» воздействиях живые организмы или формируют то сообщество, толерантный диапазон которого наиболее близок к сложившимся в результате воздействия новым

условиям, или погибают, если такое сообщество не может быть сформировано. Стабильность и устойчивость экосистем тем выше, чем больше видовое разнообразие. И наоборот, чем ниже биоразнообразие, тем менее устойчиво сообщество живых организмов, тем выше риск его гибели. Конечно, с точки зрения экологической безопасности в центре внимания должны находиться экосистемы как целое, и именно для них должны быть определены искомые критерии безопасности.

Очевидно, что характеристики «обобщенной» экосистемы оказываются следствиями некого ее свойства, «благополучия», которое отражает и текущее состояние экосистемы, и ее способность противостоять неблагоприятным чужеродным (аллогенным) и антропогенным воздействиям. Функция благополучия, отражающая изменение благополучия сообщества за единицу времени на единицу текущего благополучия, полностью характеризует текущее состояние сообщества.

Чем выше значение благополучия, тем выше устойчивость сообщества живых организмов, тем больше внутренних ресурсов организмы сообщества могут направить на преодоление неблагоприятных обстоятельств. Функцию благополучия, как меру изменения благополучия, можно определить, как некоторую долю разницы между ассимилированной сообществом и потраченной на поддержание необходимого уровня жизнедеятельности энергией в данный момент времени на единицу благополучия. Функция благополучия $\Phi(t)$ и благополучие экосистемы $y(t)$, как интеграл этой функции, позволяют указать очевидные критерии безопасности для природных экосистем в виде ясных математических соотношений (таблица 1).

Таблица 1 - Критерии безопасности для природных сообществ

№	Критерии безопасности	Комментарий
1	Благополучие $y(0)>y_i$	При благополучии больше величины y_i ($i=0,\ldots,n$) экосистема имеет достаточно ресурсов для поддержания i-ой стадии сукцессии и сохранения собственного ранга
2	Благополучие $y(0)> y_0$, и функция благополучия $\Phi(t)>0$	Если функция благополучия больше начального благополучия пионерного сообщества, экосистема будет иметь достаточно ресурсов, по крайней мере, для поддержания своего уровня жизнедеятельности и ранга, так как во все последующие моменты времени благополучие экосистемы не будет меньше

Все антропогенные факторы имеют специфическую и неспецифическую составляющую в эффекте воздействия. Неспецифическая составляющая эффекта – стресс – сходна для всех антропогенных факторов воздействия. Стресс связан со способностью живых организмов стандартно реагировать на любые изменения факторов внешней среды и является необходимым звеном в защитно-приспособительной реакции живых организмов в ответ на стороннее воздействие. Стресс практически служит сигналом для мобилизации внутренних резервов для поддержания гомеостаза. Степень и выраженность стресса связаны с интенсивностью и продолжительностью воздействия. Влияние стресса на живые организмы широко известно в настоящее время. Стресс, в том числе и психоэмоциональный, способен вызывать индукцию цитогенетических повреждений с последующими мутагенными эффектами. В частности, эффекты аварии на Чернобыльской АЭС, проявившиеся в виде множественных расстройств здоровья, имеют именно психоэмоциональную природу и не могут рассматриваться как непосредственный результат облучения.

Радиоактивное загрязнение оказывает негативное влияние на живые организмы и их сообщества за счет ионизирующего излучения от

- загрязненной радионуклидами поверхности почвы и объектов окружающей среды;
- загрязненного радионуклидами приземного слоя воздуха;

- радионуклидов, поступивших внутрь живых организмов за счет процессов дыхания и питания.

Кроме неспецифического эффекта (косвенного воздействия за счет возникновения свободных радикалов), указанного выше, существует еще и специфические эффекты ионизирующего излучения, связанные с прямым повреждением клеточных структур и важных биологических макромолекул. Этот эффект становится заметным при поглощенных дозах свыше 0.5 Гр, и приобретает решающее значение при дозах десятки грей и выше. В целом проблема воздействия ионизирующего излучения на живые объекты хорошо проработана и продолжает тщательно исследоваться, однако изучению воздействия ионизирующего излучения на экосистемы как целое посвящено лишь небольшое число работ.

Как было показано в ряде работ по изучению воздействия гамма-излучения на лесные экосистемы и растительные биоценозы его эффект заметен уже при поглощенных дозах от 0.1 Гр и проявляется в угнетенном состоянии растительности, снижению биоразнообразия и повышенном выделении углекислого газа элементами экосистемы. При более высоких дозах происходит выпадение части значимых для экосистемы видов (холлинговское замещение), а при дозах выше 10 Гр – деградация экосистемы (изменение стадии экосистемы). При дозах менее 10 Гр возможно появление эффекта кажущегося радиационного гормезиса – улучшение состояния отдельных живых организмов или их популяций. На самом деле этот эффект – лишь следствие действия принципа конкурентного исключения Гаузе: при вымирании конкурентов у организма исчезают траты на этот вид взаимодействия и его благополучие, очевидно, увеличивается.

С точки зрения концепции благополучия, перечисленные эффекты воздействия ионизирующего излучения связаны с изменением максимальных удельных скоростей процессов синтеза и распада и, в результате, искажению ширины и амплитуды «колокола» экологической ниши. Следствием этого являются наблюдаемые в экспериментах замещение исходной экосистемы на соответствующую новым условиям экосистему холлинговского ряда, или снижение сукцессионной стадии экосистемы и даже ее гибель.

В целом, анализ экспериментальных данных показывает, что при уровнях облучения менее 0.1 Гр/год достоверные эффекты воздействия ионизирующего излучения не обнаружены. При уровнях 0.1 – 1 Гр/год достоверно наблюдаются предсказанные в данной работе эффекты облучения: снижение благополучия природных сообществ, проявляющееся как снижение биоразнообразия, деградация трофической структуры экосистем, изменение состава экосистем. При уровнях воздействия 1 - 10 Гр/год наблюдается снижение ранга экосистемы и стадии сукцессии, а при более высоких уровнях – гибель экосистемы с ее вероятным в будущем замещением пионерными сообществами, характерными для сукцессии данной климатической зоны (биома).

Таким образом, полученная в работе [1] величина 0.1 Гр/год может служить критерием безопасного уровня радиоактивного облучения для экосистем умеренной и арктической климатической зоны как целого (рис.2).

Итоговые характеристики различных типов антропогенных воздействий на экосистемы как целое с точки зрения ферментативной гипотезы и концепции благополучия приведены в таблице 2[1].

Таким образом, с точки зрения концепции благополучия

- экосистема есть целостный объект, на который оказывается вредное воздействие;
- мерой воздействия является изменение благополучия экосистемы;
- способность экосистемы к компенсации воздействия и самовосстановлению после его прекращения определяется благополучием экосистемы.

[1] Сукцессия - последовательная закономерная смена одного биологического сообщества (фитоценоза, микробного сообщества и т. д.) другим на определённом участке среды во времени

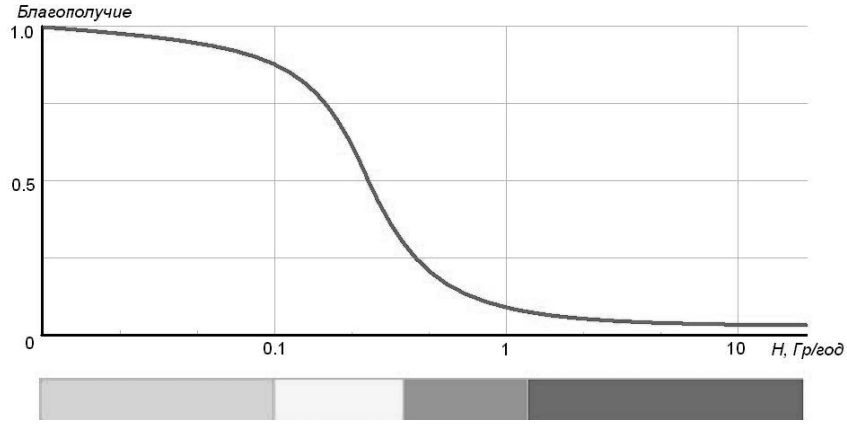


Рисунок 2 - Зависимость благополучия экосистемы как целого от мощности дозы H, Гр/год.
До уровня 0.1 Гр/год воздействие можно считать безопасным для экосистемы,
в пределах 0.1 – 1 Гр/год – опасным, свыше 1 Гр/год – губительным.

Таблица 2 - Механизмы и эффекты различных видов антропогенного воздействия.

№	Воздействие	Механизм	Изменение благополучия	Влияние на экосистему
1	Отчуждение территории, специфическое	Уменьшение производства живого вещества и биомассы	Снижение благополучия	Снижение ранга, стадии сукцессии, видового разнообразия
2	Тепловое загрязнение, специфическое	Увеличение максимальных удельных скоростей синтеза и распада в СФР	Снижение благополучия; искажение формы «колокола» экологической ниши	Смещение в холлинговском ряду, снижение ранга, стадии сукцессии, видового разнообразия
3	Биологическое загрязнение, специфическое	Увеличение удельной скорости распада за счет увеличения затрат на взаимодействие элементов экосистемы	Снижение благополучия; искажение формы «колокола» экологической ниши	Смещение в холлинговском ряду, снижение ранга, стадии сукцессии, видового разнообразия
4	Световое, шумовое, электромагнитное загрязнение – специфическое	Увеличение удельной скорости распада за счет нарушения взаимодействия между элементами экосистемы	Снижение благополучия; искажение формы «колокола» экологической ниши	Смещение в холлинговском ряду, снижение ранга, стадии сукцессии, видового разнообразия
5	Химическое загрязнение, специфическое	Ингибирование ферментативных реакций; изменение доступности биогенов	Снижение благополучия; искажение формы «колокола» экологической ниши	Смещение в холлинговском ряду, снижение ранга, стадии сукцессии, видового разнообразия
6	Радиоактивное загрязнение, специфическое	Прямое повреждение клеточных структур и важных биомакромолекул	Снижение благополучия за счет увеличения затрат на поддержание жизнедеятельности	Смещение в холлинговском ряду, снижение ранга, стадии сукцессии, видового разнообразия
7	Стресс, неспецифическое	Ингибирование реакций СФР свободными радикалами, повреждение клеточных структур и важных биомолекул	Снижение благополучия за счет увеличения затрат на поддержание жизнедеятельности	Смещение в холлинговском ряду, снижение ранга, стадии сукцессии, видового разнообразия

Антропогенное воздействие на экосистему как целое имеет ряд важных особенностей.

1) Небольшое по величине и длительности внешнее воздействие первоначально не вызывает видимых изменений ни в составе сообщества, ни в его структуре, так как оно скомпенсировано использованием имеющихся запасов вещества и энергии («благополучия»).
2) Увеличение величины и/или продолжительности воздействия приводит к истощению запасов, после которого происходит смена доминирующих видов на более приспособленные и изменение экосистемы, или, при высоких уровнях воздействия, полная деградация и гибель экосистемы.
3) При равном влиянии на структуру и состав экосистемы более опасным оказывается то воздействие, которое требует больше времени на восстановление экосистемы до нормального состояния после своего прекращения.
4) Равное по величине и продолжительности воздействие может привести к различным откликам экосистемы в зависимости от сезона года и фенологической фазы подвергающегося воздействию сообщества.

Это означает, что критериями безопасности для экосистемы как целого является возможность ее естественного восстановления, которое произойдет, если:

- суммарная величина воздействия в любой момент времени не превышает компенсационные возможности экосистемы на этот же момент времени;
- продолжительность периода восстановления экосистемы после внешнего воздействия по величине много меньше «времени жизни» соответствующей стадии сукцессии для данной экосистемы.

В качестве конкретного примера антропогенного воздействия на экосистемы, в частности, продолжительности воздействия радиоактивного загрязнения, можно привести пример Брянской области, наиболее пострадавшей в России после катастрофы на Чернобыльской АЭС. Мониторинг радиационной обстановки на радиационно-загрязненных территориях Брянской области (здесь проживает около 25 % населения области – 330 тыс. чел.) показывает, что несмотря на прошедшие после Чернобыльской катастрофы 30 лет, радиоактивность, определяемая, в основном, долгоживущими цезием-137 и стронцием-90, остается высокой, и будет еще несколько десятилетий оставаться таковой (Атлас современных и прогнозных аспектов последствий аварии на Чернобыльской АЭС, 2009). Процессы самоочищения почв от долгоживущих радионуклидов идут медленно. Местами плотность загрязнения почв сельхозугодий цезием-137 превышает до-аварийный уровень на пашне в 45 раз, на сенокосно-пастбищных угодьях – в 88 раз (Государственный доклад «О состоянии окружающей природной среды Брянской области, 2010).

Тщательный анализ закономерностей жизни экосистемы позволяет учесть происходящие антропогенные изменения стадий сукцессии, ранга экосистемы и ее видового разнообразия с помощью концепции благополучия, отражающей влияние различных факторов на экосистему как целое.

Показано однозначное соответствие между уровнем антропогенного воздействия и соответствующим ему снижением благополучия экосистемы как целого.

На примере воздействия ионизирующего излучения на экосистемы показана возможность применения количественного критерия, характеризующего безопасные уровни воздействия ионизирующего излучения на экосистему как целое.

Указанные уровни могут служить обоснованием для разработки нормативных документов, регламентирующих выбросы и сбросы радиоактивных веществ в окружающую среду в ненаселенных местах, а также для определения уровней воздействия других загрязняющих веществ и их сочетанного действия.

Список литературы

[1] Критерии безопасности для экосистемы как целого / В. Н. Лысцов, Н. В. Мурзин. - Москва : НИЦ "Курчатовский ин-т", (Препринт / Нац. исследовательский центр "Курчатовский ин-т"; ИАЭ-6670/3).

[2] Быков А.А., Мурзин Н.В. Проблемы анализа безопасности человека, общества и природы. С.-Пб.: Наука, 1997.

[3] Алексахин Р.М., Нарышкин М.А. Миграция радионуклидов в лесных биогеоценозах.- М.: Наука, 1977.

[4] Бурлакова Е.Б., Голощапов А.Н., Жижина Г.П., Конрадов А.А. Новые аспекты закономерностей действия низкоинтенсивного облучения в малых дозах // Радиационная биология. Радиоэкология. 1999. Т. 39, № 1. с. 26-33.

[5] Международные основные нормы безопасности для защиты от ионизирующих излучений и безопасного обращения с источниками излучения. Серия изданий по безопасности 115 МАГАТЭ, Вена.- 1997. 334 с.

[6] Меньшиков В.Ф. Экологическая безопасность России – проблемы и пути решения. Труды X Международной конференции «Проблемы управления и моделирования в сложных системах» / Под ред.: акад. Е.А.Федосова, акад. Н.А.Кузнецова, проф. В.А.Виттиха. - Самара: Самарский научный центр РАН, 2008. с. 60-70

ETHICAL BEHAVIOUR OF AUTONOMOUS NON-MILITARY CYBER-PHYSICAL SYSTEMS

Damien Trentesaux[1], Raphaël Rault [2]

[1]LAMIH UMR CNRS 8201, SurferLab, Univ. Valenciennes Le Mont Houy,
59313 Valenciennes Cedex, France
damien.trentesaux@univ-valenciennes.fr

[2]Capon & Rault Avocats (Lawfirm),
7 rue de l'Hôpital Militaire 59800 Lille, France
r.rault@capon-rault.com

Keywords: *ethical behavior, complex system, cyber-physical systems, autonomous vehicles, artificial intelligence, train transportation, RAMS, RAME*

Abstract

Автономные невоенные киберфизические системы широко изучаются в исследованиях, но в промышленности все еще находят мало применений. Одна из причин заключается в том, что до сих пор нет доказательств гарантии этих систем в отношении их безопасности и способности вести себя без вреда для окружающих. Опасения вызывают их способности к обучению, а также высокая способность взаимодействовать и сотрудничать друг с другом. Более того, киберфизические системы должны быть объединены в социально-технические системы и взаимодействовать с людьми. Как следствие, изучение их этического поведения в настоящее время является важной проблемой. Между тем, очевидно, что эта проблема по-прежнему не затрагивается научным сообществом, в то время как 1) научно-фантастическая литература и фильмы рассматривают это с давних времен 2) некоторые автономные дорожные транспортные средства уже ранили людей, и 3) парламент ЕС запустил процедуру, касающуюся установления гражданских законов для автономных обучающих роботов. С помощью данной статьи автор намеревается открыть дискуссию по этой теме и предлагает расширить исследования надежности. Выявлены новые возникающие области исследований и представлен пример в области автономных железнодорожных перевозок.

Introduction

Cyber-physical systems (CPS) are complex systems aiming to fulfill a global function and integrating communicating mechatronic parts, sensors and effectors, merging the physical and the digital worlds [1]. They interact with human operators. In our work, we consider a sub-class of CPS, more complex, that are autonomous. In this paper, autonomy refers to the ability of integrated sensing, perceiving, analyzing, communicating, planning, decision-making, and acting/executing, to achieve goals [2]. These CPS can thus behave and evolve in space independently neither from the decision of a human operator nor the one of its designer. They can integrate Artificial Intelligence-based learning mechanisms enabling them to improve their decisions with time and adapt to an evolving environment [3]. The CPS concerned in this paper are also non military: their primary function is neither concerned with the destruction of asset nor people, like one can find in the military or defense industries [4].

This paper, co-written by a lawyer specialized in the domain of digital property and cybersecurity and a researcher working in the field of industrial internet and CPS, deals with the ethical

behaviour of this kind of autonomous non military CPS[1]. The will of the authors is to foster researchers working on this kind of CPS to pay attention to the possible consequences of their design on the welfare of humans interacting with these CPS such as their possible responsibility in case of an accident.

Futuristic non-scientific ideas more relevant to entertainment and sci-fi than science have initially put the light on this subject (as illustrated by Asimov's robotic laws, Mary Shelley's creature, Philip K. Dick short stories, etc.). Meanwhile, this subject became reality and went to the public place since the worldwide discussed recent case of the Tesla self-driving car crash that led to death [5].

As introduced, the scope of the paper concerns Ethics. Ethics is initially a field of philosophy. According to [6], ethical behaviour is concerned with actions that are in accord with cultural expectations relating to morality and fairness. Ethical aspects in engineering is not new and some journals are specialized in that field [7]. These aspects have been studied in various fields of engineering, such as design [8] and obviously bio-engineering, including genetics [9]. In the literature, one can face two kinds of ethical studies [3]:

- techno/engineering ethics that deals with the moral behaviour of human designing artificial beings (the issue being the **ethical design of CPS**), and
- machine ethics that deals with the moral behaviour of artificial beings (the issue being the **design of ethical CPS**).

In a previous paper, a review in ethical aspects in complex system engineering has been made [3]. Main conclusions are provided hereinafter.

Regarding techno ethics, proposals were mainly fostering the adoption of techno ethics behaviours by researchers related to the idea of charters to be signed ("Hippocratic oath").

In this paper, since we deal with the ethical behavior of CPS, our work is rather related to machine ethics. Regarding this field, it is worth noticing that main breakthroughs are coming from lawyers. Starting from the point that there exists a huge corpus of "human being centered" laws, while quite none dealing with "artificial beings", lawyers have started to pay attention to robotics and artificial intelligence (AI). One of their surprising approaches is to consider the creation of a new specie composed of intelligent autonomous robots and systems, aside the human one. This approach implies that human right constitutions should be revised accordingly. For example, [10] discussed the organization of administrative control and the legal liability regime which applies to service robots and the issue of autonomy of service robots. Another example, which is from the authors' point of view, among the most amazing studies, is currently led at the European Union (EU) Parliament level that worked on legal proposals related to robotics and AI [11]. Apart from the recommendations' main goals, which are devoted to human safety, privacy, integrity, dignity and autonomy, the EU Parliament aims to unify and incentivise European innovation in the area of robotics and AI. According to these recommendations, the definition of a **smart autonomous robot** (SAR) has been proposed: a SAR acquires autonomy through sensors and/or by exchanging data with its environment (interconnectivity) and trades and analyses data; It is self-learning (optional criterion); It has a physical support; It adapts its behaviours and actions to its environment[2]. Following their idea, different categories of SAR would be created. It is advised that a specific legal status for robots is created, so that at least the most sophisticated SAR could be established as having the status of electronic persons. A SAR would also have rights (intellectual property and personal data…) and obligations (a SAR should be held reliable for its actions according to the EU Parliament, which asserts that "the greater a robot's learning capability or autonomy is, the lower other parties' responsibility should be, and the longer a robot's 'education' has lasted, the greater the responsibility of its 'teacher' should be"). The concept of SAR is obviously close to the one relevant to the kind of CPS we consider in this paper. Meanwhile, only few works dealing explicitly, from a scientific point of view, with machine ethics in

[1] For simplification purpose, we will no more precise "autonomous and non military" in the remaining of the paper when using the acronym "CPS".

[2] It is clear that what EU calls a SAR is very close to that what is called a CPS in this paper.

SAR/CPS are available [3]. Among them, let us mention [12] who proposed a framework for assessment and attribution of responsibility based on a classification of CPS with respect to the amount of autonomy and automation involved. Their proposal is based on the assumptions that different types of decision making occur inside a CPS: automatic, semi-automatic, semi-autonomous and autonomous decisions.

Provided the important stakes introduced about the emergence of machine ethics issues in CPS on the one side, and the lack of research activity from the scientific community, far behind the activity led in the legal field on the other side, the aim of this paper is to promote the emergence of a new field of scientific research: *the ethical behavior of autonomous, non-military CPS*.

To contribute to such an ambitious objective, our idea is to start from scientific theoretical grounds that can be considered as the closest to this new field and to extend this field to encompass machine ethics in CPS engineering. From this perspective, one of the closest research fields that was found and that is discussed in this paper concerns the "dependability analysis" for which recent studies on autonomous systems and robots are already available [13]. Of course, this does not forbid machine ethics in CPS engineering to gain also from other fields such as AI (multi-agent systems, artificial neural networks, etc.), mobile robotics, embedded/mechatronics systems, etc.

The next part summarizes the terminology from the historical field of dependability and points out the angle of attack through which machine ethics may foster the generalization of dependability to encompass ethical aspects. Applications and illustrations will be taken from the transportation sector, whatever the mode (aeronautical, naval and ground transportation), the emergence of autonomous systems in this field, and especially the Google Car, being a clear illustration of where our society is going to.

1 Dependability analysis: RAMS studies

Even if the word is known for years by researchers, there is no real consensual precise definition of dependability. For example, in the norm IEC 60300-1, dependability is defined as "the collective term used to describe an operation based on the availability and the influential factors: reliability, capacity and support to the maintenance" [14]. It is commonly accepted by researchers that dependability is composed of three main parameters: reliability, maintainability and availability aside which one fourth parameter is more and more added: safety. The acronyms RAM and RAMS (along with the relevant term "RAMS studies") are usually used by researchers working on dependability.

It is beyond the scope of this paper to discuss the definition of these parameters, the relative literature being abundant. Thus, adapted from [14], the chosen definitions used in this paper for illustration purpose are the following:

- **Reliability**: the ability that a system operates satisfactorily during a determined period of time and in specific conditions of use. It can be expressed as a mean time to failure (MTTF).
- **Maintainability**: the capacity of a system to be maintained, where maintenance is the series of actions taken to restore an element to, or maintain it in, an effective operating state. It can be expressed as a mean time to repair (MTTR).
- **Availability**: the ability to perform when called upon and in certain surroundings. It can be expressed as a percentage: the proportion of time a system in a functioning condition over a given time period.
- **Safety**: the ability to detect undesired events and to apply rules to limit (mitigate) their consequence.

More recently, **Security** has also been added as a fifth parameters. Security is the ability to operate satisfactorily despite intentional external aggressions. In that sense, Security is related to external events while reliability, internal events.

Obviously, Safety and Security are the closest indicators relevant to ethical aspects but one can see that they do not consider all the aspects relevant to ethics. From our point of view, safety and security must then be studied with a wider view, as discussed in the following part.

2 Dependability of CPS: from RAMS to RAME studies

The idea that we defend in this paper is that it seems possible to enlarge the safety/security aspects of RAMS studies towards machine ethics as a federating, more global concept encompassing safety and security. According to this idea, we suggest that RAMS becomes now RAME: Reliability, Availability, Maintainability and **Ethicality**. From our point of view and in this paper, *ethicality refers to the ability for a system to behave according to an ethical manner*. The core question is obviously what is an "ethical manner". The following section deals with such an aspect.

2.1 Ethicality and ethical behavior of a CPS

As introduced, safety and security can be seen as components, yet to be adapted, of ethicality since from our perspective, ethicality is a more global concept, enlarging the fields of research founded on these two components. One can notice that the discussed elements hereinafter present some links with Azimov's laws of robotics. It is also noticeable that the components described hereinafter are under the responsibility of the designer of CPS if these CPS are "simple" in the sense that all of their states and behaviors are clearly identified, bounded, controlled, certified. Meanwhile, the responsibility of a CPS can be engaged as soon as it becomes autonomous and able to learn, and the more it learns, the less the responsibility of the designed is committed, consistently with the previous discussion about the legal responsibilities of a SAR.

These components are described hereinafter.

A first component of ethicality is **integrity**, that is the ability to behave so that the others trust the information coming from the CPS and are confident about the ability of the CPS to engage actions to reach a clear, readable, public objective (even potentially varying), but which must be announced and publicized in that case. This includes for sure the ability for the CPS not to disclose sensible information gathered about the humans and other CPS interacting with it. The designer of the CPS is highly responsible for this (ethical design), but the CPS will be the one that risks to disclose sensible information when it takes decisions in an autonomous way, or it is the one that may change its objectives with no explanation, which influences the degree of trust from the humans, then its ethicality. Integrity includes also the ability to verify the algorithms by others and to trace (explain) the decisions. For this aspect, a common current solution is to implement open (no black box), certified, checkable-by-others computer codes, but this is not sufficient since the CPS must also be able to explain its choices (for example, when investigating to determine the root cause of an accident for which the CPS was involved).

Safety is a second component of ethicality. As already introduced, safety concerns people involved and in direct connection to the considered CPS. Ensuring that a system behaves in a safe way, limiting the risk of injuries to human beings that depend on the CPS is the least that one could accept to determine if a CPS behaves ethically. For example, energy providers must provide their nuclear plant with procedures and rules to limit as much as possible hazardous events for employers and close urban areas. A cobot system, aimed to work jointly with a human operator, owns barriers and safety rules to avoid harming human operators (eg., torque or effort detection). But from an ethical point of view, this is not so simple. A typical emerging ethical issue at this level would concern the kind of decisions that could maintain the safety of the CPS while at the same time, that could be harmful for people. For example, a safe decision for an autonomous high-speed train that detects lately an animal on the track could be to brake to avoid the collision while at the same time, it risks to hurt several of its 1,000 passengers, the ones that are at this moment not seated, with this emergency brake.

A third component of ethicality is **security**. Security refers to the resilience of the CPS facing unexpected aggressive actions. It concerns the ability of a CPS to limit its vulnerability and intrusion, cyber-attacks and aggressive behaviors (threats) coming from systems and events not only outside but also inside the CPS, which is a new aspect induced by the principle of ethicality. Regarding outside threat, cyber defense (firewalls, anti-malware, etc.) are of course among the most famous approaches studied by industrialists and researchers. Regarding inside threat, and from a machine ethic point of view, this component becomes delicate to address. For example, should the auto pilot of a plane be able to override the command of a human pilot if it may lead to crash the plane (eg., suicide) ? if yes, how to ensure that this override may not lead to a more critical situation (eg., difficulty for the cruise CPS to land the plane) ? It is noticeable that security and integrity may be conflictual component: increasing the integrity by using open source AI code may facilitate the work of cyber-attackers, thus reducing the security of the CPS.

Altruism (or caring) is a fourth component of ethicality and one of its ultimate components. It has never been addressed by researchers in the field of CPS. Altruism can be seen as a complementary view of safety. Altruism is more aligned with the welfare of people a priori not interacting with the CPS, while safety focuses on the people interacting with the CPS. It concerns the ability to behave according to the welfare of others: others being other technical systems, other CPS or human beings. Altruism may be also contradictory to one or several of the other components and RAM indicators. For example, an altruist autonomous boat, that detects a "SOS" message, delays its current mission to help the senders of the SOS. But through this altruist decision, it will de facto reduce its availability (its mission may be canceled) and this decision may impact its reliability as well (overuse of its turbines used at full throttle to reach as soon as possible the emitter of the SOS for example). Another example is the one of an autonomous car that has to break the law in order to save life (eg., emergency trip to hospital, line cross to avoid a pedestrian, etc.) [15], reducing its accountability (see below). Of course, reducing the accountability, the reliability or the availability is not a necessary condition to behave in an altruist way. For example, an altruist autonomous train detects an accident on a road close to its track (fire, smoke…) and makes an emergency call to its central operator while continuing its travel to its destination at the same time. Its mission is thus not impacted.

Accountability (or liability) is another one of the ultimate components of ethicality. Accountability ensures that actions led by the CPS engage its responsibility in case of a problem. Being quite a futuristic idea, like altruism, when dealing with non-human based systems, this is an important aspect promoted by the EU through its legal proposal previously introduced. If a CPS is accountable, then in case of hazard, its legal responsibility could be engaged, leading to allocating insurance funds to injured people. The CPS could be sued for that hazardous behavior. Telling people that the autonomous train they are using is covered by the insurance of the train itself, for which it contributes through the payment of a tax coming from its own earned money render this CPS as a new accountable entity, belonging to a new specie, aside the human one.

Equitability (financial fairness) is also another ultimate component of ethicality. It ensures that if the CPS becomes an artificial, accountable person able to spend money for insurance (accountability), then, as a counter balance, it must be able to earn money. This must be done in an equitable (fair) way, with a balanced repartition of the money earned through its use to ensure its ethical behavior. This component translates a logical evolution of the previously introduced legal developments related to SAR since SAR and CPS are artificial beings potentially able to create and generate knowledge, ideas and to improve their performances compared to other SAR. This process should increase the competitiveness of a CPS, make it gain customers. For example, an autonomous train, known to behave more ethically compared to a competitor train may attract more customers. Gaining market shares means earning more money.

Fig. **1.** From RAMS studies to RAME studiessummarizes this evolution from RAMS to RAME studies where (E)thicality is decomposed into the previous listed components. In this figure an intuitive dichotomy, splitting ethicality into two levels is represented. The first level represents the imme-

diate research activity needed to be started. The second level addresses the more elaborated, complicated, delicate to imagine components of ethicality. From our perspective, the second level can not be reached until the first one is sufficiently elaborated.

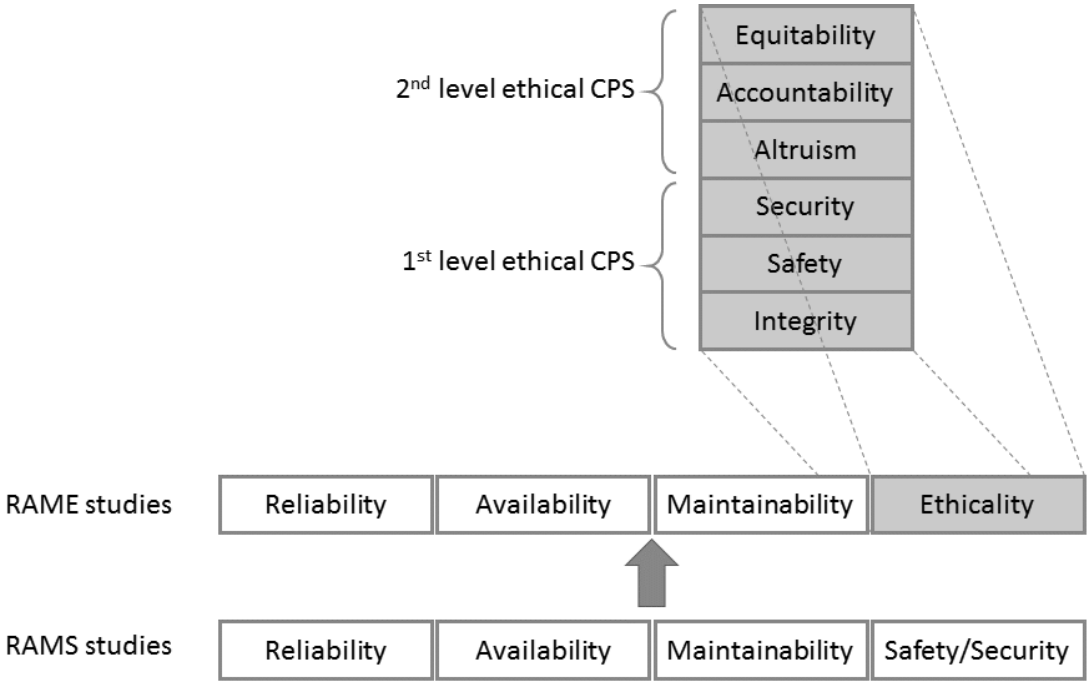


Figure 1 – From RAMS studies to RAME studies of CPS.

2.2 Some key relevant issues in RAME studies of CPS

From this definition of ethicality, one can identify a large number of issues. We list hereinafter some of the most challenging ones for illustration purpose:

- To ensure an ethical behavior, a first reflex would be to design rules to force artificially the ethical behavior of a CPS. For example, "when driving, priority is gradually set first to animals, then trucks, then pedestrians, then bikes, then motorbikes, then cars, then buses". But an ethical behavior is still a complex concept to formalize, and defining in an exhaustive and sense full way all possible ethical rules seems an insurmountable task up to now.
- As introduced, these different components of ethicality are conflictual, that means that improving one may lead to the degradation of another one (ex., improving altruism may degrade safety, improving integrity may degrade security, etc.).
- Deciding which decision is more ethical than another is sometimes a delicate choice to make. The classical “Trolley problem”, which translates a “no-win” situation where each possible choice (and especially, inaction), leads to the death of one or several people, is a clear illustration of this.
- Linked to the previous issue, modeling an ethical behavior, optimizing it and simulating situations to evaluate the degree of ethicality over a short or long time horizon will be a strong issue as well. Measuring such a degree and stating that “system1 behaves more ethically than system2 during this amount of time” seems to be quite impossible to do with the current scientific state of the art.
- Last, the corpus of current laws is described in a textual way. This will not be possible to use a similar approach to define legal rules and laws for CPS. Thus, the co-development by lawyers

and scientific searchers of ethical rules applicable both to the human and the artificial beings becomes a key issue. This could be done using mathematical, formal or algorithmic editions of laws and social rules to be embedded into CPS, which is a necessary condition to make them behave ethically.

To summarize, evolving from RAMS studies to RAME studies of CPS becomes a challenging, really new field of researchers for scientists and it is time for our community to appropriate this field. For sure, everything has to be done. The intention of this paper is only to draw the attention upon this urgent need. New theories have to be invented, new models defined, new indicators and new methods as well. But this is not sci-fi. The google car obviously forces us to address this and each other of the transportation modes is becoming affected by this evolution. Major industrialists and operators are working on the autonomous train, the autonomous plane, the autonomous tractor, the autonomous ship, etc. As an illustration of this, the next part details an application to train transportation.

3 Application to train transportation

Future autonomous trains are clearly the kind of the CPS considered in this article, and will be thus concerned with ethicality. The evolution of the development of "classical trains" towards "autonomous CPS-train" is governed by several driving factors. The first one is obviously related to the limitation of crashes and accidents through a better monitoring of the train and its environment. A second one concerns the possibility through the use of autonomous trains to increase the number of trains used per time unit, thus the number of passengers. Indeed, the capacity of the infrastructure, which represents a large amount of money involved, can not be easily augmented. To augment the number of people transported, the solution offered by the autonomous train is to increase the number of trains by reducing the time between two trains on a track and by adopting train pooling-like systems only controllable using advanced AI technologies. The use of a similar approach for fret transportation, on long distances, would also limit the use of conductors on tiring, long trips. Last, energy is an important driver. This concerns not only energy savings during a travel, but also the consensual limitation of the energy peak used inside a fleet of autonomous trains based on negotiations among these trains to organize the smoothing of the energy used. Estimated relevant gains are huge.

We describe hereinafter two complementary activities to illustrate the ongoing search for the future autonomous train and provide some insights about RAME studies concerning it.

The first illustrative activity concerns a major national project led by the French national railway agency, SNCF, who is working to implement the « autonomous train » in few years. This "EFIA" project is thus a meta-project aiming to define the future development projects and target fleets of trains. It is managed by a technological research institute (IRT), Railenium. Railenium is defining the roadmap towards the "autonomous train" and specifies the deployment process, including the future applied projects to launch, accompanied with a methodological support to develop them in collaboration with industrial and academic partners.

The second illustrative activity concerns a joint research laboratory, called the SurferLab[3], which is a joint research laboratory with Bombardier Transport, Prosyst (a French SME) and the university of Valenciennes and Hainaut Cambrésis in France. It aims to develop models, methods and systems enabling the embedding of intelligent self-prognostic and health management functionalities into train, rendering this train more autonomous, able to actively self-diagnose and thus, to actively negotiate with maintenance centers and other trains of the fleet to optimize the quality of the fleet service.

The obvious conjunction of these two different activities clearly illustrates the will of the railway sector to work on the autonomous train (the Deutsche Bahn also works on this topic [16]). For the moment, and consistently with our previous discussion about the sequential addressing of the two levels of ethicality, these two activities consider only the first level of ethicality: integrity, safety and

[3] www.surferlab.fr

security. From discussions with industrialists in train transportation and researcher in autonomous systems, dependability and AI, even these first components are hard to address assuming an autonomous behavior of the CPS-train. For example, homologation of train requires to proof some safety levels (SIL). This is feasible through a complete edition of all possible situations by engineers for "classical" non autonomous trains, but when train starts to learn and behave autonomously, this is no more possible. That means that even homologation rules must evolve as well. In addition, these two activities even don't pay attention to altruism, accountability and equitability. Industrial partners acknowledge that they must be studied in the near future as well, but they do not know how to address this.

Conclusion and future works

It is estimated that in the USA 94% of the car crashes are due to driver errors [17]. This kind of statistics fosters the development of autonomous, self-learning CPS. One of the key issue to solve in the near future is relevant to the ethical behavior of these systems interacting with humans and evolving in crowed environments. Ensuring the ethical behavior of designers does not mean that the designed system will behave ethically. This paper opens the debate on the crucial and urgent need to deal with this issue. There is up to now nearly no scientific contribution on this topic while lawyers have started to work on it since several years. Defining ethicality, modeling it and ensuring it, is for the moment quite impossible to do. This means that researchers face now full, open and really new scientific research fields yet to explore within the context of RAME studies.

Acknowledgment

This work is done within the context of a joint research Lab, "Surferlab" (http://www.surferlab.fr/en/home), founded by Bombardier Transport, Prosyst and the University of Valenciennes and Hainaut-Cambrésis. SurferLab is scientifically supported by the CNRS and is partially funded by ERDF (European Regional Development Fund). The authors would like to thank the CNRS, the European Union and the Hauts-de-France region for their support. Parts of works presented in this paper have been developed in collaboration with SNCF and Railenium (EFIA project).

References

[1] Trentesaux, D., Knothe, T., Branger, G., Fischer, K.: Planning and Control of Maintenance, Repair and Overhaul Operations of a Fleet of Complex Transportation Systems: A Cyber-Physical System Approach. In: Borangiu, T., Thomas, A., and Trentesaux, D. (eds.) Service Orientation in Holonic and Multi-agent Manufacturing. pp. 175–186. Springer International Publishing (2015).

[2] Huang, H.-M., Pavek, K., Novak, B., Albus, J., Messin, E.: A framework for autonomy levels for unmanned systems (ALFUS). In: Proceedings of AUVSI Unmanned Systems (2005).

[3] Trentesaux, D., Rault, R.: Designing Ethical Cyber-Physical Industrial Systems. Presented at the IFAC World Congress , Toulouse, France (2017).

[4] Burmaoglu, S., Sarıtas, O.: Changing characteristics of warfare and the future of Military R&D. Technological Forecasting and Social Change. 116, 151–161 (2017).

[5] Ackerman, E.: Fatal Tesla Self-Driving Car Crash Reminds Us That Robots Aren't Perfect. IEEE Spectrum. (2016).

[6] Morahan, M.: Ethics in management. IEEE Engineering Management Review. 43, 23–25 (2015).

[7] Bird, S.J., Spier, R.: Welcome to science and engineering ethics. Sci Eng Ethics. 1, 2–4 (1995).

[8] van Gorp, A.: Ethical issues in engineering design processes; regulative frameworks for safety and sustainability. Design Studies. 28, 117–131 (2007).

[9] Kumar, N., Kharkwal, N., Kohli, R., Choudhary, S.: Ethical aspects and future of artificial intelligence. In: 2016 International Conference on Innovation and Challenges in Cyber Security (ICICCS-INBUSH). pp. 111–114 (2016).

[10] Dreier, T., Döhmann, I.S. genannt: Legal aspects of service robotics. Poiesis Prax. 9, 201–217 (2012).

[11] Delvaux, M.: Civil law rules on robotics, European Parliament Legislative initiative procedure 2015/2103. (2016).
[12] Thekkilakattil, A., Dodig-Crnkovic, G.: Ethics Aspects of Embedded and Cyber-Physical Systems. In: Computer Software and Applications Conference (COMPSAC), 2015 IEEE 39th Annual. pp. 39–44 (2015).
[13] Guiochet, J.: Trusting robots : Contributions to dependable autonomous collaborative robotic systems. Habilitation à diriger des recherches, Université de Toulouse 3 Paul Sabatier (2015).
[14] Pascual, D.G., Kumar, U.: Maintenance Audits Handbook: A Performance Measurement Framework. CRC Press (2016).
[15] Goodall, N.J.: Can You Program Ethics Into a Self-Driving Car? IEEE Spectrum. (2016).
[16] rt.com: German rail operator to launch self-driving trains in 5yrs, https://www.rt.com/business/346123-german-railway-driveless-trains/.
[17] Jenkins, R.: Autonomous vehicle ethics and laws: toward an overlapping consensus. New america (2016).

Control and Optimization Methods in Complex Technical Systems

Методы управления и оптимизации в сложных технических системах

DESIGNING OF INDUCTION HEATING SYSTEMS BASED ON THREE-CRITERIA NUMERICAL OPTIMIZATION

Yu. Pleshivtseva[1], E. Rapoport[1], A. Popov[2], B. Nacke[3], A. Nikanorov[3]

[1]Institute for the Control of Complex Systems of Russian Academy of Science
61, Sadovaya Str., 443020, Samara, Russia
cscmp@iccs.ru
tel: +7 (846) 332-39-27, fax: +7 (846) 333-27-70

[2]Samara State Technical University
244, Molodogvardeyskaya Str., 443100, Samara, Russia
antonsam93@mail.ru
tel: +7 (927) 018-12-61

[3]Institute for Electrotechnology
Wilhelm-Busch Str. 4, Hannover, D-30167, Germany
nacke@etp.uni-hannover.de
tel: +495117623275

Key words: *induction heating process, multi-criteria optimization, numerical simulation, alternance method, genetic algorithms, optimal design.*

Abstract

В настоящей работе представлены результаты исследования, проведенного авторами в области многокритериальной оптимизации конструкции индукционных нагревателей на основе численного моделирования связанных электромагнитных и тепловых полей. Стандартные генетические алгоритмы и альтернативный метод параметрической оптимизации применяются как инструменты оптимизации в практически ориентированных приложениях. Планируемые разработанные процедуры оптимизации планируется использовать для решения широкого круга актуальных проблем оптимального проектирования и управления различными устройствами и системами индукционного нагрева.

Introduction

Optimization takes an important place in the induction heaters' design. The main goal of the optimization procedure is to obtain the values of the key design parameters, which will satisfy different requirements to the considered technological process. A bibliographic survey aimed to learn the current situation in the field of optimal design methods in electromagnetism is presented in [1].

Contemporary research trends indicate a preference in multi-criteria design optimization due to increasing requirements on production processes. Traditionally, the multi-objective problem is reduced to introducing a single objective function as the weighted sum of the several objectives to be minimized [2]. However, the most informative solution is represented by the Pareto front of non-dominated solutions, i.e. those for which the decrease of a one objective function is not possible without the simultaneous increasing at least one of the other functions. This leads to a family of optimal solutions and so the designer can select a single solution with respect to decision-making criteria [3].

The paper describes main ideas and results of the research activities carried out by the authors during last years in the field of multiple-criteria optimization of induction heaters design based on numerical coupled electromagnetic and temperature field analysis [4-5].

Standard genetic algorithm (GA) and alternance method of parametric optimization based on optimal control theory are applied as effective optimization tools to solve the practice-oriented three-criteria optimization problems based on FLUX and ANSYS codes for finite element method analysis.

All the results have been obtained in the frame of joint scientific projects realized in close collaboration between Leibniz University of Hannover (Germany) and Samara State Technical University (Russia).

1 General statement of multi-criteria optimization problem

A space-time temperature distribution within inductively heated cylindrical billet can be described by a highly complicated system of interrelated Maxwell and Fourier equations for electromagnetic and temperature fields [6]:

$$(1)\quad curl\overline{H}=\sigma(T)\overline{E}+\frac{\partial\overline{D}}{\partial t};\quad curl\overline{E}=-\frac{\partial\overline{B}}{\partial t};\quad div\overline{B}=0;\quad div\overline{E}=0;$$

$$(2)\quad c(T)\gamma(T)\frac{\partial T(r,l,t)}{\partial t}=\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left(\lambda(T)r\frac{\partial T(r,l,t)}{\partial r}\right)+\frac{\partial}{\partial l}\left(\lambda(T)r\frac{\partial T(r,l,t)}{\partial l}\right)+$$
$$+P\left(\overline{p},U(t)\right),T(r,l,t)W(\xi,r,l)\quad 0<r<R;0<l<L;0<t\le t^0$$

with the boundary conditions of the third kind:

$$(3)\quad \left.\frac{\partial T(r,l,t)}{\partial r}\right|_{\substack{r=0\\l=L}}=0;\ \lambda(T)\left.\frac{\partial T(r,l,t)}{\partial r}\right|_{r=R}=-\alpha(T)\left(T(R,l,t)-T_a\right);$$
$$\lambda(T)\left.\frac{\partial T(r,l,t)}{\partial r}\right|_{l=0}=\alpha(T)\left(T(r,0,t)-T_a\right);\quad \lambda(T)\left.\frac{\partial T(r,l,t)}{\partial l}\right|_{l=L}=-\alpha(T)\left(T(r,L,t)-T_a\right).$$

Here $\overline{H}$ is vector of magnetic field intensity; $\sigma(T)$ is the electrical conductivity; $\overline{E}$ is vector of electric field intensity; $\overline{D}$ is vector of electric flux density; $\overline{B}$ is vector of magnetic flux density; $T(r,l,t)$ is the temperature distribution varying with time t and radial and axial spatial coordinates r,l respectively; R and L are cylinder radius and length; $c(T)$ is specific heat; $\gamma(T)$ is specific density of the metal; $\lambda(T)$ is the thermal conductivity of the metal; T_a is ambient temperature; $\alpha(T)$ is the surface heat transfer coefficient, taking into account convection and radiation heat losses.

For the process of non-magnetic material heating, an expression $P\left(\overline{p},U(t)\right),T(r,l,t)W(\xi,r,l)$ in the right side of equation (2) represents heat sources power, where a function $W(\xi,r,l)$ describes the electromagnetic wave propagation into the metal and can be obtained as a result of electromagnetic problem solution; $P(t)$ is heat sources power absorbed by unit surface of heated body, $\xi=\frac{R\sqrt{2}}{\delta}$, δ is a current penetration depth, $U(t)$ is power supply voltage.

Let us assume that initial temperature distribution $T(r,l,0)$ at time $t=0$ is uniform and required temperature is constant:

$$(4)\quad T(r,l,0)=T_0=const;\quad T^*(r,l)=T^*=const;\quad r\in[0,R];l\in[0,L]$$

The static induction heating process described by equations (1) - (2) with boundary and initial conditions (3) - (4) can be considered as a distributed parameter system [8]. The temperature distribution versus time and spatial coordinates $T(r,l,t)$ can be defined as an output controlled function of the process.

Power $P(t)$ of internally generated heat sources and the heating time t_{heat} are the most vital parameters influencing temperature distribution. The power supply voltage $U(t)$, connected with power $P(t)$ by a nonlinear function can be treated as a second optimized parameter. Thus, an appropriate optimization of the heating process can involve an appropriate choice of design variables $U(t)$ and t_{heat}. A reasonable assumption for the optimal design problem is that values of the optimized parameters remain within certain prescribed limits. Thus, it will be reasonable to select $U(t) = const$ and t_{heat} with values on the constraint intervals:

(5) $U_{\min} \le U \le U_{\max}; t_{\min} \le t \le t_{\max}.$

The ultimate goal of the induction heating process is to obtain the desired temperature uniformity within the billet before the subsequent technological operation. That is why an appropriate formulation of the requirements for these temperature limits is of main importance. An objective function could be the heating accuracy, represented by the deviation between the actual final temperature distribution $T(r,l,t_{heat})$ and the desired one $T^*(r,l) = T^* = const$. Decreasing this deviation (i.e., increasing heating accuracy) leads to better conditions during metal hot-working operation and cost reduction. In most typical case the heating accuracy can be estimated by the absolute maximum deviation of $T(r,l,t_{heat})$ from T^*. Therefore, the first objective function f_1 can be defined in the form of Chebyshev norm:

(6) $$f_1\left(\overline{p}, T(r,l,t_{heat})\right) = \max_{r\in[0,R];l\in[0,R]} \left|T(r,l,t_{heat}) - T^*\right| \to \min_{p}$$

to be minimized.

On the other hand, the main parameter influencing the process efficiency is the cost of energy used for heating. In this case the total energy consumption during heating time should be minimized, so goal function can be represented in the following form:

(7) $$f_2\left(\overline{p}, T(r,l,t)\right) = \int_0^{t_{heat}} P\left(\overline{p}, U(t), T(r,l,t)\right) dt \to \min_{p}.$$

When maximum productivity is required, a minimal total heating time t_{heat} can be considered as a time-optimal criterion:

(8) $$f_3 = \int_0^{t_{heat}} d\tau = t_{heat} \to \min_{p}.$$

In many cases, an essential part of the cost is material expenses. For high-temperature induction heating technologies, the appreciable portion of material expenses represents a metal loss due to scale formation. As shown in [9], the value of metal losses can also be considered as an optimization criteria f_4 and can be written in the integral form as follows:

(9) $$f_4 = \int_0^{t_{heat}} f\left(T_{sur}(\tau)\right) d\tau \to \min_{p},$$

where $f\left(T_{sur}\left(\tau\right)\right)$ is a non-linear time-dependent function of surface temperature $T_{sur}\left(t\right)$ that can be calculated in different ways. [9-10]

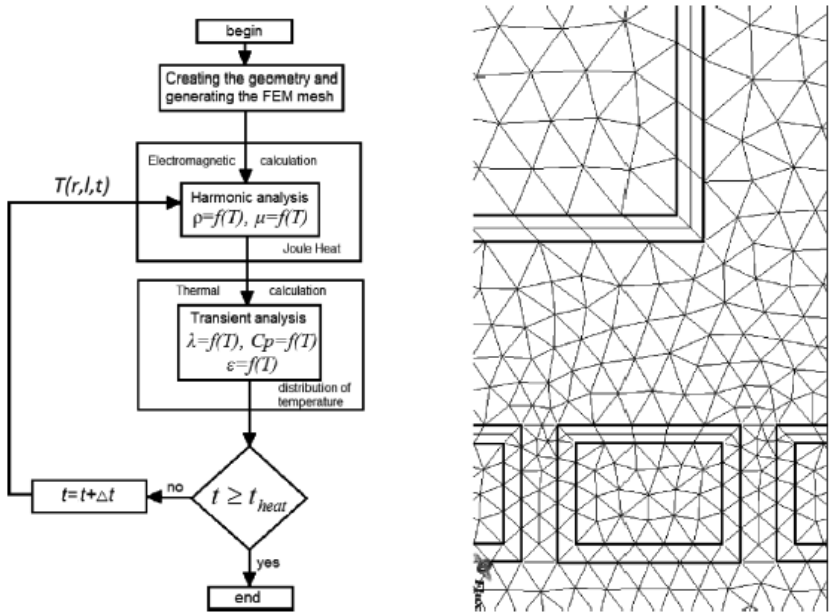
2 Induction heating of aluminium billets prior to hot forming: problem solution based on alternance method

Let us consider a typical process in the forging industry, i.e. the induction heating of cylindrical billets before hot forming. Aluminum billet with diameter of 0.5 m and length 1 m is periodically heated up to final temperature of 450°C in the heater 1.376 m length with frequency value of 50 Hz.

2D numerical model of static induction heating for cylindrical billets has been developed at Samara State Technical University according to the algorithm shown in Figure 1(a) [7].

The numerical solution of the coupled electro-thermal problem is based on a finite element method. FLUX software was used for electromagnetic and thermal physics simulations.

A typical finite-element mesh, composed of 23656 tetrahedral elements, is shown in Figure 1(b).



(a) (b)

Figure 1 – Computational algorithm (a) and finite element mesh of induction heating system (b)

The accurate direct problem formulation for the simulation of the process is given in [4]. The numerical solution of the coupled electromagnetic and thermal problem is based on a finite element method FLUX software [11]. Common material data (relative magnetic permeability and electric resistivity, thermal conductivity and volumetric heat capacity) for standard aluminum has been used.

It is important to obtain as uniform as possible final temperature distribution within the billet with the minimum energy consumption and in minimum time, so researcher might consider the mentioned objective functions (3), (4) and (5) for the formulation of optimization goals. Since these objectives are in conflict in principle, it is necessary for the designer to solve a multi-objective optimization problem with respect to a set of optimized parameters.

For the constant value of power supply voltage $u = U_{\max}$ the most significant process characteristics influencing the temperature distribution at the end of heating process are duration $t_h = t_h^{opt}$ of the stage of heating with the voltage $U_{\max}$ and duration $t_s = t_s^{opt}$ of subsequent soaking when power supply is switched off.

Then the problem can be formulated as follows. For the induction heating process described by 2D FLUX model it is required to identify such values of optimized parameters $t_h = t_h^{opt}$ and $t_s = t_s^{opt}$ that provide billet heating from the initial temperature 20ºC up to the desired temperature 450ºC with the lowest possible values of objective functions (3), (4) and (5). A reasonable assumption that the optimized parameters remain within certain prescribed constraint intervals: $t_{h\,\min} \le t_h \le t_{h\max}$; $t_{s\,\min} \le t_s \le t_{s\max}$.

In practice, the designer often may not be interested in having a large number of Pareto optimal solutions. It is realistic from engineering point of view to select the unique solution, which must be among the non-dominated solutions set taking into account the preferences of a designer.

Application of optimal control theory of systems with distributed parameters is a powerful approach for optimization of induction heaters design. Alternance method of parametric optimization and the computational technique for its application are based on physical properties of non-stationary heat conductivity processes during induction heating.

The method sets universal qualitative features of temperature distribution within the heated billet at the end of the optimal heating processes. These features have a clear physical meaning and are similar to properties of the best uniform approximation of given functions to zero. Mathematically rigorous proof of these properties is provided in [12].

The importance of these properties deals with the fact that they can be written in the form of set of equalities for maximum deviations of final temperature from the required one in various points within the billet volume. This set of equalities is closed with respect to all optimized parameters. This provides possibility to rewrite a set of equalities into set of equations that ought to be solved with respect to all unknown parameters, leading to the final solution of optimal design or control problem.

Alternance method offers new tools for design and control of practical, cost-effective induction heating processes due to some advantages over well-known methods. First, it is strongly problem-oriented and takes into account all basic physical features of the optimized system. Second, it allows dramatic reducing the number of calls of FEM field analysis codes and objective function evaluations. At last, it leads to the global optimal solution that cannot be improved even theoretically.

This optimization strategy has been described in many publications [12-15] and applied to the solution of the formulated multi-objective optimization problem with respect to goal functions (6)-(8).

Table 1 represents the results of problem solution for different values of voltage $U_{\max}$.

Table 1. Results found using alternance method

	Voltage	Goal functions		
	$U_{\max}$, V	f_1, ^0C	f_2, MJ	f_3, **sec**
1	430	22	250.721	2156
2	450	24	248.734	1978
3	470	25	247.764	1823
4	490	28	246.513	1687
5	510	29	245.953	1574

The similar computations have been performed for the other variations of heating conditions, billets radius and materials properties. The results of problem solution in all case studies demonstrate the analogous qualitative characteristics of optimal heating processes.

4 Induction heating of steel billet prior to hot forming: problem solution using GA

Above multi-objective problem for optimal design of induction heaters have been mathematically formulated in terms of three optimization criteria (6)-(8). This section provides an example of the solution of the formulated design problem with respect to three optimization criteria (6), (7), (9) [16].

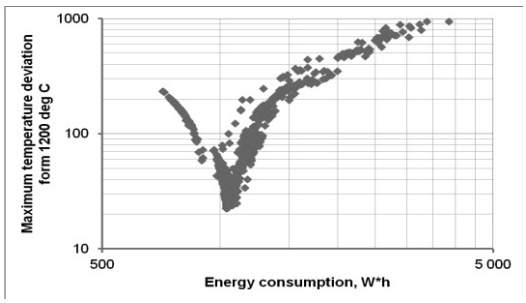
Various hot forming technologies require heating of steel billets up to high temperature of 1100 - 1200°C. Slow equalization of temperature distribution in the billet core by thermal conduction makes the heating process long (up to tens of minutes). In this case intensive oxidation of the billet surface leads to high metal losses, reduction of final product quality and lifetime of the forming equipment [10]. In this case, minimization of scale formation during steel billet heating is an additional important task for the induction heater designer. Thus, scale formation can be included into multi-objective procedure as an additional third optimization criterion.

The formulation and numerical simulation are similar to the problem of optimization of induction heating of aluminum billet prior to hot forming described above.

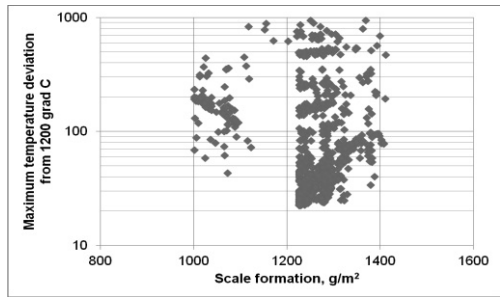
One three-criteria optimization search has been carried out in combination of 2D numerical coupled electromagnetic-thermal analysis with GA as an optimization tool. Cylindrical steel billet with diameter of 100 mm is heated up to final temperature of 1200°C in the induction coil at frequency of 1000 Hz. 2D FEM model takes into consideration temperature dependent electro- and thermophysical properties of steel as well as thermal losses by convection and radiation. The FEM code is realized in the program package ANSYS. Induction coil current and heating time have been applied as two independent variables for the optimization search.

Set of solutions in space of heating accuracy and energy consumption is shown in Fig. 2a. Pareto front as the boarder of the solution points set is of V-shape with visible influence of non-linearity of the heating process. It has a clear defined minimum concerning the temperature deviation criterion.

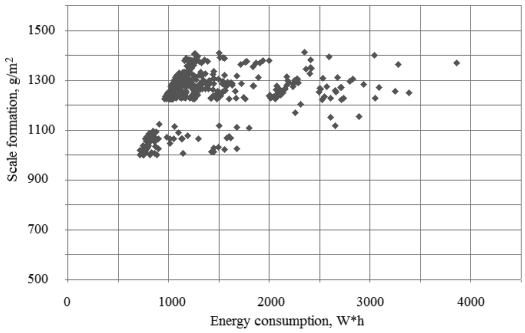
Set of solutions in space of heating accuracy and scale formation (see Fig. 2b) is concentrated in two groups of solution points with well pronounced gap between them. Minimum of the temperature deviation is smoother with sharp border on the left side. This effect as well as division of the solutions on to the groups should be analyzed deeper.



a



b



c

Figure 2. Set of solutions found by GA: a) in space of heating accuracy and energy consumption; b) in space of heating accuracy and scale formation; c) in space of scale formation and energy consumption

Conclusions

Multi-objective problems for optimal design of induction heaters have been mathematically formulated in terms of the typical optimization criteria, e.g., maximum heating accuracy, minimum heating time and minimum energy consumption as well as minimum scale formation as an additional cost funstion.

Several numerical FEM codes have been integrated into optimization procedures based on NSGA-II and MNGA algorithms, alternance method and GA. Examples of three-objective optimization searches have been performed for aluminum and steel billets heating.

The paper demonstrates that different optimization strategies employed are effective for real-life industrial applications of multiple-criteria design optimization. The obtain results are very promising and motivate continuation of the researches and extension of them to optimization of various industrial applications. The developed optimization procedures can be applied to the wide range of real-life problems of optimal design and control for different induction heating installations.

References

[1] Chereches, R., Topa., V., Purcar, M., Grindei, L., Avram, A. (2011) 'State of the art in the optimal design of electromagnetic devices', Acta Electrotehnica, Vol. 52, №4, pp. 215-221.

[2] Di Barba, P. (2014). Basic principles of optimal design of electromagnetic devices and multi-objective optimization. ASM Handbook, Volume 4C, Induction Heating and Heat Treatment, pp.359-365.

[3] Chaudhari, P., Dharaskar, R., Thakare, V. (2010) 'Computing the most significant solution from Pareto front obtained in multi-objective evolutionary', (IJACSA) International Journal of Advanced Computer Science and Applications, Vol. 1, №4, pp. 63-68.

[4] Pleshivtseva, Yu., Di Barba, P., Rapoport, E., Nacke, B., Nikanorov, A., Forzan, M., Lupi, S., Sieni, E. (2014). Multi-objective optimization of induction heaters design based on numerical coupled field analysis/ Int. J. Microstructure and Materials Properties. - 2015. - Vol. 9. - Nos.6.- pp. 532-551.
[5] Di Barba, et al. (2013) 'Multi-objective optimization of induction heating processes. Methods of the problem solution and examples based on the benchmark model', International Journal of Microstructure and Materials Properties, Vol. 8. Nos 4/5, pp. 357-372.
[6] Rudnev, V., Loveless, D., Cook, R., Black, M. (2003) 'Handbook of Induction Heating', Marcel Dekker Inc., New York, USA.
[7] Pleshivtseva Yu., Dyakonov A., Popov A. (2014) 'Two-dimensional problem of optimal with respect to typical quality criteria control of through induction heating', *Bulletin of Samara State Technical University, Issue Technical Sciences,* Vol. 42, №2, pp. 148-163.
[8] Rapoport, E., Pleshivtseva, Yu. (2012) Optimal control of thermal modes of induction heating. Nauka, Moscow, Russia (in Russian).
[9] Rapoport, E. (1993) 'Optimization of Induction Heating of Metals', Metallurgy, Moscow, Russia.
[10] Börgerding, R. (1997). Optimirung des Betriebs inductive Schmiedeblockerwärmer. Fortschr.-Ber. VDI Reihe 2 Nr. 451. Düsseldorf: VDI Verlag.
[11] Pleshivtseva, Yu., Nacke, B., Popov, A. (2105) 'Optimization of Induction Heating Regarding Typical Quality Criteria: Problem Solution Based on 2D FEM Analysis', Applied Mechanics and Materials Vol. 792, pp. 462-467.
[12] Rapoport, E. (2000) 'Alternance method for solving optimal control problems', Nauka, Russia.
[13] Rapoport, E., Pleshivtseva, Yu. (2007) 'Optimal Control of Induction Heating Processes', CRC Press/Taylor & Francis Group, New York, USA.
[14] Rapoport, E., Pleshivtseva, Yu. (2012) 'Optimal Control of Nonlinear Objects of Engineering Thermophysics', Optoelectronics, Instrumentation and Data Processing, Vol. 48, No 5, pp. 429-437.
[15] Pleshivtseva, Yu., and Rapoport, E. (2009) 'The Successive Parameterization Method of Control Actions in Boundary Value Optimal Control Problems for Distributed Parameter Systems', Journal of Computer and Systems Sciences International, Vol. 48, No 3, pp. 351-362.
[16] Pleshivtseva, Yu., Di Barba, P., Rapoport, E., Nacke, B., Nikanorov, A., Forzan, M., Lupi, S., Sieni, E. (2016) 'Design concepts of induction mass heating technology based on multiple-criteria optimization', Proc.: International Seminar "Heating by Electromagnetic Sources" HES-16. - Padua, Italy, May 24-27, pp. 103-110.

СТРАТЕГИЯ ПОВЕДЕНИЯ АВТОНОМНОГО РОБОТА В ПРОТИВОДЕЙСТВУЮЩЕЙ СРЕДЕ: СИТУАЦИОННАЯ ОСВЕДОМЛЕННОСТЬ И САМООРГАНИЗАЦИЯ

В.К. Абросимов[1], А.Н. Мочалкин[1], П.О. Скобелев[2]

[1]ООО «НПК «Сетецентрические Платформы»
443013, Самара, ул. Московское шоссе, 17, оф. 2203, Россия
abrosimov@smartsolutions-123.ru
тел: + 7 (846) 279-37-74

[2]Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт проблем управления сложными системами Российской академии наук
443020, Самара, ул. Садовая, 61, Россия
petr.skobelev@gmail.com
тел: +7 (846) 332-39-27, факс: +7 (846) 333-27-70

Ключевые слова: *агент, робот, противодействие, самоорганизация, группа, коллектив, стратегия, осведомленность*

Abstract.
The general approach to a behavior robots strategies in self-organizing group while operating in an aggressive environment is developed. Group of robots is considered as a multi-agent system Each robot is represented by an agent with agent properties. Robots are equipped with systems for monitoring the environment and execute commands for active actions (movement, impact on the countermeasure, etc.). The influence of the external environment is simulated by means of the conditions of disruption of the robots functions.
A general approach to the formation of «situational awareness» has been developed. They describe the current state of the robot, the situation of the dangers of the opposing environment and the situation at each point in the action space of the robots. Acting as well as the agent, every robot can receive information from the «situational awareness» cloud about the situation in the field of his further movement, offer his resources, request the help of other robots. In addition, depending on the rank of robots claimed by the team, he can use for his own purposes executive mechanisms and systems of active actions of other robots with less status.
Links between robots are not hard, but probabilistic (if we can get the statistics) or a possibility character. Due to the restructuring of existing and the formation of new links between robots we can see the self-organization processes inside such groups of robots.

Введение

Во многих практических приложениях требуется обеспечить согласованное движение группы разнотипных роботов в пространстве и во времени, в том числе, в условиях спонтанно возникающего противодействия.

Для дистанционно управляемых роботов это может быть достигнуто предварительной договоренностью Операторов роботов, составлением и реализацией соответствующих планов действий по приведению роботов в заданные точки пространства в заданное время. На практике в силу влияния факторов различной природы (как объективных природных, так и субъективных, например, активного целенаправленного влияния средств и систем противодействия) заранее согласованные планы практически никогда не выполняются. Ошибки при выполнении коллективной миссии группы роботов могут иметь критический характер.

В этой связи возникает задача разработки индивидуальных стратегий поведения отдельных роботов и реализации коллективного поведения группы роботов в автономном

режиме. Основная проблема при этом заключается в правильном определении содержания и надежной реализации взаимодействия роботов [1].

1 Группировка роботов как многоагентная система

В работе [2] подробно рассматриваются вопросы представления летательных аппаратов как агентов с соответствующими свойствами, а группировки летательных аппаратов, выполняющих коллективную задачу, – как мультиагентной системы. Аналогичный подход можно применить как к отдельным роботам, так и к группировке роботов, в частности, при активности в противодействующей среде. Действительно, робот в автономном режиме самостоятельно обрабатывает информацию (реактивность), принимает решения в зависимости от текущей ситуации (целеполагание, желания, намерения), но в интересах решения общей коллективной задачи (обязательства). Он взаимодействует с другими роботами, обменивается информацией с ними (наличие знаний), информирует о своем текущем состоянии, стратегии действий, степени выполнения порученной ему или взятой на себя в результате переговоров агентов роли (общественное поведение, правдивость). При этом каждый робот должен учитывать цели и намерения других роботов (убеждения, общественное поведение). Если один или несколько роботов по объективной причине (сложные условия, недостаток ресурсов, поломка, влияние противодействующей среды и др.) не может выполнить свою часть коллективной задачи, другие роботы должны взять на себя новые задачи при наличии у них соответствующих ресурсов и возможностей (обязательства, проактивность, благожелательность). В случае крайней необходимости может даже потребоваться пожертвовать роботом ради выполнения коллективной задачи (убеждения, обязательства). Именно на этой основе целесообразно в дальнейшем разрабатывать как стратегии поведения отдельных роботов, так и алгоритмы коллективного поведения группы летательных аппаратов (ЛА).

Рассматривая k-того типового робота как интеллектуального агента R_k, можно его описать информационным кортежем

(1) $R_k = \{Kn_k, Int_k, St_k, Bel_k, Obl_k, Pos_k, Req_k\}$, k=1, K,

где Kn_k– база знаний R_k как совокупность априорных данных о приоритетности и важности решаемых задач, географии действий, прогнозируемых препятствиях на маршруте движения к цели, степени опасности в районе отдельных целей и по маршруту движения к ним;

Int_k – множество намерений R_k в результате формирования маршрута движения, распределения ролей и закрепления целей за конкретными ЛА-агентами при выполнении коллективной задачи;

St_k– множество возможных стратегий действий R_k, состоящих в выполнении ролевых задач, участии в переговорах агентов по решению коллективных проблем, в информационном обеспечении решения коллективных задач;

Bel_k – множество убеждений R_k. Так называемые внутренние убеждения робота (алгоритмы, сценарии, оценки, заложенные в него при разработке, обучении или внесенные в процессе решения задач) заносятся в базу знаний Kn. Индуктивные убеждения, возникающие в результате on-line анализа степени враждебности среды, формируются продукционными правилами вида: если наблюдается факт X, то возникает убеждение Y;

Obl_k – множество обязательств R_k. Обязательства выстраиваются как иерархическая структура, когда между роботами устанавливается некоторая иерархия по управлению и условия подчиненности Лидеру;

Pos_k – множество возможностей R_k. Для роботов, движущихся в пространстве к цели в условиях противодействия, к возможностям можно отнести скорость движения, диапазон высот и направлений движения, количество активных действий по нейтрализации влияния (подавлению) средств противодействия, степень эффективности таких действий, возможность

преодоления препятствий, технические возможности датчиков систем технического зрения (дальность, эффективность распознавания препятствий и объектов противодействия);

Req_k – множество потребностей R_k. Потребности робота здесь будем описывать всего одной характеристикой – запасом энергетики для движения.

2 Обученность робота

Функционирование робота в противодействующей среде неразрывно связано с его обучаемостью и обученностью. В условиях возможной временной потери связи робот должен действовать не только в соответствии с заранее определенной стратегией своего поведения, но также и адаптируясь к внешним воздействиям [3]. Роботы могут быть обучены различным алгоритмам поведения. В соответствии с результатами работы [4], целесообразно вводить три основных стратегии: робота-«альтруиста», робота-«эгоиста» и робота «прагматика». Робот-«альтруист» (RA) всегда стремится выполнить возложенную на него часть коллективной задачи, возможно даже жертвуя собой. Робот-«эгоист» (RE) при возникновении малейшей опасности уходит их опасной зоны, принципиально отказываясь от жертвенности собой (в стратегии «эгоиста» обычно должен обучаться Лидер группы). Робот-«прагматик» (RP) определяет свою стратегию в зависимости от ситуации.

3 Противодействующая среда

В контексте настоящей работы влияние противодействующей среды проявляется через факт потери функциональности робота. Вероятность, а точнее, возможность (в задачах рассматриваемого типа проблематично набрать требуемую статистику, поэтому более адекватно пользоваться терминологией теории возможностей) складывается из потенциально возможного воздействия противодействующих средств, каждое из которых условно можно описать кортежем

(2) $s \in S := \{GPS_s, R_s\ \beta_s\}$,

где

GPS_s – GPS координаты s-того средства противодействия (например, точка на плоскости. вершина конуса в пространстве и др.);

R_s – радиус зоны ответственности средства противодействия (например, радиус сектора на плоскости, величина образующей конуса в пространстве и др.);

β_s – секторальный угол или угол у вершины конуса.

Примем для определенности, что функция активного воздействия противодействующего средства на робота (при нахождении робота в зоне его ответственности), и, соответственно, возможность нарушения функционирования робота изменяется линейно, например по закону

(3) $P_s = (1/ f(k)) *(1- d/R_s)$,

где

d – расстояние от робота до противодействующего средства;

$f(k) \in (0.1]$ – функция опасности противодействующего средства.

Функция f(k), по существу, интегрально определяет активность и возможности средства противодействия. Изменяя при моделировании характеристику f(k), можно усиливать или ослаблять степень противодействия.

Если робот попадает в зону ответственности не единственного, а нескольких средств противодействия $q \in Q \in S$, то вероятность P_r, что робот продолжит функционирование, может определяться по максимальной вероятности

(4) $P_r \leq \max_i P_i$.

Необходимо учитывать, что не все противодействующие роботы могут быть обнаружены до начала активных действий роботов группы. При моделировании целесообразно предполагать, что в процессе выполнения коллективной миссии могут по заданному случайному закону возникать ранее необнаруженные роботы противодействия. В этом случае закон (2) приобретает линейно-ступенчатый вид.

4 Ситуационная осведомленность

Каждый робот при решении коллективной задачи должен иметь возможность получать всю необходимую информацию о ситуации и среде при выполнении собственных задач, например, на траектории своего движения к цели. Кроме того, используя собственные средства наблюдения (например, системы технического зрения) он должен поставлять такую информацию для коллектива. Группировка роботов также должна в каждый текущий момент времени знать состояние каждого робота.

Анализ показывает, что указанные задачи связаны с понятием «ситуационная осведомленность». В нем выделяют три образующих элемента: информация о том, что происходит вокруг (восприятие данных и обстановки), понимание значения и важности ситуации, прогнозирование будущих событий и сценария развития ситуации, собственных действий и действий других участников.

Анализ показывает, что главной проблемой современных сложных систем является отсутствие информационно-коммуникационной сети, реализующей принцип «ситуационной осведомленности». В сугубо практических задачах данная проблема проявляется в том, что информация, получаемая разнотипными роботами о среде, не является общим ресурсом, который может быть использован всей группировкой.

Реализуем принцип «ситуационной осведомленности» в области возможного функционирования роботов. Введем систему координат Oxyz и разделим все пространство действий роботов на подпространства заданного размера, центры которых опишем координатами GPS. Каждый такой информационный «кубик» I_{xyz} будем описывать следующим кортежем

(5) $I_{xyz} : \{GPS_I, \Delta x, \Delta y, \Delta z, R_{xyz}, P_i\}$,

где

GPS_I – центр подпространства, задаваемый GPS-координатами;

Δx, Δy, Δz – размеры подпространства;

$R_{xyz} \in [0,1]$ – возможность нахождения в данном кубике робота с именем R;

$P_i \in [0,1]$ – возможность потери функциональности робота вследствие воздействия i средств противодействия в подпространстве I_{xyz}.

Выделим в интернет-пространстве общий ресурс в форме «облака» с заданной структурой контента, к которому в режиме on-line могут обращаться все роботы как для получения, так и для размещения информации. На таком ресурсе предлагается аккумулировать в режиме on-line предназначенную для всей группировки информацию в трех различных по содержанию разделах:

а) Раздел «Роботы-агенты» (R-облако). Раздел содержит on-line информацию о состоянии всех роботов группировки в виде (1);

б) Раздел «Среда» (S-облако). В нем аккумулируется текущая информация о реальной ситуации в области функционирования и, прежде всего, собственно среда противодействия в виде (2) и (3).

в) Раздел «Пространство» (I-облако). В нем описывается в режиме on-line состояние информационного «кубика» в виде (5).

Тогда каждый робот из раздела R-облака поставляет в I-облако доступную его средствам наблюдения и распознавания информацию, берет и/или запрашивает необходимую ему информацию по имеющимся и доступным ему каналам связи из раздела S-облака, и регулярно обновляет информацию о себе в разделе R-облака. Общее «облако», построенное из трех разделов по указанным выше принципам, будем называть облаком «RIS – ситуационной осведомленности».

В силу значительной размерности потенциально возможного пространства функционирования роботов и требований высокой точности определения местонахождения роботов в каждый текущий момент времени, такое облако «ситуационной осведомленности» целесообразно описывать нейронной сетью, как например, предлагается в работе [5]. Действительно, в таком представлении каждая подобласть пространства описывается так называемым «нейроном-состоянием», с которым можно отождествить I_{xyz} (в этом случае нейрон становится «пространственным»). Ситуацию опасности нахождения робота в зоне ответственности средства противодействия и получения нейроном числового значения $P_s \in [0,1]$ можно рассматривать как возбуждение нейрона.

Еще более интересным является построение облака «ситуационной осведомленности» с использованием нейронной сети с ансамблевой организацией [6]. Действительно, по определению, нейронным ансамблем называют множество ns-состояний, объединенных взаимными возбуждающими связями так, что при возбуждении его определенной части (или хотя бы одного нейрона) возбуждается весь ансамбль. Такое представление позволяет наполнять облако «ситуационной осведомленности» и в условиях временного прекращения связи, прогнозируя ситуацию не только на один-два такта функционирования коллектива роботов, а на осмысленно продолжительное время.

5 Обучение и коллективизм роботов

Основной характеристикой, определяющей решения робота при автономном движении в противодействующей среде, является допустимая возможность его активного существования в таких условиях B_r. Сам робот вследствие ограниченности своей системы технического зрения обладает лишь ограниченной информацией о среде, но он может воспользоваться знаниями базы знаний, куда стекается вся доступная информация от всех роботов. Поэтому на каждом шаге процесса движения робота к цели он прогнозирует точку пространства, в которой он планирует быть на очередном шаге процесса. Далее его действия зависят от типа «жертвенности», полученного при обучении.

Если возможность нарушения функционирования в планируемой подобласти движения превышает допустимую и заданную при обучении

(6) $P_s \geq P_s^*$

то

- робот типа RA делает очередной шаг, рискуя потерять функциональность;
- робот типа RE останавливается;
- робот типа RP останавливается и ищет возможность устранения угрозы, вызывающей возникновение условия (6).

В результате анализа коллективной задачи (миссии), группировка роботов должна декомпозировать основную коллективную миссию на отдельные задачи. Тогда каждый робот будет действовать автономно, но в интересах выполнения коллективной задачи. Для этого целесообразно использовать подход, основанный на приоритете возможностей отдельных роботов по занятию соответствующих ролей и выполнению соответствующих задач [7]. Будем различать основную роль, которую робот получает в результате распределения ролей по результатам анализа коллективной проблемы и роли, в рамках которых он сможет

предоставлять свои возможности для решения задач других роботов (в частности, оказывать им помощь по их запросу). Роботы часто разрабатываются как многофункциональные, поэтому каждый робот может занимать несколько ролей (для оборонных задач, например, роли атакующего, связиста, подрывника, транспорта, санитара и др.), что создает совершенно уникальные возможности оказания ими помощи друг другу.

У каждого робота есть внешние датчики (условно говоря, «органы чувств», далее называемые датчиками системы оценки ситуации (SES)) и датчики исполнительных механизмов (условно говоря, «органы движения – SRM). Будем предполагать, что датчики SES роботов, выполняющих основные роли, могут управлять датчиками SRM роботов, исполняющих вспомогательные роли. Здесь уместно вспомнить концепцию Brilliant Pebbles (BP), планируемую к разработке в рамках так называемой Стратегической Оборонной Инициативы США в конце прошлого века, когда в состав космической группировки США размещаемой в угрожаемый период над позиционными районами Ракетных Войск Стратегического Назначения Министерства Обороны СССР, входили малые ударные объекты управления: BP-«солдаты», BP-«сержанты», BP-«офицеры» и пр. при организации их соответствующей соподчиненности по информации и управлению.

Наличие областей «ситуационной осведомленности», наполняемой всеми роботами в соответствии со своими возможностями, организация управления роботами друг другом в соответствии с принципами обученности поведения в противодействующей среде, распределение ролей и статусов по принципу максимальной эффективности решения задач, организация переговоров роботов по выполнению коллективной миссии, возможно даже с жертвенностью, являются необходимыми условиями построения эффективных стратегий поведения роботов в условиях активного противодействия внешней среды.

6 Стратегия поведения робота-прагматика

Ограниченный объем публикации не позволяет подробно проанализировать все стратегии поведения роботов при различных ролях и условиях противодействия. Для примера приведем здесь лишь самый общий подход к построению стратегии управления робота, обученного в парадигме «прагматик».

1) В процессе переговоров агентов по декомпозиции коллективной миссии на отдельные задачи и связанные с ними роли занять в процессе конкурентной борьбы на основании демонстрации своих компетенций, обученности и возможностей по решению задач роль Role.
2) Известить в разделе R облака «ситуационной осведомленности» группировку роботов-агентов о занятии и выполнении роли Role.
3) Зафиксировать очередной цикл выполнения коллективной миссии и роли Role движение. Задействовать датчики системы оценки ситуации SES.
4) По информации датчиков SES обновить информацию раздела I облака «ситуационной осведомленности» об изменившейся ситуации в доступных наблюдению нейронах-состояниях области движения.
5) Определить номер нейрона-состояния ns_{ijk} в пространстве, в которое, в соответствии с параметрами траектории движения к цели, необходимо переместиться на очередном шаге цикла выполнения коллективной миссии.
6) Запросить в I-облаке «ситуационной осведомленности» текущее состояние ns_{ijk}
7) Проанализировать ситуацию в прогнозируемой области движения, определив возможную степень потери функциональности в прогнозируемой точке на следующем шаге и перечень Q обнаруженных источников угрозы.
8) Если выполняется условие допустимости дальнейшего движения

(7) $0 \leq P_r \leq P_r^*$

то

a. Определить по данным раздела R облака, есть ли в группировке робот RH, запрашивающий помощь.
b. Если RH существует, проанализировать содержание помощи (смена роли, воздействие на средство противодействия), статус запрашиваемого помощь
c. Определить собственные возможности Pos_k и прогнозируемый остаток собственных ресурсов $\Delta\mathrm{Req}_k$ на оказание помощи.
d. Если $\mathrm{Pos}_k \neq 0$, $\Delta\mathrm{Req}_k \neq 0$ и статус робота RH выше собственного статуса, то прекратить выполнять собственную задачу и перейти к выполнению просьбы робота. Если статус ниже или возможностей и ресурсов нет, заявить о своем состоянии в разделе R облака «ситуационной осведомленности» и продолжать выполнять индивидуальную задачу.
e. Определить, если ли возможность Pos_k снижения угрозы $\mathrm{P_s}$ путем воздействия $\mathrm{A_k^s}$ на s-е средство противодействия, формирующее угрозу $\mathrm{P_s}$
f. Если $\mathrm{A_k^s} \geq 0$, то активно воздействовать на s-е средство с корректировкой своих возможностей на истраченную величину воздействия $(\mathrm{A}_k := \mathrm{A}_k - \mathrm{A_k^s})$.
g. Запросить робота, выполняющего роль «разведчика», о результатах воздействия.

9) Если возможность потери функциональности в прогнозируемой точке на следующем шаге значительная ($\mathrm{B_r} \leq \mathrm{P_s}$ хотя бы для одного $s \in S$), то выполнить п.6, начиная с пп. e).
10) Если возможности $\mathrm{A_k^s} \leq 0$, то запросить помощь в разделе R облака «ситуационной осведомленности».
11) Если $\mathrm{A_k^s} \leq 0 \ \forall k$, то искать $RA \in K$. Если такой робот найден, сформировать в разделе I-облака RIS задание на жертвенность.
12) Если статус выше, то задействовать исполнительные механизмы RA.
13) Остановить реализацию функций роли Role до получения информации из раздела I-облака RIS о выполнении условия (7).
14) Если целевая функция не выполнена, то перейти п. 3 алгоритма.
15) Если целевая функция робота $\mathrm{R_k}$ по роли Role выполнена, обновить информацию в R-облаке и прекратить активные действия.

7 Самоорганизация группы роботов

В результате реализации каждым роботом группировки описанной выше индивидуальной стратегии управления, создается своего рода инфраструктура взаимодействия разнотипных роботов, между которыми по необходимости с различной долей возможности возникают и ликвидируются разнообразные связи. С одной стороны, образование этих связей носит целенаправленный характер, при этом решается коллективная задача. Процессы образования новых связей носят спонтанный, заранее неизвестный характер. Так, пополнение данных облака RIS «ситуационной осведомленности» может приостановиться вследствие потери связи между роботами или активности средств противодействия. Вновь возникающие события (например, возникновение новых, ранее непроявленных /необнаруженных / неразведанных средств противодействия) существенно изменяет содержание смысловых разделов облака RIS «ситуационной осведомленности» и, как правило, требует адаптации к текущей ситуации и оперативной корректировки стратегий поведения роботов.

Предполагается, что роботы ранжируются по степени важности (рангу). В принципе, может выделяться и робот-лидер, управляющий всей группировкой, в этом случае он должен быть обучен в парадигме «эгоиста». Предполагается, что роботы более высокого ранга могут отдавать команды исполнительным органам роботов менее высокого ранга. Таким образом, робот, с одной стороны, самостоятельно реализует собственную стратегию поведения, а с

другой – может становиться «исполнительным устройством» для робота, имеющего более высокий ранг.

Можно говорить о том, что в процессе выполнения коллективной миссии группировкой, каждый робот которой реализует изложенную выше стратегию поведения, возникает и реализуется свойство самоорганизации. Действительно, самоорганизация – процесс, в ходе которого создаётся, воспроизводится или совершенствуется организация сложной динамической системы [8]. Связи между роботами имеют не жёсткий, а вероятностный (возможностный) характер. Процессы самоорганизации происходят за счёт перестройки существующих и образования новых связей между элементами системы. Все указанное в полной мере реализуется в предложенном подходе.

8 Программная модель

Приведенные выше алгоритмы в более адекватной реальности специальной форме реализуются в настоящее время в специальной имитационной модели «Самоорганизующаяся группировка роботов в нечеткой противодействующей среде», реализуемой в среде имитационного моделирования AnyLogic. В ней имитируются различные стратегии и коллективные действия группировки роботов с различными возможностями и потребностями (группировка до 10 единиц трех типов роботов и по созданию требуемых пространственно-временных структур (клин, цепочка, стая, часть роя) в интересах выполнения коллективной миссии по приведению всей группировки в определенную область пространства, в среде, наполненной случайно обнаруживаемыми средствами противодействия (5-7 единиц противодействующих средств двух типов) с различными возможностями их активного влияния на решение коллективной задачи. Предварительные результаты моделирования показали следующее:

- свойство самоорганизации роботов является обязательным для эффективного решения коллективных задач при сравнимых по параметрам равных возможностях активных роботов и противодействующей среды;
- включение в группировку роботов с различной степенью обученности жертвенности существенно меняет результаты выполнения коллективной миссии; при значимых параметрах противодействующей среды «жертвы» становятся необходимым условием получения позитивного результата;
- наиболее эффективна самоорганизация в противодействующей среде при возможности обмена ролями между роботами с учетом правильного распределения их рангов в группировке.

Заключение

Разработан общий подход к построению стратегий поведения роботов как самостоятельных элементов самоорганизующейся группировки при функционировании в противодействующей среде. Группировка роботов рассматривается как многоагентная система. Каждый робот представляется агентом, имеющим базу знаний, обладающий агентскими свойствами (намерениями, убеждениями, обязательствами), возможностями и ресурсами, обученностью жертвенности. Роботы оснащаются системами наблюдения за средой и исполнения команд на активные действия (движение, воздействие на средство противодействия и др.). Влияние внешней среды имитируется условиями нарушения функционирования роботов.

Разработан общий подход к формированию интернет-облака «ситуационной осведомленности, включающего три основных раздела. Они описывают текущее состояние робота, ситуацию опасности противодействующей среды и ситуацию в каждой точке пространства действий роботов. Особенность предлагаемого подхода состоит в том, что

каждый робот извещает остальных роботов группировки о ходе решения своих ролевых задач и наполняет эту область доступной его средствам наблюдения информацией. Но, действуя как агент, он может получать из облака информацию о ситуации в области своего дальнейшего движения, предлагать свои ресурсы, запросить помощь других роботов. Кроме того, в зависимости от заявленного коллективу роботов ранга он может задействовать в своих целях исполнительные механизмы и системы активных действий других роботов, обладающих меньшим статусом. По существу, такое облако «ситуационной осведомленности функционально реализует площадку для переговоров агентов по решению проблем при выполнении коллективной миссии [9].

Связи между роботами имеют не жёсткий, а вероятностный (если есть статистика) или возможностный характер. За счёт перестройки существующих и образования новых связей между роботами в группировке возникают процессы самоорганизации.

Благодарность

Исследование выполнено при частичной финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-08-00832-а.

Список литературы

[1] Каляев И.А. Модели и алгоритмы коллективного управления в группах роботов/И.А. Каляев, А.Р. Гайдук, С.Г. Капустян. – М.: Физматлит, 2009.

[2] Абросимов В.К., Коллективы летательных аппаратов. – М.: Издательский дом «Наука», 2017, 347 с., в печати.

[3] Жданов А.А., Автономный искусственный интеллект. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2009., 359 с.

[4] Abrosimov, V. The property of agent's sacrifice: definition, measure, effect and applications, Int. J. Reasoning-based Intelligent Systems, 2016, Vol. 8, Nos. 1/2, pp.76–83.

[5] Абросимов В.К. Нейронная пространственно-временная модель движения объектов управления // Нейрокомпьютеры. Разработка, применение, № 3, 2014, с.26-35.

[6] Куссуль Э.М. Ассоциативные нейроподобные структуры, – Киев: Наукова думка, 1992. – 144 с.

[7] Abrosimov V., Role Allocation in a Group of Control Objects. Recent Developments in Intelligent Nature-Inspired Computing. Chapter 10. Springer-Verlag, Heidelberg, Germany, 2017, pp 206-224.

[8] Каляев И.А., Гайдук А.Р., Капустян С.Г. Самоорганизация в мультиагентных системах // Известия ЮФУ. Технические науки. – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2010. №3(104).– С. 14-20.

[9] Скобелев, П.О. Ситуационное управление и мультиагентные технологии: коллективный поиск согласованных решений в диалоге / П.О. Скобелев // Онтология проектирования. – 2013. – №2(8). – С. 26–48.

МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕЛИНЕЙНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ДВУХПОТОЧНОЙ ТРАНСМИССИИ РОБОТИЗИРОВАННЫХ АВТОМОБИЛЕЙ

А.З. Асанов, Е.О. Гурьянова

Московский технологический университет (МИРЭА)
119454, г. Москва, пр. Вернадского, д. 78
тел: +7(499) 215-65-65 доп. 4014

Ключевые слова: *двухпоточная трансмиссия, модель сцепления, алгоритм управления, трансмиссия*

Abstract
This article describes research of nonlinear properties of dual-clutch transmission. The detailed math model was developed and verified. Methods of control transmission with dual clutch were analyzed.

Введение

Перспективные роботизированные транспортные комплексы, например, большегрузные автомобили или специальные транспортные средства, требуют применения новых, иногда весьма специфических, агрегатов и систем. К таким агрегатам можно отнести и трансмиссии с двойным сцеплением (двухпоточные сцепления, dual-clutch transmission), в которых поток мощности на движители подаётся непрерывно. Основным преимуществом данной конструкции является более эффективное передвижение большегрузного автомобиля в условиях бездорожья, топливная экономичность по сравнению с автоматическими трансмиссиями и ряд других.

Известны два типа двухпоточных сцепления (2ПС) – «сухие» и «мокрые». Сухие 2ПС характеризуются воздушным охлаждением и электромеханической системой привода. Конструкции мокрых 2ПС предполагают жидкостное охлаждение и гидравлический привод. Более просты, экономичны и дешевы сухие 2ПС, но они имеют существенный недостаток – легко и быстро перегреваются при значительных нагрузках и могут выйти из строя [1]. Поэтому их применение ограничено транспортными средствами небольшой мощности. Для большегрузных автомобилей или роботизированных специальных транспортных средств приемлемыми являются только мокрые 2ПС, моделированию которых посвящена данная работа.

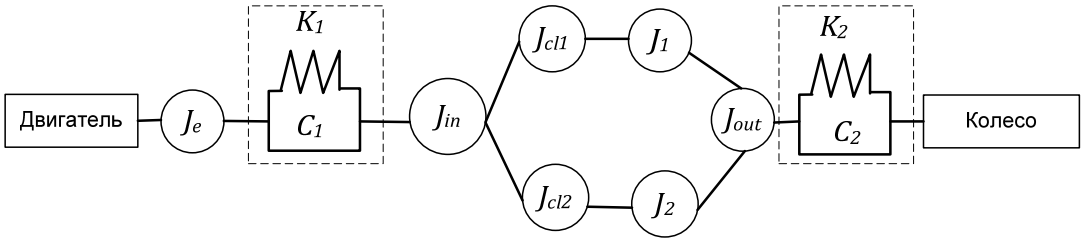
Объектом исследования является трансмиссия с двойным мокрым сцеплением. В данном случае это означает, что часть элементов вращается в масляной ванне. Вследствие этого, модель будет включать в себя помимо сухого трения и трение вязкое. Взаимодействие дисков и масла будет описано при помощи потока Куэтта [2].

Для исследования влияния характеристик трансмиссии на потребительские свойства достаточно рассмотреть передачу частоты вращения и крутящего момента с учётом потерь мощности. Подход, при котором автомобиль рассматривается как колебательная система, является базовым для двух типов исследований: NVH-анализ (шум-вибрации-жёсткость), проводимой в диапазоне высоких частот, и исследование частот собственных колебаний и нагрузочных режимов, проводимое, как правило, на низких частотах, при которых возникают резонансные колебания. Эти колебательные режимы могут оказать существенное влияние на работу трансмиссии через изменение момента трения в таких элементах трансмиссии как сцепление, а далее и на выходной крутящий момент.

Цель данной работы – разработка математической модели, которая бы учитывала нелинейные характеристики двухпоточной трансмиссии и позволяла бы провести сравнительный анализ влияния на выходной крутящий момент типов трения в сцеплении.

1 Основные положения моделей двухпоточных трансмиссий

Модели для исследования крутильных колебаний основаны на том, что трансмиссия описываются как сосредоточенная система. Узлы трансмиссии в таком случае могут быть описаны в виде элементов, характеризующихся либо инерционностью, либо податливостью. Таким образом, можно представить модель трансмиссии в виде динамических звеньев. Для описания математической модели воспользуемся подходом, изложенным в работе [3] Здесь в качестве податливых элементов выступают маховик двигателя и полуось, соединяющая главную передачу и колесо. Силы, воздействующие на автомобиль, подведены к колесу. Движение рассматривается как прямолинейное по ровной поверхности. Схема двухпоточной трансмиссии представлена на рис.1.



J_e – момент инерции двигателя, J_{in} – момент инерции маховика, J_{cl1}, J_{cl2} – момент инерции 1-го и 2-го сцепления соответственно, J_1, J_2 – момент инерции для передаточных каналов нечётного и чётного ряда соответственно, J_{out} – момент инерции выходного вала трансмиссии

Рисунок 1 – Схема двухпоточной трансмиссии

Согласно структурной схеме основные соотношения можно представить в следующем виде:

$$J_{cl1}\frac{d\omega_{cl1}}{dt} = T_{cl1} - T_{g1}; \qquad J_1\frac{d\omega_1}{dt} = T_{g1}\cdot i_{g1} - T_1; \qquad J_{cl2}\frac{d\omega_{cl2}}{dt} = T_{cl2} - T_{g2};$$

$$J_2\frac{d\omega_2}{dt} = T_{g2}\cdot i_{g2} - T_2; \qquad J_{out}\frac{d\omega_{out}}{dt} = T_1\cdot i_f + T_2\cdot i_f - T_{out},$$

где $\frac{d\omega_{cl1}}{dt}$, $\frac{d\omega_{cl2}}{dt}$ – угловая скорость 1-го и 2-го сцепления соответственно,

T_1, T_2 – крутящие моменты, передаваемые главной передачей,

T_{cl1}, T_{cl2} – крутящий момент, передаваемый первым и вторым сцеплением соответственно.

Инерционные массы рассматриваются по отношению к скорости автомобиля, поэтому далее угловые скорости были найдены по методике, приведённой в работе [4] с модификацией уравнений движения автомобиля.

Тогда уравнения равновесия для крутильных колебаний входного вала можно записать в следующем виде

$$T_{in} = K_1(\theta_e - \theta_{in}) + C_1(\omega_e - \omega_{in})$$

где θ_e и θ_{in} – углы вращения коленчатого вала и маховика двигателя, K_1 и C_1 – коэффициенты жесткости и затухания входного вала.

Передачу крутящего момента через 2ПС можно выразить уравнением

$$I_{in}\frac{d\omega_{in}}{dt} = T_{in} - (T_{cl1} + T_{cl2})$$

2 Модель движения автомобиля

На основе информации о линейной скорости и ускорения автомобиля можно найти угловые скорости инерционных масс трансмиссии. В модели движения в направлении продольной оси автомобиль представляется как одномассовая система, в которой учитываются сила тяги, силы сопротивления воздуха, сила сопротивления качению и сила сопротивления подъёму [4]:

$$\frac{md^2x}{dt^2} = F_T - F_a - F_k - F_n$$

где F_T – сила тяги, F_a – сила сопротивления воздуха, F_k – сила сопротивления качению, $F_П$ – сила сопротивления подъёму. Далее рассматривалось движение по ровной поверхности, поэтому сила сопротивления подъёму равна нулю.

Тогда

$$\mathrm{m_a} = \frac{\mathrm{M_e} \cdot i_{mp}}{\mathrm{r_k}} - \left(f_0 mg + kV + \frac{1}{2} c_\mathrm{x} \rho S V^2 \right)$$

где i_{mp} – передаточное отношение трансмиссии.

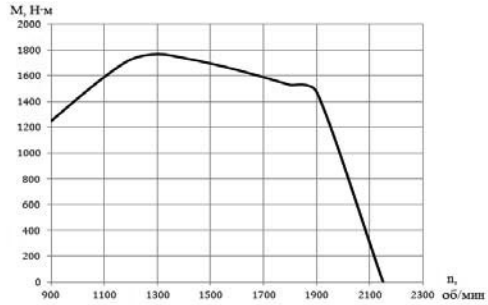
$i_{\text{тр}} = i_{\text{кп}} \cdot i_0$,

где $i_{кп}$ – передаточное отношение включенной передачи, $\mathrm{i_0}$ – передаточное отношение главной передачи.

Параметры, используемые при моделировании приведены в таблице 1. Внешняя скоростная характеристика (ВСХ) двигателя приведена на рисунке 2.

Таблица 1 – Параметры большегрузного автомобиля

Название параметра	Обозначение	Значение	Единица измерения
Высокоскоростная характеристика двигателя	ВСХ	(рис.2)	-
Полная масса автомобиля	m	39500	кг
Коэффициент сопротивления качению	f_0	0,01	
Скоростной коэффициент приращения качению	k	0,00015	
Плотность воздуха	ρ	1,225	кг/м^3
Коэффициент сопротивления воздуха	c_x	0,7	
Площадь лобового сопротивления	S_a	9	м^2
Радиус качения колеса	R	0,55	м
Передаточное отношение главной передачи	i_f	3,36	



n (об/мин) – частота вращения коленчатого вала двигателя
M (Н·м) – крутящий момент двигателя

Рисунок 2 – ВСХ двигателя

3 Учет сухого и вязкого трений

Опишем параметры T_{cl1}, T_{cl2}, как элементы трения.

Общий крутящий момент, передаваемый сцеплением будет равен сумме момента сухого трения T_{dry} и момента вязкого $Tvisc$ трения:

$$T_{cl} = T_{dry} + T_{visc}$$

Момент сухого трения T_{dry_stat} описывается с помощью динамического и статического моментов сухого трения. Статический момент сухого трения – это момент полностью выключенного сцепления. Момент сухого трения будет изменяться в диапазоне от максимального динамического до максимального статического момента трения, для этого возможно использование следующего условия:

$$\begin{cases} \omega_{cl} = 0 \quad T_{dry_max_stat}, \\ \omega_{cl} > 0 \quad T_{dry_\mathbf{max}_dyn}, \end{cases}$$

где $T_{dry_max_stat}$ – максимальный статический момент сухого трения, $T_{dry_max_dyn}$ – максимальный динамический момент сухого трения.

$$T_{dry_\mathbf{max}_stat} = \mu_{stat} \cdot F_{total} \cdot R_{eff} \cdot np,$$

$$T_{dry_\mathbf{max}_dyn} = \mu_{dyn} \cdot F_{total} \cdot R_{eff} \cdot np,$$

где μ_{stat} – коэффициент статического трения, μ_{dyn} – коэффициент динамического трения, F_{total} – сила, которая воздействует на сцепление от электропривода, R_{eff} – эффективный радиус дисков сцепления, np – число трущихся поверхностей.

$$R_{eff} = \frac{2(r_{outs}{}^3 - r_{ins}{}^3)}{3(r_{outs}{}^2 - r_{ins}{}^2)},$$

где r_{outs}–внешний радиус диска сцепления, r_{ins} – внутренний радиус диска сцепления.

Чтобы описать зависимость момента вязкого трения Tvisc от угловой скорости дисков сцепления воспользуемся выражением

$$\begin{cases} |\omega_{cl}| < \omega_{crit_visc} \quad T_{visc} = \dfrac{np\pi\mu}{2plcl} \cdot \omega_{cl}(r_{outs}{}^4 - r_{ins}{}^4) \\ |\omega_{cl}| \geq \omega_{crit_visc} \quad T_{visc} = sign(\omega_{\text{cl}}) \dfrac{np\pi\mu}{2plcl} \cdot \omega_{cl}(r_{outs}{}^4 - r_{ins}{}^4) \end{cases},$$

где ω_{crit_visc} – угловая скорость, при которой момент вязкого трения доходит до предела, μ – гидродинамическая вязкость масла, $plcl$ – просвет между фрикционной пластины.

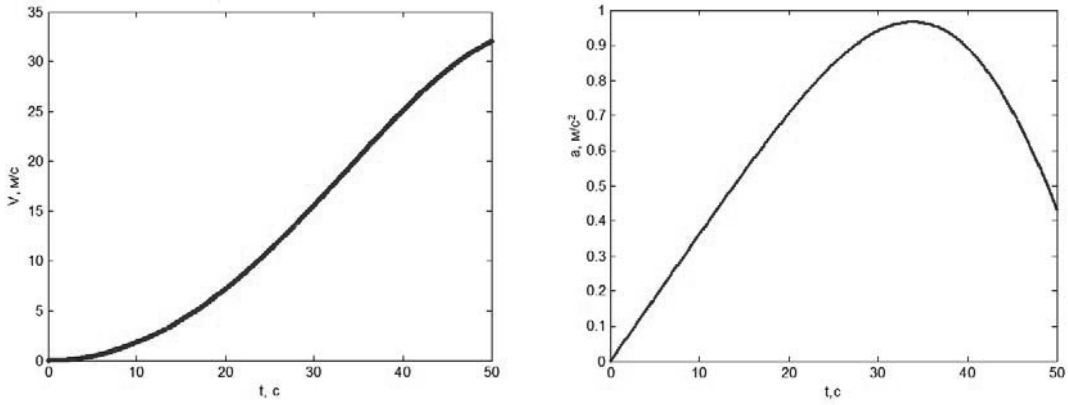
Так как радиусы являются конструируемыми параметрами перспективного агрегата, примем допущение, что r_{out}=0,175 м, а r_{ins}=0,10 м, тогда R_{eff}=0,1 м.

4 Результаты моделирования

На рисунках 4,5 приведены характеристики крутящих моментов, передаваемых 2ПС сцеплением, чтобы проанализировать, как повлияло на них учёт вязкого трения.

Анализ результатов моделирования показывает, что наиболее полное использование мощности, отсутствие ее циркуляции, снижение работы буксования, повышение плавности переключения передач в трансмиссии с двухпоточным сцеплением возможно обеспечить за счет оптимизации законов включения и выключения муфт сцепления [5].

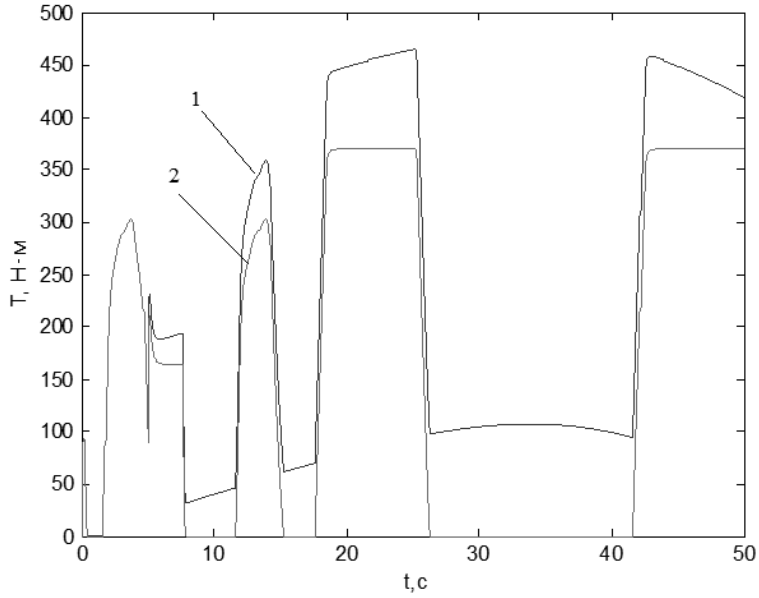
Необходимы дальнейшие исследования конструктивных особенностей двухпоточных трансмиссий и моделей трения для оценки КПД трансмиссии. Этот параметр оказывает значительное влияние на топливные и тягово-скоростные характеристики грузового автомобиля.



(а) *(б)*

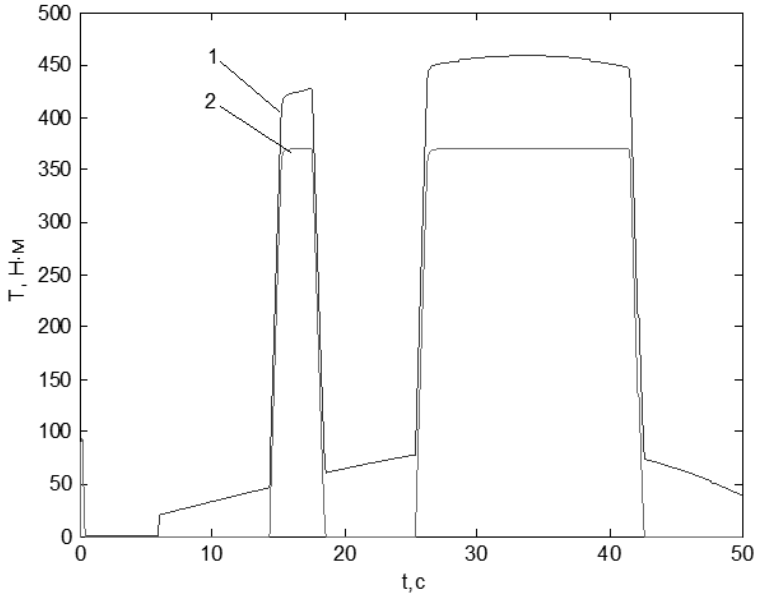
(а) – линейная скорость автомобиля V (м/с), *(б)* – ускорение автомобиля a (м/с^2)

Рисунок 3 – Результаты моделирования движения грузового автомобиля



1 –крутящий момент, передаваемый сцеплением с учётом вязкого трения
2 – крутящий момент, передаваемый сцеплением без учёта вязкого трения

Рисунок 4 – Сопоставление характеристик крутящего момента T_{cl1}, передаваемого сцеплением для чётного ряда передаточных чисел с учётом и без учёта вязкого трения



1 –крутящий момент, передаваемый сцеплением с учётом вязкого трения
2 – крутящий момент, передаваемый сцеплением без учёта вязкого трения

Рисунок 5 – Сопоставление характеристик крутящего момента T_{cl2}, передаваемого сцеплением для чётного ряда передаточных чисел с учётом и без учёта вязкого трения

Заключение

Предложена математическая модель, позволяющая оценивать режимы работы двухпоточной трансмиссии, учитывающая её нелинейные характеристики. Сравнительный анализ различных типов двухпоточных сцеплений показывает предпочтительность использования в транспортных комплексах большой мощности т.н. мокрых двухпоточных сцеплений.

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект 17-08-00516).

Список литературы

[1] K. L. Kimmig, and I. Agner, Double clutch wet or dry, that is the question, 8th LuK Symposium, 2006. pp.120-135.
[2] Haessig D.A., Friedland B. On the modeling and Simulation of Friction, Transactions ASME, Journal of Dynamic Systems, Measurement and Control. vol. 113, 1991, pp. 354-362.
[3] Ni C., Lu T., Zhang J. Gearshift control for dry-clutch transmission//WSEAS transactions on systems. № 8. 2009. –pp.1177–1186.
[4] Гришкевич А.И. Автомобили: Теория. – Мн.:Выш.шк., 1986. – 208 с.
[5] Armstrong-Helouvry B. Control of machine with friction. New York: -Springer. 1991. P. 180.

СПОСОБ ПОСТРОЕНИЯ ТЕСТОВОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ СИГНАЛОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

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

Институт автоматики и электрометрии СО РАН
630090, г. Новосибирск, проспект Академика Коптюга, д.1, Россия
serge@idisys.iae.nsk.su
тел: +7 (383) 333-26-25

Ключевые слова: *летательный аппарат, летающие динамически подобные модели, аэродинамические характеристики, возбуждение, ортогональные сигналы*

Abstract

A method of generating test signals sequence for aerodynamic characteristics analysis of the aircraft using the technology of freely flying dynamically similar models is proposed. For efficiency improvement a synchronous excitation in all input channels in a given frequency band by a set of mutually orthogonal signals is applied. A modified technique for estimation of a set of mutually orthogonal sinusoidal signals with a small relative peak-factor is presented. The results of a simulation in MATLAB / Simulink of the motion of an aircraft using the developed technique of test signals generating are presented.

Введение

Для моделирования динамики полета и разработки системы управления летательного аппарата необходимо точное описание аэродинамических характеристик объекта. Традиционно используются данные, полученные при испытаниях в аэродинамических трубах, либо рассчитанные вычислительными методами (например, Computational Fluid Dynamics). Оба этих способа требуют значительных временных затрат и обладают ограничениями, являющимися результатом таких факторов, как размеры используемых в аэродинамических трубах динамически подобных моделей, разница в геометрических размерах модели и полноразмерного аппарата, интерференция стен тоннеля и державки модели, «угловатость» потока в тоннеле, разница чисел Рейнольдса и т. д.

Получение общей аэродинамической модели в процессе летных испытаний позволяет обойти все эти проблемы, но возникает ряд других, связанных с поддержанием условий полета при испытаниях, а также рисками, затратами и прочими практическими ограничениями при организации летных испытаний.

Использование для проведения экспериментов летающих динамически подобных моделей (ЛДПМ) является дополнительным промежуточным этапом между исследованиями в аэродинамических трубах и летными испытаниями. Проблематика разработки технологии ЛДПМ представлена в работах [1-4]. Развитие и использование этой технологии остро ставит проблему разработки эффективных способов оценивания аэродинамических характеристик по результатам летных испытаний. Одной из важнейших задач при этом является создание методики построения тестовых последовательностей сигналов для возбуждения откликов испытуемого объекта.

Основные требования к тестовым последовательностям можно сформулировать следующим образом [5]:

- *Одновременность возбуждения* управляющих поверхностей, что обеспечивает получение откликов летательного аппарата по всем осям в приблизительно постоянных условиях полета.

- *Взаимная ортогональность сигналов* при одновременном возбуждении входов, что облегчает последующую обработку данных.
- Использование *широкополосного сигнала* целесообразно ввиду лишь приближенного знания собственных модальных частот объекта.
- Минимальные отклонения от заданных условий полета обеспечивают возможность описания движения аппарата линейными моделями.
- Входные сигналы должны быть возмущениями относительно номинальных или триммированных положений управляющих поверхностей для обеспечения малых отклонений от желаемых условий полета и удержания летательного аппарата на намеченной траектории.

1 Постановка задачи и метод решения

В настоящей работе рассмотрена задача построения тестовых последовательностей сигналов для возбуждения испытуемого объекта с целью оценивания его аэродинамических характеристик. Подобные задачи рассматривались в ряде публикаций. Так, в работе [6] показано, что сумма сдвинутых по фазе синусоид, используемая в качестве входных сигналов, может обеспечить хорошее частотное содержание и малое отношение максимальной амплитуды к энергии входного сигнала (пик-фактор). Сравнение метода, предложенного в [6], с традиционными линейными и логарифмическими развертками частоты входных сигналов показывает наличие преимуществ этого метода при идентификации в частотной области [7]. В работе [8] предложено расширение метода построения входных сигналов, предложенного в [6], для нескольких входов с оптимизацией пик-факторов для оценивания параметров в реальном времени. В [9] представлен способ минимизации пик-фактора суммы гармонических составляющих с использованием аппроксимации Чебышова.

Разрабатываемые последовательности сигналов взаимно ортогональны как во временной, так и частотной областях и используются в качестве возмущающих входов. Единственно требующаяся *a priori* информация для организации последовательности сигналов – это приближенная оценка полосы частот отклика системы и приближенная относительная эффективность управляющих поверхностей для корректного масштабирования входных амплитуд.

Приведем краткое описание метода, предложенного в [8]. Входной сигнал для каждой управляющей поверхности летательного аппарата конструируется в виде суммы гармонических синусоид с индивидуальными фазовыми сдвигами, т. е. входной сигнал u_j для j-ой управляющей поверхности, имеет следующую форму

$$(1)\quad u_j = \sum_{k\in\{1,2,..,M\}} A_k \sin\left(\frac{2\pi k t}{T} + \varphi_k\right),$$

где M - общее количество доступных гармонических частот, T - длина интервала возбуждения и φ_k - фазовый угол, выбираемый для каждой гармонической компоненты для обеспечения малого пик-фактора (*peak factor (PF)*), определяемого как

$$(2)\quad PF(u_j) = \frac{\left[\max(u_j) - \min(u_j)\right]/2}{\sqrt{(u_j^T u_j)/N}}.$$

Для получения равномерного распределения спектра мощности A_k выбирается в виде $A_k = A/\sqrt{k}$, где k – число синусоидальных компонентов, включенных в сумму уравнения (1), а A - амплитуда входного сигнала u_j.

Поскольку отдельная синусоидальная компонента из суммы в (1) имеет $PF = \sqrt{2}$, то относительный пик-фактор (RPF) определяется как

$$(3) \quad RPF(u_j) = \frac{[\max(u_j) - \min(u_j)]}{2\sqrt{2}rms(u_j)} = \frac{PF(u_j)}{\sqrt{2}}.$$

Малые (низкие) относительные пик-факторы более предпочтительны для оценки параметров, если целью является возбуждение системы без увода её далеко от номинальной рабочей точки. Набор целых k определяет набор частот в j-ом входном сигнале u_j.

Во временной области сигнал, состоящий из суммы синусоид, ортогонален любой другой сумме синусоид с гармоническими частотами, независимо от сдвига фаз каждого синусоидального компонента, содержащегося в сигнале.

Согласно [8] процедура построения входных сигналов состоит в следующем:

1) Выбор периода времени возбуждения T, определяющего гармоническое частотное разрешение $\Delta f = 1/T$ и предел минимальной частоты $f_{\min} \geq 2/T$.
2) Выбор полосы возбуждаемых частот динамической системы $[f_{\min}, f_{max}]$ Гц, соответствующей полосе частот ожидаемого динамического отклика системы. Частоты равномерно распределяются через Δf в интервале $[f_{\min}, f_{max}]$. Общее количество частот $M = fix\{(f_{\max} - f_{\min})/\Delta f + 1\}$, где fix означает ближайшее меньшее целое.
3) Произвольное назначение числа k из набора $\{1,2,...,M\}$, одинакового для каждого входа, последовательные (следующие друг за другом) частоты распределяются, чередуясь, между входами.
4) Построение входного сигнала u_j для каждой из m управляющих поверхностей в соответствии с (1) и вычисление начальных значений фазовых углов по методу, описанному в [6].
5) Использование симплекс-алгоритма [10], изменяющего фазовые углы φ_k каждого u_j для достижения минимума относительного пик-фактора для каждого из входов.
6) Одномерный поиск постоянного смещения по времени для компонентов каждого входа u_j такого, чтобы каждый вход начинался и заканчивался нулевой амплитудой.
7) Возврат к шагу 5 до тех пор, пока относительный пик-фактор не достигнет заранее определенного значения либо будет достигнуто заданное максимальное значение итераций.

В отличие от изложенной выше методики в настоящей работе предложено на 4 этапе вместо вычисления начальных значений по методу, предложенному в [6], использовать случайный выбор фазовых углов в диапазоне $[0 - 2\pi]$, а на этапе 5 — непрерывный генетический алгоритм (Continuous Genetic Algorithm) [11] для поиска близкого к оптимальному решения при выборе в качестве критерия относительного пик-фактора RPF. В качестве функции пригодности (Fitness Function) используется формула (3). При построении тестовых сигналов использовались следующие параметры настройки генетического алгоритма: размер популяции — 60 особей, доля мутирующих особей в каждом поколении — 0.2, доля выживающих особей в каждом поколении — 0.5, максимальное количество итераций — 1000. Предложенное изменение методики заметно упрощает процедуру построения тестовых сигналов.

2 Моделирование

Предложенная методика использована при моделировании поведения технологического летательного аппарата ЛЛ-80, оснащенного тремя управляющими поверхностями: элеронами, рулем направления и рулем высоты. На рисунке 1 показаны временные диаграммы разработанных входных сигналов на интервале в 23 секунды. (1 и 2 секунды нулей в начале и конце последовательности соответственно). Диапазон частот входных сигналов - [0.2,…, 1.4] Гц.

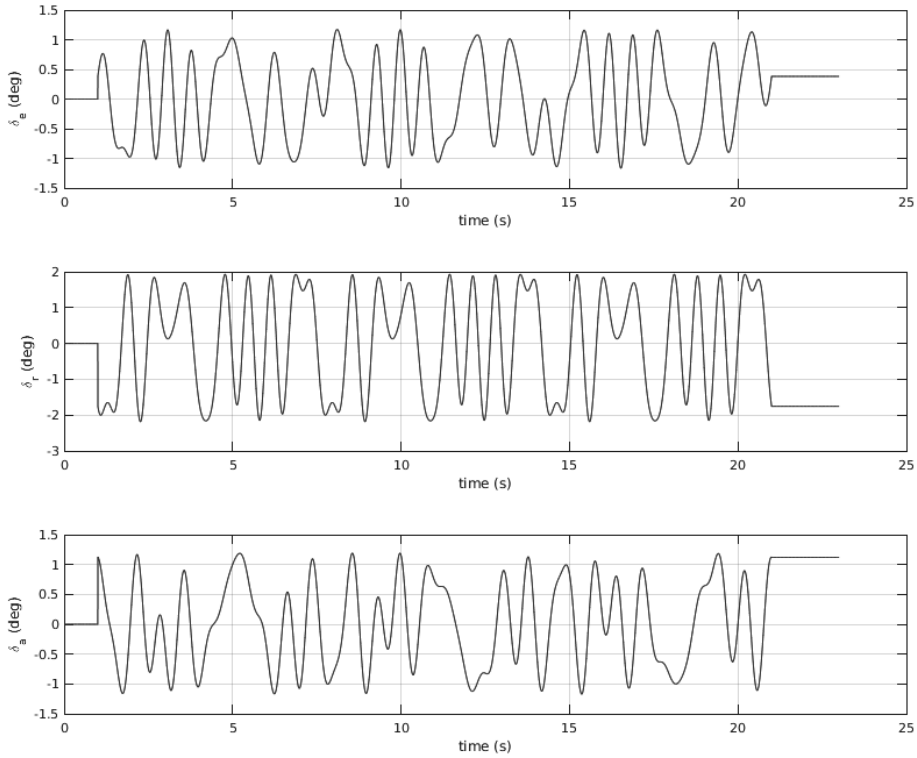


Рисунок 1 – Входные последовательности сигналов

В Таблице 1 приведены значения амплитуд, частотных индексов и значения относительного пик-фактора RPF входных сигналов, представленных на рисунке 1.

Для обеспечения идентификации аэродинамических параметров ЛА полетные данные должны покрывать широкий диапазон значимых переменных. Результаты исследований [12, 13] продемонстрировали, что использование автоматического ортогонального оптимизированного возмущающего сигнала для управляющих поверхностей во время медленных переходов в диапазоне номинальных полетных условий представляет собой адекватный метод накопления данных для моделирования аэродинамики.

Моделирование проводилось при движении ЛА на заданных углах крена и тангажа, при этом входные сигналы подавались в течение 20 секунд. Можно видеть, что заданная последовательность обеспечивает полетные данные с высоким информационным содержанием и малой корреляцией между значимыми переменными в широком диапазоне полетных условий (рисунок 2).

Таблица 1 – Амплитуды, частотные индексы и значения относительного пик-фактора RPF входных сигналов.

Вход	A (град.)	A_k (град.)	k	φ_k (рад.)	RPF
δ_e	1	0.3162	5	2.9492	1.1275
		0.3162	8	4.3744	
		0.3162	11	2.9064	
		0.3162	14	4.6706	
		0.3162	17	1.3692	
		0.3162	20	2.4767	
		0.3162	23	2.6076	
		0.3162	26	0.23065	
		0.3162	29	4.7004	
		0.3162	32	3.2741	
δ_r	2	0.6325	6	4.931	1.0261
		0.6325	9	1.2602	
		0.6325	12	0.36958	
		0.6325	15	2.963	
		0.6325	18	1.5188	
		0.6325	21	3.5417	
		0.6325	24	4.6845	
		0.6325	27	2.7999	
		0.6325	30	3.0086	
		0.6325	33	1.4386	
δ_a	1	0.3162	4	4.2086	1.1728
		0.3162	7	1.5597	
		0.3162	10	4.9699	
		0.3162	13	1.5549	
		0.3162	16	1.0761	
		0.3162	19	1.3282	
		0.3162	22	3.1739	
		0.3162	25	3.7889	
		0.3162	28	1.5654	
		0.3162	31	1.9725	

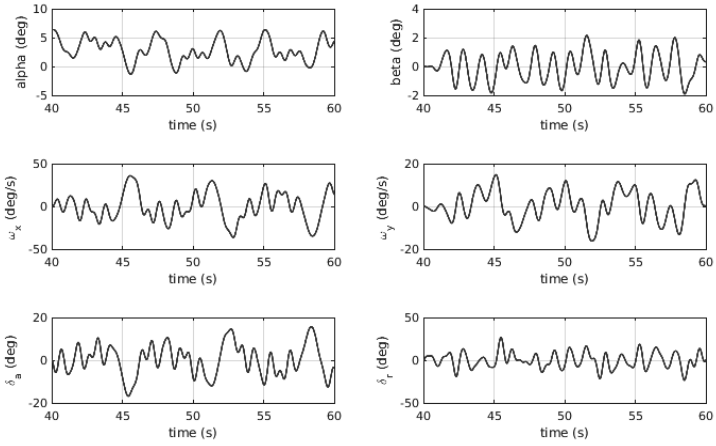


Рисунок 2 – Полетные данные

На рисунке 3 представлены наиболее значимые переменные из описываемого маневра. Видно, что на всех диаграммах переменные принимают значения в широком диапазоне и не связаны линейно, а данные имеют очень малую корреляцию, поэтому зависимости аэродинамики ЛА для переменных могут быть идентифицированы точно и без неоднозначностей. Зависимости для других сигналов состояний ЛА и управлений, используемых для глобального моделирования аэродинамики, подобны изображенным на рисунке 3, что также означает малую корреляцию и широкий диапазон покрытия переменных.

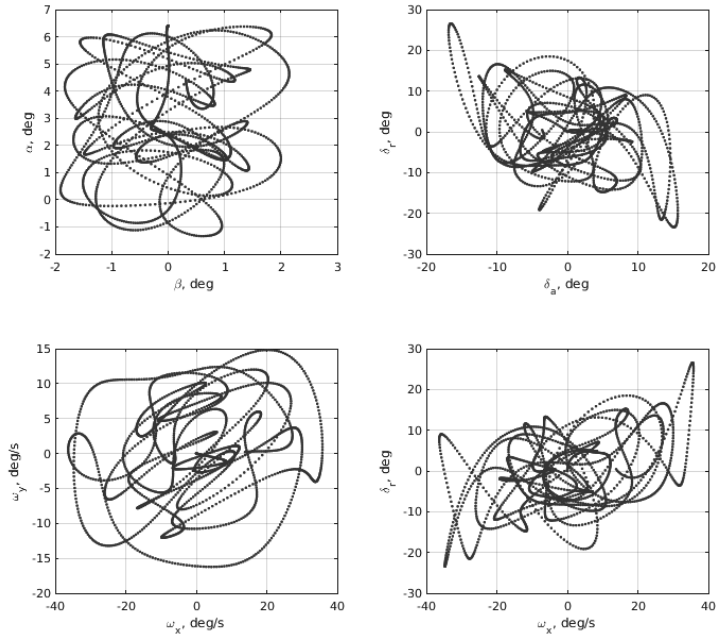


Рисунок 3 – Покрытие области эксплуатационных параметров

Заключение

Представленная модифицированная методика построения тестовых сигналов использована при моделировании движения технологического летательного аппарата. Результаты моделирования продемонстрировали эффективное покрытие области эксплуатационных параметров.

Дальнейшие исследования будут направлены на верификацию предложенной методики с использованием полетных данных и разработку эффективных методов идентификации аэродинамических параметров по результатам летных испытаний, в том числе в реальном масштабе времени.

Список литературы

[1] С. Г. Деришев, Д. С. Деришев, А. Б. Кощеев, А. З. Тарасов. Метод исследования динамики полета и систем управления на динамически подобных летающих моделях // Тр. XVIII Междунар. конф. «Проблемы управления и моделирования в сложных системах». Самара: ООО «Офорт», 2016. С. 396-405.

[2] Ю. Н. Золотухин, А. А. Нестеров. Управление угловым положением летательного аппарата // Автометрия. 2015. **51**, № 5. С. 35-41.

[3] С. А. Белоконь, Ю. Н. Золотухин, А. А. Нестеров. Использование гладких траекторий при планировании маршрутов движения летательного аппарата // Автометрия. 2017. **53**, № 1. С. 3-11.
[4] С. А. Белоконь, Ю. Н. Золотухин, А. А. Нестеров, М.Н. Филиппов. Архитектура комплекса полунатурного моделирования систем автоматического управления летательными аппаратами // Автометрия. 2017. № 4.
[5] Morelli, E. A. Flight Test Experiment Design for Characterizing Stability and Control of Hypersonic Vehicles // AIAA-2008-1682, *U.S. Air Force T&E Days*, Los Angeles, CA, February 2008.
[6] Schroeder, M. R. (1970) Synthesis of Low-Peak-Factor Signals and Binary Sequences with Low Autocorrelation // IEEE Transactions on Information Theory**,** pp. 85-89.
[7] Young, P. and R. J. Patton (1990) Comparison of Test Signals for Aircraft Frequency Domain Identification // Journal of Guidance**,** 13**,** No. 3, pp. 430-438.
[8] Eugene A. Morelli. Multiple input designs for real-time parameter estimation in the frequency domain // 13fh WAC Conference on System Identification August 27-29, 2003 / Rotterdam, The Netherlands.
[9] P. Guillaume, J. Schoukens, R. Pintelon, and I. Kollár. Crest-factor minimization using nonlinear Chebyshev approximation methods // IEEE Trans. Instr. and Meas., vol. 40, pp. 982–989, 1991.
[10] Press, W. H., S. A. Teukolsky, W. T. Vetterling, and B. R Flannery (1992) Numerical Recipes in FORTW: The Art of Scientific Computing**,** 2nd Ed., Cambridge University Press, New York, ***NY,*** Chapter 10.
[11] Jenna Carr. An Introduction to Genetic Algorithms. // Senior Project, pages 1–40, 2014.
[12] Morelli, E. A. Flight Test Maneuver Design for Efficient Aerodynamic Modeling // AIAA-2011-6672, AIAA Atmospheric Flight Mechanics Conference, Portland, OR, August 2011.
[13] Morelli, E. A. Efficient Global Aerodynamic Modeling from Flight Data // AIAA-2012-1050, 50th AIAA Aerospace Sciences Meeting, Nashville, TN, January 2012.

РЕАЛИЗАЦИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ВЕРСИИ МОДУЛЯ АДАПТИВНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ПОЛЕТНЫХ ОПЕРАЦИЙ В СОСТАВЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ПЛАНИРОВАНИЯ РС МКС

А.М. Беляев[1], Г.Д. Соловьева[1], О.И. Лахин[2], Ю.В. Миронов[2]
[1]РКК «Энергия» им. С.П. Королёва
141070, Московская обл., Королёв, ул. Ленина, 4А, Россия
andrey.belyaev@sfoc.ru
тел: +7 (498) 602-95-58
[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; полетные операции; мультиагентные технологии; адаптивное планирование; реальное время; онтология.*

Abstract
The paper presents the implementation of the experimental version of the adaptive planning module of the flight operations for the Russian segment of the International Space Station. The architecture of the experimental version of the adaptive planning module of the flight operations is described, as well as the approach to its creation based on the use of multi-agent technologies and subject ontologies. An algorithm and an example of the work of multi-agent planning of the flight operations are presented.

Введение

Международная космическая станция (МКС) – многоцелевой космический исследовательский комплекс, который совместно используется многими странами мира. Условно, МКС может быть разделена на два сегмента – Российский сегмент МКС (РС МКС) и Американский сегмент МКС (АС МКС) [1].

Одной из основных целей полета МКС является проведение на станции научно-прикладных исследований, требующих наличия необходимых условий космического полета.

Важной задачей является построение планов полетных операций (ПО) на исполнительном уровне, включая программы на экспедиции – номинальный план полета (НПП), укрупнённые недельные планы – общий план сопровождения (ОПС), а также детальные посуточные планы ПО каждого космонавта – план полета (ПП) и детальный план полета (ДПП).

При планировании работ на РС МКС учитывается соблюдение совокупности правил и ограничений, часть из которых формализована в различных документах, содержащих правила и ограничения планирования ПО, а другие существуют только в виде личного опыта и знаний специалистов, участвующих в планировании ПО.

На данный момент формирование планов ПО экипажа специалистами-планировщиками производится в интерактивном режиме средствами автоматизированной системы планирования полетных операций РС МКС (АСП РС МКС).

Поскольку формирование плана проведения ПО, а также динамическое перепланирование – крайне сложные и трудоемкие процессы, требующие соблюдения многих факторов, ограничений и учета уникальных особенностей и свойств каждой ПО, АСП РС МКС была дополнена экспериментальной версией модуля адаптивного планирования (МАП), реализованного на базе мультиагентных технологий и предметных онтологий, позволяющего согласован-

но планировать действия космонавтов за счет эффективного распределения ПО с учетом связей и отношений между элементами плана.

1 Проблемы и особенности планирования ПО

Задача планирования и подготовки расписания ПО, выполняемая космонавтами на РС МКС, характеризуется следующими трудностями:

- постоянное усложнение правил проведения и структуры ПО;
- непрерывное пополнение и актуализация сведений о проведении ПО;
- необходимость проведения анализа возрастающего количества данных;
- увеличение трудоемкости и усложнение учета всех ограничений при планировании ПО;
- необходимость проведения процедур перепланирования в случаях возникновения различных событий и нештатных ситуаций.

Все перечисленные особенности непосредственно влияют на качество плана и увеличивают время его формирования. В некоторых случаях множество связей между ПО и их уникальные особенности приводят к формированию неоптимальных и несогласованных решений и значительных временных разрывов между ПО, что требует постоянного внимания специалистов.

При реализации МАП были учтены следующие требования:

- Децентрализация – исключение из алгоритма планирования «общего командного центра», являющегося узким местом при решении многокритериальных задач. Каждой ПО назначается программный агент, находящийся в процессе коммуникации со множеством подобных себе, но обладающих собственными целями, предпочтениями и ограничениями агентов.
- Распределенность – ПО, представленные агентами, могут функционировать в разных средах, на разных компьютерах, взаимодействуя между собой на основе общих протоколов.
- Параллельное выполнение – как следствие децентрализации, процесс переговоров агентов ПО происходит независимо друг от друга и одновременно.

2 Архитектура МАП

Для повышения эффективности решения задачи планирования ПО разработан МАП, который является частью АСП РС МКС.

МАП на данный момент реализован для планирования ПО в ДПП и ограничен горизонтом в один день.

МАП состоит из следующих подсистем:

- Подсистема интеграции данных – предназначена для загрузки данных о ПО из АСП РС МКС, обработки и адаптации в пригодный для обработки МАП вид и выгрузки построенных планов обратно в АСП РС МКС.
- Подсистема поддержки сцены – реализует механизмы назначения ПО агентам и предварительную бесконфликтную стадию планирования.
- Подсистема работы с расписанием ПО – реализует проверку критериев планирования ПО, поиск вариантов обмена/сдвига между ПО, поиск конфликтующих ПО.
- Мультиагентная платформа планирования – реализует механизмы взаимодействия агентов, экономические отношения, проактивное планирование, общий протокол переговоров агентов.

На рисунке 1 представлена архитектура МАП.

Рисунок 1 – Архитектура модуля адаптивного планирования ПО

Для достижения поставленных целей МАП использует следующие входные данные [2]:

- НПП, ОПС, ПП;
- базу данных ПО;
- компетенции экипажа;
- заявки специалистов и кураторов;
- документы, описывающие правила и ограничения планирования ПО;
- планы, сформированные американскими партнерами;
- результаты анализа стартового расписания и добавление в план дополнительных (с учетом предпочтений пользователей) ПО;
- результаты перепланирования по событиям (добавление или удаление ПО, изменение параметров ПО, изменение критериев) в реальном времени.

Результаты работы МАП передаются в АСП РС МКС для формирования итогового расписания в графическом виде.

На рисунке 2 представлена схема исходных данных, которые обрабатывает МАП.

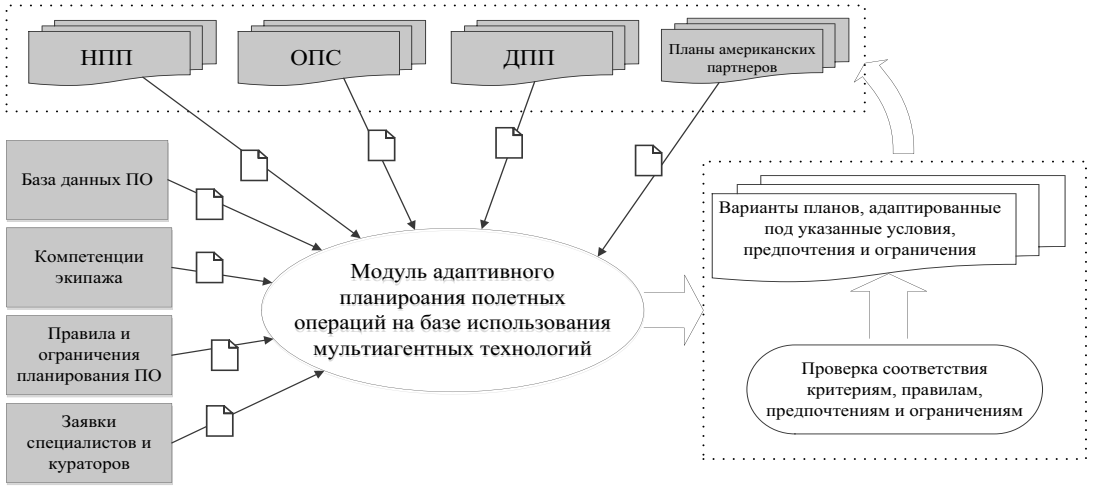


Рисунок 2 – Схема исходных данных и результатов

Использование мультиагентных технологий для разработки МАП обеспечило следующие возможности:

- гибкую настройку МАП с добавлением новых правил и ограничений планирования ПО;
- настройку необходимого поведения МАП с помощью онтологии без перепрограммирования;
- надежность, масштабируемость, автономность МАП.

В МАП реализованы различные типы агентов (ПО, ресурсов, штабной агент). Агенты представляют собой наборы сценариев поведения, которые реализуются в виде микросервисов, позволяющих обрабатывать события и обмениваться сообщениями.

Каждый раз, когда появляется новая ПО, в сцене планирования порождается соответствующий ей агент с особым поведением, отвечающим потребностям и возможностям ПО.

Основной структурной единицей МАП является сцена данных, имитирующая ситуации в реальном мире, включающая в себя начальные данные, расписание и показатели работы МАП.

Сцена реализует семантическую сеть, используемую для планирования. Формирующееся расписание упрощенно можно представить в виде тройки элементов: ПО (задача) – ресурс – слот времени (рисунок 3).

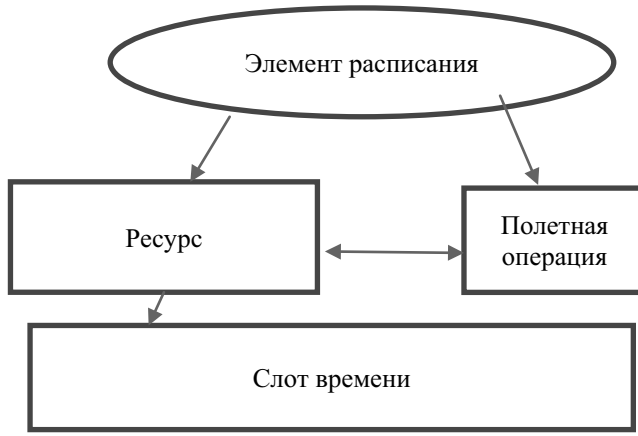


Рисунок 3 – Структура сетевого расписания

Ресурсом в МАП выступает космонавт, средство связи и место проведения.

Ресурс может выполнять несколько ПО, при этом важной особенностью является контроль оставшегося свободного объема ресурса.

При поступлении новой ПО на планирование происходит порождение нового агента, который инициирует переговоры с ресурсами и другими агентами для перестройки расписания.

В ходе переговоров происходит создание копии объектов сцены, которая подвергается изменениям.

Подсчитывая функцию удовлетворенности плана в целом, МАП определяет величину прироста или падения удовлетворенности по отдельным агентам.

Общий пересчет сцены в каждом случае не требуется, так как известны изменяемые объекты, что существенно ускоряет процесс.

После построения и выбора наиболее оптимальных вариантов сцен, с точки зрения оценки функции удовлетворенности плана, выбирается наилучший вариант, наиболее полно удовлетворяющий критериям планирования.

3 Описание ПО и определение функций удовлетворенности

Для формализации базы знаний планирования ПО предлагается использовать шаблон описания ПО [3].

Часть атрибутов шаблона описания ПО заполняется автоматически на основе информации, полученной из АСП РС МКС [4]: сведения о документации с описанием соответствующих ПО, о необходимости выполнения ПО в зоне видимости наземных измерительных пунктов (НИП), о требуемых ресурсах, о работах, несовместимых с данной ПО, о временных связях и других условиях планирования.

Как отмечается в [3], в АСП РС МКС определены следующие атрибуты ПО: наименование ПО; группа принадлежности; фиксированная длительность ПО; исполнители; необходимые каналы НИП; необходимые для выполнения ПО ресурсы, оборудование, S-BD и KU-BD; временные связи; периодичность выполнения ПО; место проведения ПО.

К существующим атрибутам ПО при разработке МАП были добавлены следующие необходимые описания свойств ПО: переменная длительность ПО; компетентность исполнителя; время начала ПО; время окончания ПО; приоритет ПО.

При необходимости атрибуты ПО можно корректировать, а также добавлять новые или удалять устаревшие, для того чтобы учесть уникальность той или иной возникающей ситуации.

Для повышения гибкости и вариативности построения ежедневных планов, МАП учитывает различные критерии планирования.

Критерий планирования представляет собой некоторый весовой коэффициент в общей функции удовлетворенности плана ПО, с помощью которого специалист может получать различные версии планов проведения ПО на одном и том же наборе ПО и других входных данных, приоритезируя различные аспекты деятельности.

На данный момент в МАП реализован учет следующих критериев и ограничений планирования:

- приоритет ПО;
- бортовая система (космический эксперимент);
- длительность выполнения работ;
- ограничения по времени начала и окончания работ;
- перечень членов экипажа;
- компетенции членов экипажа;
- средства связи (НИП, S-Band, KU-Band);
- последовательные связи между ПО.

Для того чтобы осуществлять планирование и гибкое перепланирование по событиям, МАП учитывает особые атрибуты планирования, задавая на них ограничения в виде функции удовлетворенности.

Каждая ПО имеет полное и краткое наименование, а также связана с какой-то бортовой системой или КЭ.

У ПО существует приоритет выполнения от 1 (самый высокий приоритет) до 10 (самый низкий). Расстановка приоритетов зависит от горизонта планирования.

Важным атрибутом полетной операции является длительность, которая может быть фиксированной либо переменной. В случае с фиксированной длительностью пользователь указывает единственное значение, от которого нельзя отклоняться. Отклонение от фиксированной длительности должно восприниматься планировщиком как конфликт. Функция удовлетворенности для такой длительности приведена на рисунке 4.

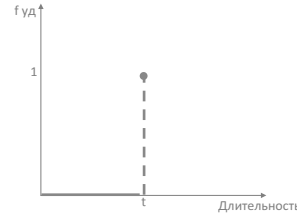


Рисунок 4 – Функция удовлетворенности для фиксированной длительности ПО

В случае с переменной длительностью ПО указываются два значения: минимальная и идеальная длительность. Данные границы обозначают пределы, в которых длительность может отклоняться, что будет восприниматься планировщиком как нормальное поведение. Выход за эти границы также будет восприниматься как критическое состояние, как в случае с фиксированной длительностью. Функция удовлетворенности для переменной длительности представлена на рисунке 5.

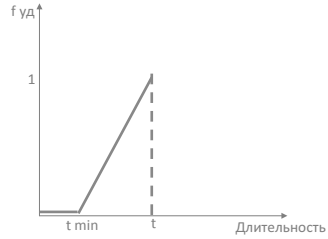


Рисунок 5 – Функция удовлетворенности для переменной длительности

ПО также характеризуется временем начала и временем окончания. Функции удовлетворенности этого параметра описываются аналогичным образом. Время начала/окончания можно задать тремя способами:

- не указывать – в этом случае ПО может планироваться в любое время на горизонте планирования (сейчас это с 6:00 до 21:30);
- указать фиксированное время – как и в случае с фиксированной длительностью, вводится единственное значение времени начала/окончания ПО, отклонение от которого должно восприниматься планировщиком как конфликт. Функция удовлетворенности будет идентична функции для фиксированной длительности (рисунок 4);
- указать переменное время – в этом случае указывается некоторый интервал времени начала/окончания, попадание в который воспринимается как равно удовлетворительное. Выход за эти границы также будет восприниматься как критическое состояние, как в случае с фиксированным временем начала/окончания. Функция удовлетворенности приведена на рисунке 6.

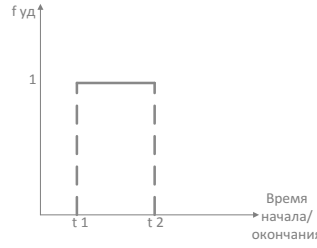


Рисунок 6 – Функция удовлетворенности для переменного времени начала/окончания

Для выполнения ПО требуются члены экипажа. Привязка к космонавтам может быть жестко зафиксированной на члена экипажа или ПО может выполнить любой космонавт. В случае с жесткой привязкой ПО должна планироваться на конкретно указанных космонавтов на указанное дополнительно время. Например, ПО, длительностью 20 мин выполняют 2 члена экипажа: БИ2 и БИ4, БИ2 выполняет ее 20 мин, а БИ4 –10 мин., начиная с 11-й мин.

Если для ПО не важны конкретные космонавты, вводится понятие компетенций членов экипажа. Предлагается четыре категории: специалист, пользователь, оператор, не имеет допуска. Если один из членов экипажа указан конкретно, а другой нет, компетенция учитывается для неуказанного космонавта. При отсутствии дополнительных условий планировщик должен попытаться запланировать ПО на самого квалифицированного космонавта. Компетенции напрямую связаны с бортовыми системами и КЭ, упоминавшимися ранее.

Средства связи, выступающие в роли ресурсов: НИП, S-band, KU-band.

Для НИП-ов выбирается, какой ресурс конкретно нужно задействовать и на какое время. Временные рамки задаются жестко, отклонение приводит к конфликту.

В случае с S- и KU-band сначала выбирается, будут задействованы оба технических средства или только одно. Длительность использования технического средства не всегда совпадает с длительностью ПО, поэтому если длительность хотя бы одного сеанса (ресурса) меньше длительности ПО, длительность ПО становится фиксированной автоматически. Ресурс может прерываться максимум на 20% внутри ПО. Если длительность ПО переменная и по каким-то причинам сократилась, ресурс может прерваться на 20% относительно новой длительности ПО.

Для ПО указывается место ее проведения: модуль и панель. Проведение нескольких ПО в одном месте одновременно недопустимо.

Ведется учет следующих видов связей относительно границ, связанных с ПО: начало-начало; конец-начало; начало-конец; конец-конец. Указываются минимум, максимум и идеальное (желаемое) значение интервала между ПО.

Некоторые ПО могут быть несовместимы, пользователь, зная об этом заранее, может указать данные ПО при описании.

Для каждой ПО определяется общая функция удовлетворенности путем сложения функций удовлетворенности по разным параметрам с различными весовыми коэффициентами, которые настраиваются в зависимости от текущих приоритетов и различных полетных ситуаций.

Общая удовлетворенность всего плана ПО будет находиться как сумма удовлетворенностей всех ПО.

4 Реализация метода планирования МАП и пример работы

Основные этапы работы метода планирования ПО представлены на рисунке 7.

В качестве примера, иллюстрирующего работу мультиагентного алгоритма планирования ПО, рассмотрим фрагмент расписания, полученного из АСП РС МКС.

Подсистема интеграции данных, после загрузки ПО, телеметрических данных, правил и ограничений планирования, проводит анализ и классификацию для последующего сопоставления данным агентов на основе шаблонов ПО и формирует сцену.

Сформированная сцена содержит все необходимые оперативные данные, а также поддерживает начальное размещение ПО.

Штабной агент выявляет необходимость корректировки положения агента ПО «Сеанс связи», в связи с тем, что баллистические данные были изменены и произошло смещение доступности зоны видимости средства связи, которое необходимо для проведения ПО «Сеанс связи».

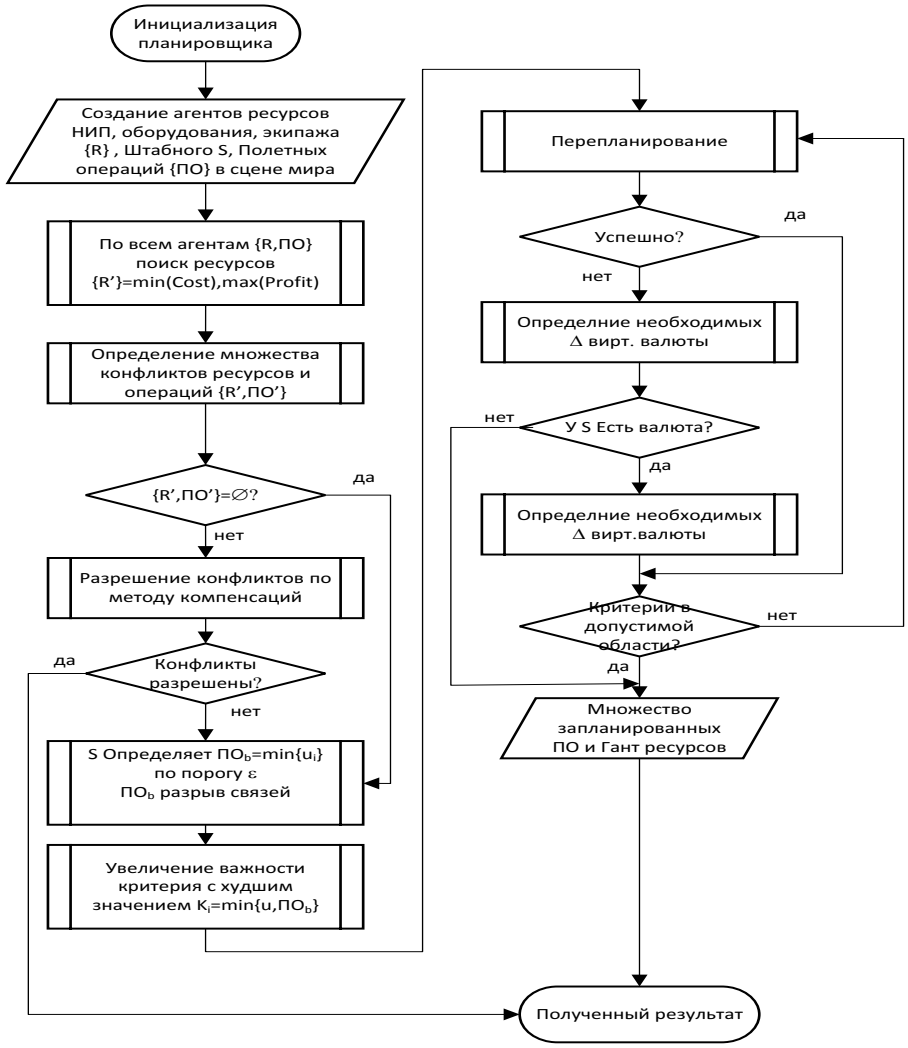


Рисунок 7 – Основные этапы работы метода планирования

На рисунке 8 показана ситуация, когда исходное расписание признано неудовлетворительным, так как одной из ПО необходимо изменить положение. Такое размещение ПО вызывает конфликт, который должен быть разрешен путем переговоров между агентами ПО.

Перепланирование в МАП выполняется следующим образом:

Агент ПО «Сеанс связи» выясняет ближайшее подходящее положение, при котором функция удовлетворенности агента примет значение близкое к единице или равное ему.

Так как самая выгодная позиция для агента ПО «Сеанс связи» занята, агенты начинают переговоры, целью которых является выяснение возможности смещения агента ПО «Редактирование IMS» и урегулирование конфликта.

Так как агент ПО «Редактирование IMS» может быть сдвинут вправо без особого ухудшения значения целевой функции, происходит его смещение в плане на интервал времени, минимально необходимый для размещения агента ПО «Сеанс связи».

Данное изменение расписания влечет за собой цепочку переговоров между агентами ПО, в результате чего самая низкоприоритетная ПО «TO WRS» будет вытеснена из расписания.

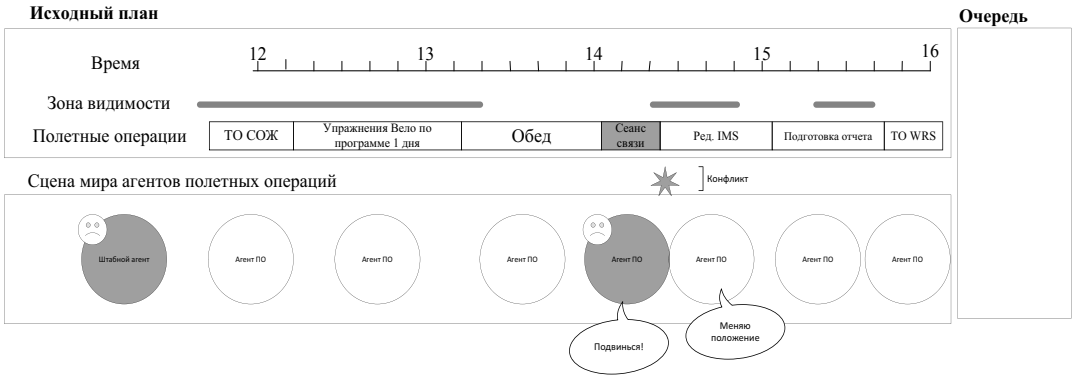


Рисунок 8 – Анализ исходного расписания

На рисунке 9 показан полученный план, который также не может быть принят как оптимальный.

После каждой итерации перепланирования штабной агент пересчитывает общую функцию удовлетворенности плана, в результате чего выясняет, что один из агентов ПО не запланирован и в расписании образовалось свободное место.

Анализируя размещение агентов ПО, которые расположены до освободившегося места в плане и выясняя значения их функций удовлетворенности, штабной агент приходит к выводу, что их местоположение менять не нужно. При этом выясняется, что агент ПО «ТО WRS» может занять свободное место в плане, не нарушая свои собственные ограничения планирования и не затрагивая ранее распределенные ПО.

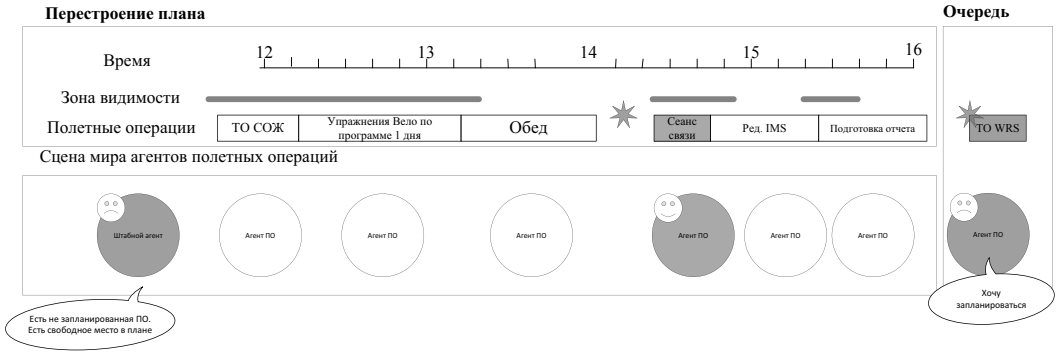


Рисунок 9 – Перестроение расписания

На рисунке 10 показано финальное расписание, где каждая ПО размещена в плане.

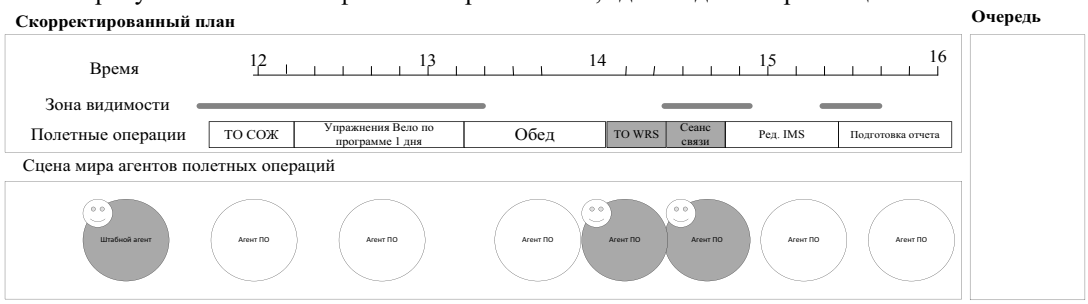


Рисунок 10 – Финальная версия плана

При этом агенты ПО уже не имеют вариантов для улучшения своего местоположения. Таким образом, достигается построение согласованного плана без конфликтов между ПО и разрывов в расписании.

Заключение

В данной статье рассмотрена реализация экспериментальной версии модуля адаптивного планирования полетных операций для Российского сегмента Международной космической станции. Использование МАП позволит обеспечить следующие преимущества:

- поддерживается высокая гибкость планирования;
- перепланирование осуществляется в реальном времени по событиям;
- уменьшается зависимость качества планирования от человеческого фактора;
- автоматизирует контроль качества планирования.
- по мере работы создается платформа для дальнейшего наращивания сложности планирования за счет введения новых агентов ПО, их критериев и ограничений.

В дальнейшем, для наращивания возможностей МАП необходимо развивать онтологическое описание ПО, позволяющее учитывать основные критерии, предпочтения и ограничения.

МАП обеспечивает учет максимально возможного числа факторов для поддержки необходимого суб-оптимального планирования с возможностью дальнейшего расширения и изменения онтологии ПО при адаптации к постоянно меняющимся условиям.

Дальнейшее развитее МАП включает улучшение мультиагентного взаимодействия, чтобы иметь возможность быстрее реагировать на непредвиденные события и нештатные ситуации и увеличить горизонт планирования.

Разработанная МАП проходит апробацию в ПАО «РКК «Энергия». Дальнейшее использование МАП позволит перераспределить время работы специалистов группы планирования на подготовку исходных данных и описание особенностей текущих ситуаций, сократив затрачиваемое время непосредственно на формирования планов ПО.

Список литературы

[1] Соловьёв В.А., Лысенко Л.Н., Любинский В.Е. Управление космическими полётами. Ч. 1-М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009. – 476 с.

[2] Станиловская В.И. Концепция планирования на МКС// Труды XXXIV чтений К.Э. Циолковского. – Казань, 2001. – С. 124-127.

[3] Станиловская В.И., Беляев А.М., Лахин О.И., Носкова А.И., Иванова Д.Н. Подход к адаптивному планированию полетных операций российского сегмента международной космической станции на основе мультиагентных технологий // Труды XVII Международной конференции “Проблемы управления и моделирования в сложных системах”, Самара, 22-25 июня 2015 г. – Самара: СНЦ РАН, 2015. – С. 147-157.

[4] Колокольцева О.М., Беляев А.М., Козлечков А.Г., Будникова Т.С., Станиловская В.И., Потоцкий С.И. Автоматизированная система планирования полета российского сегмента международной космической станции // Программные продукты и системы. – 2013. – № 3. – С. 48-54.

СТАТИСТИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ В ЭВРИСТИЧЕСКОЙ САМООРГАНИЗАЦИИ

Воронов Е.М.[1], Крыжановская Т.Г.[2], Варакушин С.А.[2], Селезнев А.А.[2]

[1]МГТУ им.Н.Э.Баумана,
[2]Московский политехнический университет
107023, Москва, ул. Б.Семеновская, д.38
tgpoliteh@yandex.ru

Ключевые слова: *моделирование, статистические решения, классификация, эвристическая самоорганизация.*

Abstract
Several algorithms of identification describing difficult objects or control systems, classification of statistical decisions on the increasing indeterminacy degree, and also effective use of heuristic self-organization for definition of model of optimal structure are given in article.

Введение

Процесс разработки системы управления начинается с создания конструктором концептуальной модели этой системы, при этом ключевая информация при решении задач анализа, синтеза и оптимизации САУ сосредоточена в математической модели (ММ) объекта управления[1].

Объекты могут представлять механические, электрические, гидравлические и комбинированные системы, поэтому для их описания используют физические законы. Однако существует достаточно много сложных объектов, для которых протекающие физические процессы мало изучены, а значит, применение фундаментальных законов физики для построения ММ неэффективно. В этом случае проблема построения ММ относится к проблеме идентификации математических моделей объектов управления.

Классическое определение идентификации дал американский ученый Л.Заде в 1962 г.: «Идентификация состоит в отыскании по входным и выходным сигналам некоторой системы эквивалентной ей системы из некоторого заданного класса». Существует достаточно много методов и алгоритмов идентификации. Обоснованность применения того или иного алгоритма должна вытекать из анализа и постановки конкретной задачи построения математической модели объекта.

Например, теория статистических решений развивалась по двум направлениям: так называемый «классический» подход связан с именами известных статистиков Дж.Неймана и Е.С.Пирсона и второе байесовское направление. В результате анализа неопределенности статистических решений можно выделить несколько ситуаций, отличающихся по степени неопределенности (среды или активного партнера). Классификация степени неопределенности имеет пять информационных ситуаций и приведена ниже с учетом нарастания степени неопределенности [2] .

Первая информационная ситуация. Полностью известно статистическое описание среды. Основным является критерий Байеса:

$$\max_{x_i} I_i = \max_{x_i} \sum_{j=1}^{m} p_j a_{ij}$$

где все a_{ij} – эффективность, которой соответствует состояние среды (x_{ij}, y_i).

Вторая информационная ситуация. Присутствуют неопределенные факторы $\omega = (\omega_1 K \omega_L)$ – их нужно найти, чтобы оценить вероятность $P(\omega) = [P_1(\omega) K P_m(\omega)]$.

С точки зрения статистических решений применяется метод максимального правдоподобия.

$L(\omega) = \Pi\, P_j(\omega)$ – функция правдоподобия.

Прологарифмировав ее, получим:

$$\left\{ \sum_{j=1}^{m} \frac{\partial \ln P_j(\omega)}{\partial \omega_q} = 0, \qquad q = 1, K, L \right\}$$

– необходимое условие экстремума по каждому скаляру.

Это система для определения $\bar{\omega}$, подставив которую, переходим к первой информационной ситуации.

Третья информационная ситуация. Известно соотношение порядка по компонентам, например:

$p_1 > p_2 > \ldots > p_m > 0$

$p_j = p_{j+1} + \ldots + p_m \qquad j = 1,m$

$\alpha_j < p_j < \alpha_j + \varepsilon_j,\ \varepsilon_j > 0 \qquad j = 1,m$

В рамках теории статистических решений существует два подхода:

а) получение функции правдоподобия и нахождение вероятности непосредственно $L = p_1^m p_2^{m-1} K p_m$

Максимизируя полученное L, получим вероятности.

б) Применения метода районирования Динера, основанного на принципе инвариантного вложения (Колесник). Районирование – разбиение симплекса G на подмножества, в каждом из которых оптимально одно из решений X. Районирование – решение задачи, обратной задаче параметрического программирования.

Четвертая информационная ситуация. Никакой информации о векторе $[\boldsymbol{P = P_1 K P_m}]$ нет. Состояние среды является статистически устойчивым. Наиболее рациональным является принятие гипотезы о значении этих вероятностей.

Самой простой является гипотеза Лапласа: если факторы неопределенные и равнозначимые, то можно считать: $p_j = 1/m$, $j = 1, \ldots m$.

$$\max H_p = \max \left[-\sum_{j=1}^{m} p_j \ln p_j \right]$$

$H(p) = \sum_{j=1}^{m} p_j \ln p_j$ – функция энтропии (мера неопределенности).

Критерий Джексона – выбор вероятности P из условий максимума неопределенности.

Пятая информационная ситуация. Отсутствует информация о P. Неизвестно также то, является ли состояние среды статически устойчивым, имеют ли они законы распределения. В этой ситуации в теории статистических решений оформилось применение антагонистического подхода, когда среде присваивают свойство антагонизма решений X_i.

Естественно использовать критерий Вальда:

$$\max_i \min_j a_{ij} \rightarrow X_{i\,opt}$$

Или критерий Сэвиджа

$$\min_i \max_j r_{ij}$$

$$r_{ij} = \max_i a_{ij} - a \quad ij$$

Рассмотрим пятую информационную ситуацию.

Неантагонистический подход описывается в общем случае критерием Гурвинца:

$$\max\left[\alpha \ \min_j a_{ij} + (1-\alpha)\max_j a_{ij}\right], 0 \leq \ \alpha \leq 1$$

В критерии Гурвинца заложен весь диапазон конфликтности: от антагонизма через несогласованность к полной согласованности.

$\max_i \min_j a_{ij} = \ \alpha \ \Rightarrow X_{i\ opt}$ – гарантирующее решение**, α** – нижняя цена игры.

$\min_j \max_i a_{ij} = \ \beta \ \Rightarrow I_{j\ opt}$ – гарантирующая стратегия игры.

Максиминимальный критерий дает гарантированное значение не меньше **α** стороне, принимающей решение. Минимаксимальный критерий дает решение, обеспечивающее проигрыш не больше, чем **β**.

Хорошим свойством задачи в условиях антагонизма является наличие равновесия **α = β.** Тогда имеет место устойчивость к изменению X_i, Y_jпри дополнительной информации. Достаточно решить задачу по одному из критериев. Всегда выполняется соотношение $\boldsymbol{\alpha \leq \ \beta}$**.**

Пример

$$-\max_i \min_j \quad \rightarrow X_{3\ opt}$$

$$\max_i \min_j \ = \min_i \max_j \ = 3$$

	Y1	Y2	Y3	
X1	2	-3	4	-3
X2	-3	4	-5	-5
X3	3	5	6	3
	3	5	6	

Оптимальная пара **(X_3, Y_1).** Имеет место ситуация равновесия и устойчивость к информации.

Если учесть сетку значений a_{ij} на X, Y, то в окрестности равновесия будем иметь седловую точку.

Если равновесия нет, то можно расширить понятие решения. Это новое решение имеет следующий вид: рассмотрим не чистые стратегии **X**, а вектор **X = (X_1… X_n)** со своими вероятностными весами **(q_1…q_m),** $\boldsymbol{\sum q_i = 1}$. Аналогично и для противоположной стороны **Y = (Y_1…Y_m)** с весами **(p_1…p_m)**. Доказано, что на таких смешанных стратегиях всегда имеет место равновесие, т.е.

$$\max_Q \min_P W(Q,P) = \min_Q \max_P W(P,Q) = v$$

$$W = \sum_{ij} p_j q_i a_{ij}$$

P = (p_1 K p_m)

Q = (q_1 K q_m)

С учетом приведенной выше классификации теория эвристической самоорганизации реализует первые две информационные ситуации степени неопределенности.

1 Метод группового учета аргументов

Метод Группового Учета Аргументов, МГУА (Group Method of Data Handling, GMDH) теории эвристической самоорганизации [3] является методом структурной идентификации по экспериментальным данным, получил развитие в двух направлениях: регрессионном и байесовском. Алгоритмы МГУА расширяют существующие возможности применения регрессионного моделирования и распознавания образов в соответствии с принципами внешнего дополнения и самоорганизации. По классификации степени неопределенности МГУА работает в первом (функция Байеса) и втором (находятся наилучшие правдоподобные решения) классах. Автор этого метода А. Г. Ивахненко пишет: «Осуществляется целенаправленный перебор многих моделей-претендентов различной сложности по ряду критериев. В результате находится модель оптимальной структуры в виде одного уравнения или системы уравнений. Минимум критерия селекции определяет модель оптимальной структуры».

Рассмотрим технологию МГУА [4] на примере работы многорядного алгоритма принятия решения для формулы Байеса из теории статистических решений:

$$(1)\quad p(d_j) = \sum_i P(R_i) \times L[R_i, d_j(X_1, X_2 ..., X_n)] \times P(X_1, X_2 ..., X_n / R_i)$$

где d_j– решение в пользу j-го класса; R_i-класс распознавания (где i=1,2);$P(R_i)$ – априорная вероятность класса; X_1, X_2,…,X_n-дискретные аргументы (где X_i=1,2,…,q, где q – число уровней дискретизации); $P(X_1, X_2,…,X_n/R_i)$– экспериментальная матрица, представляющая собой вероятностные распределения по классам; $L[R_i,d_j(X_1, X_2,…,X_n)]$ – матрица потерь.

Возможность преобразования к многорядному представлению функции, заданной выражением (1), заключается прежде всего в наличии сомножителя $P(X_1,X_2,…,X_n/R_i)$. Заменяя полное описание (1) системой «частных» описаний, составленных для всевозможных пар аргументов, в первом ряду селекции получим следующие выражения:

$$p_{12}(d_j) = \sum_i P(R_i) \times L[R_i, d_j(X_1, X_2)] \times P(X_1, X_2 / R_i)$$

$$p_{13}(d_j) = \sum_i P(R_i) \times L[R_i, d_j(X_1, X_3)] \times P(X_1, X_3 / R_i)$$

$$(2)\quad \ldots$$

$$p_{1m}(d_j) = \sum_i P(R_i) \times L[R_i, d_j(X_1, X_{1m})] \times P(X_1, X_{1m} / R_i)$$

$$\ldots$$

$$p_{n=1,n}(d_j) = \sum_i P(R_i) \times L[R_i, d_j(X_{n-1}, X_n)] \times P(X_{n-1}, X_n / R_i)$$

Лучшие решения, отобранные из всех решений системы (2) на первом ряду селекции, принимаются в качестве аргументов второго ряда; лучшие решения, отобранные на втором ряду – в качестве аргументов для третьего ряда селекции и т.д. Таким образом реализуется многорядная вероятность модель принятия решения с иерархической структурой – для принятия решения предыдущего ряда.

В рассмотренном алгоритме решение о классе R_i, к которому следует относить пару дискретных переменных a_1a_m К-го ряда селекции, принимается по минимуму риска,

$$d = arg\,min_{d_j}\ p^k(d_j) = arg\,min_{d_j} \times$$

$$\times \left\{ \sum_i\ P(R_i) \times L[R_i, d_i(a_l^k, a_m^k)] \times P(a_l^k, a_m^k / R_i) \right\},$$

определяемому на отдельной проверочной последовательности данных. Как видно из выражения (3), адаптация (изменение) матрицы потерь L[•] позволяет ускорить процесс достижения максимальной точности принятия решений по малому числу рядов селекции.

С помощью математической модели осуществляется прогноз состояния системы на некотором интервале времени, который выбирается из практических соображений в соответствии с режимом функционирования объекта [4].

2 Нейросетевое моделирование

Алгоритмы МГУА воспроизводят схему массовой селекции. В них есть генераторы усложняющихся из ряда в ряд комбинаций и пороговые самоотборы лучших из них. Эти принципы используются в следующих нейросетевых структурах.

2.1. Перцептроны (однослойные и многослойные) представляют собой простейшую систему, демонстрирующую принципы самоорганизации, дополнения и неокончательности решений (многорядности) [3]. В каждом ряду перцептрона отбирается не единственное наилучшее решение (как это рекомендует теория статистических решений), а некоторый процент (20…40%) наиболее правдоподобных решений. И только в последнем ряду принимается окончательное единственное решение.

2.2. Полиномиальная нейронная сеть по архитектуре МГУА.

Задача аппроксимации функции заключается в определении по экспериментальным данным функции, наилучшим образом приближающейся к неизвестной и удовлетворяющей определенным критериям. Эта задача актуальна при моделировании сложных динамических систем, при решении многочисленных инженерных и научных задач моделирования. Одной из таких задач является аппроксимация (подгонка) выборки входного сигнала полиномом.

В нейропакете Neural Network Toolbox for Matlab для решения аппроксимации функции можно использовать обобщенно-регрессионную нейронную сеть, сеть с радиальными базисными элементами и линейную НС [5]. Результаты эксперимента показали, что при использовании сетей с радиальными базисными элементами качество аппроксимации улучшено, а при использовании линейных НС результаты моделирования почти такие же. Однако качество аппроксимации может быть улучшено при использовании альтернативной полиномиальной сети из пакета NeuroShell2, включающие в себя мощную архитектуру МГУА – метод порождения и выбора регрессионных моделей оптимальной сложности. Согласно этим принципам, входные данные делятся на обучающую и проверочную последовательности, а качество, то есть точность, проверяется на отдельной проверочной последовательности данных.

Заключение

В статье приведен анализ статистических решений с учетом информационных ситуаций при нарастании степени нелинейности и на примере метода МГУА [3] показано эффективное использование селекционного процесса самоорганизации для определения модели оптимальной структуры [4].

Список литературы

[1] Пупков К.А., Серов В.А. Автоматизированная разработка систем управления: Учебное пособие по курсу «Моделирование и испытания систем управления». Ч. 2. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2000.-52с.

[2] Воронов Е.М. «Методы оптимизации управления многообъектными, многокритериальными системами на основе разработки и модификации стабильно-эффективных игровых решений и компромиссов. - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2000.-650 с.

[3] Ивахненко А.Г. «Теория эвристической самоорганизации».-Киев: Техника, 1978.-377 с.
[4] Крыжановская Т.Г. «Математическая модель на основе самоорганизации для управления процессом термообработки шинного корда». – канд. диссертация по специальности 05.13.07 – Автоматизация технологических процессов и производств. – Киев, 1990г.
[5] Медведев В.С., Потемкин В.Г. Нейронные сети. MATLAB 6/ Под общ. ред. к.т.н. В.Г. Потемкина. - М.: ДИАЛОГ – МИФИ, 2002.-496 с.

АДАПТАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ ТРЕХКАНАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ СТАБИЛИЗАЦИИ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

Е.М. Воронов[1], В.А. Серов[2], М.А. Клишин[2], К.К. Любавский[1]

[1]МГТУ им. Н.Э. Баумана
105005, Москва, 2-я Бауманская ул., 5, Россия
wichmasterr@yandex.ru
тел: +7 (499) 263-6391, факс: +7 (499) 267-4844

[2]Московский технологический университет (МИРЭА),
119415, Москва, пр. Вернадского, 78, Россия
ser_off@inbox.ru
тел: +7 (499) 215-65-65

Ключевые слова: *многокритериальная оптимизация, система стабилизации, беспилотный летательный аппарат, генетический алгоритм, показатели эффективности, равновесие Нэша, равновесно-арбитражная балансировка, многомерная интерполяция*

Abstract
Multiobjective optimal solutions determining problem considered at this report at complicated structure UAV stabilization system with cross connections between channels. Equilibrial artibtrage balancing approach is developed for extended parameter vector systems with GA technologies application defined efficiency criterions with operability domain search auxiliary task resolution.

Введение

В данной работе анализируется динамика структурно-сложной трехканальной системы стабилазации (ССт) летательного аппарата (ЛА) с перекрестными связями на зоне применимости в координатах «Высота – Число Маха» (рисунок 1). Проводится многокритериальная оптимизация расширенного вектора параметров системы: $K_{\omega\text{-}z}$, K_{ny}, K_{sny}, $K_{\omega\text{-}y}$, K_{nz}, K_{snz}, $K_{\omega\text{-}x}$, K_{γ}, $K_{s\gamma}$, с учетом принятых требований, предъявляемых к подобному классу систем (устойчивости, демпфирования колебаний, требуемых статической точности и времени переходного процесса). По ходу формирования критериев эффективности решается вспомогательная задача построения рабочей области варьируемых параметров. Для решения исходной задачи в условиях нелинейности исследуемой системы, размерности оптимизируемого вектора и невыпуклости показателей используются эволюционные вычислительные алгоритмы.

1 Модель трехканальной ССт

Структурная схема ССт ЛА представлена на рисунке 2. Модель ССт включает в себя три канала: продольный, боновой, крена.

На схеме:

- $W_{РП}$ - передаточная функция рулевого привода;
- $\delta_в$, $\delta_н$, $\delta_э$ - углы отклонения рулей высоты, рулей направления и элеронов;
- $\mathbf{V}=[V_x,V_y,V_z]^T$- вектор скорости в связанной системы координат;
- $\mathbf{n}=[n_y, n_z]^T$ - вектор перегрузок в продольном и боковом каналах ЛА;
- $\omega=[\omega_x, \omega_y, \omega_z]$- вектор угловых скоростей ЛА;
- ϑ,ψ,γ - углы тангажа, рыскания, крена.

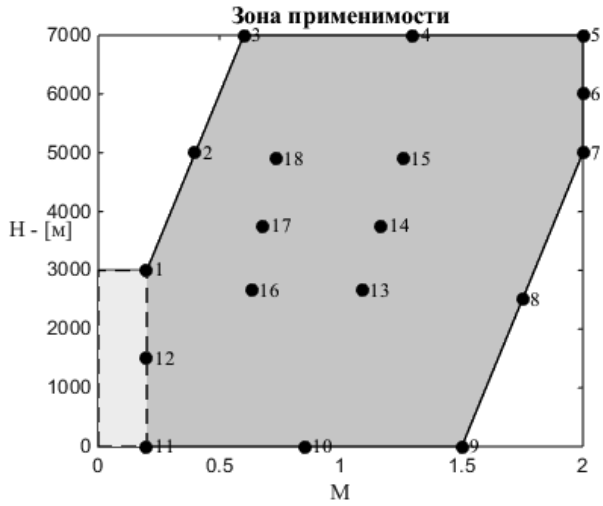


Рисунок 1 – Зона применимости ЛА

Сигналами управления для продольного и бокового канала являются перегрузка продольного и бокового канала соответственно. Сигнал управления для канала крена – угол крена.

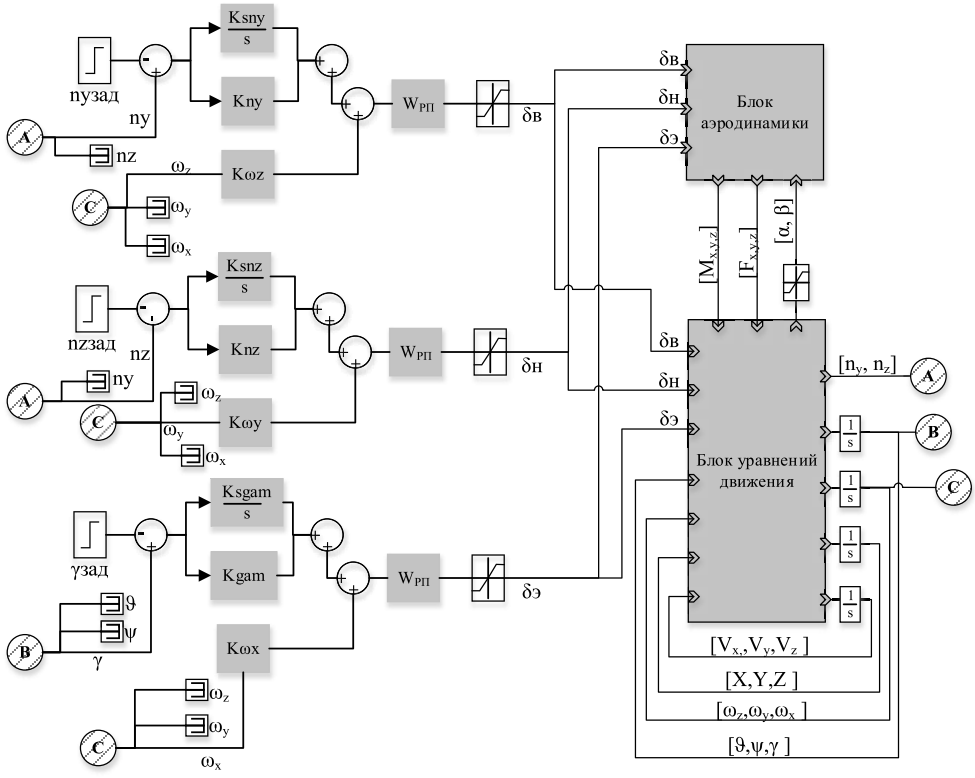


Рисунок 2 – Структурная схема ССт ЛА

ССт в каждом канале замыкается двумя обратными связями. Продольный и боковой канал замыкаются по перегрузке и угловой скорости, канал крена – по углу крена и угловой скорости. Между каналами действуют *перекрестные связи* формируемые блоком уравнений движения.

Каналы стабилизации формируют сигналы на отклонение рулей. Выходными сигналами рулевых приводов являются отклонение руля высоты, руля направления и элеронов. Сигналы отклонения рулей необходимы для расчета аэродинамики летательного аппарата.

Блок уравнений движения [2] осуществляет интегрирование системы уравнений движения летательного аппарата, которая имеет следующий вид:

1) Уравнения динамики:

$$\begin{cases} \dot{V}_x = g\cdot(n_x - \sin\vartheta) - (V_z\cdot\omega_y - V_y\cdot\omega_z); \\ \dot{V}_y = g\cdot(n_y - \cos\gamma\cdot\cos\vartheta) - (V_x\cdot\omega_z - V_z\cdot\omega_x); \\ \dot{V}_z = g\cdot(n_z + \cos\vartheta\cdot\sin\gamma) - (V_y\cdot\omega_x - V_x\cdot\omega_y); \\ \dot{\omega}_x = \dfrac{M_x - (J_z - J_y)\cdot\omega_z\cdot\omega_y}{J_x}; \\ \dot{\omega}_y = \dfrac{M_y - (J_x - J_z)\cdot\omega_x\cdot\omega_z}{J_y}; \\ \dot{\omega}_z = \dfrac{M_z - (J_y - J_x)\cdot\omega_y\cdot\omega_x}{J_z}; \end{cases}$$

2) Уравнения кинематики:

$$\begin{cases} \dot{\vartheta} = \omega_y\cdot\sin\gamma + \omega_z\cdot\cos\gamma; \\ \dot{\psi} = \dfrac{\omega_y\cdot\cos\gamma - \omega_z\cdot\sin\gamma}{\cos\vartheta}; \\ \dot{\gamma} = \omega_x - \dfrac{\omega_y\cdot\cos\gamma - \omega_z\cdot\sin\gamma}{\cos\vartheta}\cdot\sin\vartheta; \end{cases}$$

$$\begin{cases} \dot{X} = \sqrt{V_x^2 + V_y^2 + V_z^2}\cdot\cos\Theta\cdot\cos\Psi; \\ \dot{Y} = \sqrt{V_x^2 + V_y^2 + V_z^2}\cdot\sin\Theta; \\ \dot{Z} = -\sqrt{V_x^2 + V_y^2 + V_z^2}\cdot\cos\Theta\cdot\sin\Psi. \end{cases}$$

2 Многокритериальная оптимизация. Структура равновесно-арбитражного алгоритма

В данной работе представленная модель системы исследуется в режиме стабилизации - в котором основной задачей является парирование внешних возмущений и обеспечение заданных углового положения или угловых скоростей ЛА.[3] Эффективность функционирования каждого канала ССт оценивается векторным показателем эффективности, учитывающим статическую точность, колебательность, быстродействие, устойчивость [4].

Критерий статической точности. Показатели статической точности формируются как минимальные значения установившихся квадратичных невязок между установившимися и требуемыми значениями по управляющим параметрам канала:

$$J_{1\vartheta} = \left(\varepsilon_{\text{ст}\,nz} - \varepsilon_{\text{ст треб}\,nz}\right)^2 \to \min;$$

$$J_{1\psi} = \left(\varepsilon_{\text{ст}\,ny} - \varepsilon_{\text{ст треб}\,ny}\right)^2 \to \min;$$

$$J_{1\gamma} = \left(\varepsilon_{\text{ст}\,\gamma} - \varepsilon_{\text{ст треб}\,\gamma}\right)^2 \to \min.$$

Критерий колебательности ССт. Демпфирующие свойства автоматической системы оцениваются известной величиной перерегулирования σ, которое представляет собой нормированное динамическое отклонение регулируемой величины:

$$\sigma = \frac{n_{\max} - n_{\text{уст}}}{n_{\text{уст}}} \cdot 100\%; \quad \sigma = \frac{\gamma_{\max} - \gamma_{\text{уст}}}{\gamma_{\text{уст}}} \cdot 100\%.$$

Перерегулирование содержит информацию об амплитуде колебаний в системе. Для оценки их частоты используется степень колебательности η, которая имеет смысл числа колебаний (точек, в которых производная равна нулю) за время переходного процесса.

Таким образом, в общем случае исследования ССт критерии колебательности формируются в следующем виде:

$$J_{2\vartheta} = \left(\sigma_{nz} - \sigma_{\text{треб}\,nz}\right)^2 + \left(\eta_{nz} - \eta_{\text{треб}\,nz}\right)^2 \to \min;$$

$$J_{2\psi} = \left(\sigma_{ny} - \sigma_{\text{треб}\,ny}\right)^2 + \left(\eta_{ny} - \eta_{\text{треб}\,ny}\right)^2 \to \min;$$

$$J_{2\gamma} = \left(\sigma_{\gamma} - \sigma_{\text{треб}\,\gamma}\right)^2 + \left(\eta_{\gamma} - \eta_{\text{треб}\,\gamma}\right)^2 \to \min.$$

Критерий быстродействия системы стабилизации. Временем регулирования $t_{\text{р}}$ называется минимальное время, по истечении которого (с момента подачи ступенчатого воздействия) отклонение выходной величины от установившегося значения не превышает некоторой заданной величины $\Delta.$:

$$t_{\text{р}} = \min_{T_{\text{р}}} \left\{ T_{\text{р}} : \left| h(t) - h(\infty) \right| \le \Delta,\ t \ge T_{\text{р}} \right\}.$$

где $t_{n\,\text{треб}}$ сформировано в соответствии с результатами моделирования на множестве управляемых параметров.

$$J_{3\vartheta} = \left(t_{nz} - t_{n\,\text{треб}\,nz}\right)^2 \to \min;$$

$$J_{3\psi} = \left(t_{ny} - t_{n\,\text{треб}\,ny}\right)^2 \to \min;$$

$$J_{3\gamma} = \left(t_{n\gamma} - t_{n\,\text{треб}\,n\gamma}\right)^2 \to \min,$$

Критерий устойчивости. Показатели устойчивости формируем в виде квадратичных невязок управляющих параметров каналов относительно требуемых величин, определенных как середины интервалов, рассчитанных с помощью алгоритма построения рабочей области варьируемых параметров адаптации:

$$J_{4\vartheta} = \left(K_{\omega}^{z} - K_{\omega\ \text{треб}}^{z}\right)^2 + \left(K_{n}^{y} - K_{n\ \text{треб}}^{y}\right)^2 + \left(K_{sn}^{y} - K_{n\ \text{треб}}^{y}\right)^2 \to \min;$$

$$J_{4\psi} = \left(K_{\omega}^{y} - K_{\omega\ \text{треб}}^{y}\right)^2 + \left(K_{n}^{z} - K_{n\ \text{треб}}^{z}\right)^2 + \left(K_{sn}^{z} - K_{n\ \text{треб}}^{z}\right)^2 \to \min;$$

$$J_{4\gamma} = \left(K_{\omega}^{x} - K_{\omega\ \text{треб}}^{x}\right)^2 + \left(K_{\gamma} - K_{\gamma\ \text{треб}}\right)^2 + \left(K_{s\gamma} - K_{s\gamma\ \text{треб}}\right)^2 \to \min.$$

При решении задачи многокритериальной оптимизации параметров ССт для оценки эффективности функционирования каждого канала ССт использовался комплексный показатель, представляющий собой линейную свертку вышеописанных критериев статической точности, колебательности, быстродействия, устойчивости, имеющий следующий вид:

$$\mathbf{\Phi} = \begin{bmatrix} \Phi_{\vartheta} \\ \Phi_{\psi} \\ \Phi_{\gamma} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Phi_1 \\ \Phi_2 \\ \Phi_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{j=1}^{4} \alpha_{j\vartheta} \cdot J_{j\vartheta} \\ \sum_{j=1}^{4} \alpha_{j\psi} \cdot J_{j\psi} \\ \sum_{j=1}^{4} \alpha_{j\gamma} \cdot J_{j\gamma} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{j=1}^{4} \alpha_{j}^{1} \cdot J_{j}^{1} \\ \sum_{j=1}^{4} \alpha_{j}^{2} \cdot J_{j}^{2} \\ \sum_{j=1}^{4} \alpha_{j}^{3} \cdot J_{j}^{3} \end{bmatrix} \to \min,$$

3 Постановка вспомогательной задачи поиска области технической устойчивости

Рабочая область варьируемых параметров должна обеспечивать требуемую степень технической устойчивости ССт, характеризующей работоспособность ССт на всем диапазоне изменения условий ее эксплуатации. [5,7]. Оценка степени технической устойчивости ССт осуществлялась по переходным процессам по n_y, n_z, γ в каналаж тангажа, рыскания и крена соответственно.

Интегральная квадратическая ошибка переходного процесса представляется в виде

$$f = \int_0^{\infty} e_{\text{п}}^2(t)\,dt,$$

где $e_{\text{п}}(t) = e(t) - e_{\text{уст}}$ — переходная составляющая ошибки.

С учетом того, что установившееся значение перегрузок в режиме стабилизации стремится к нулю, интегральные показатели для каждого канала будут иметь вид:

$$f_{1\text{-инт}} = \int_0^{t_{\text{ПП}}} n_y^2(t)\,dt; \quad f_{2\text{-инт}} = \int_0^{t_{\text{ПП}}} n_z^2(t)\,dt; \quad f_{3\text{-инт}} = \int_0^{t_{\text{ПП}}} \gamma^2(t)\,dt$$

Степень колебательности переходного процесса имеет вид:

$$f_{1\text{-колеб}} = N_{\vartheta}, \quad f_{2\text{-колеб}} = N_{\psi}, \quad f_{3\text{-колеб}} = N_{\gamma},$$

где $\left\{\tau_1 \quad \ldots \quad \tau_{N_{\vartheta}}\right\} = \left\{\tau_n\right\}_{n=1}^{n=N_{\vartheta}}$, $\left\{\tau_1 \quad \ldots \quad \tau_{N_{\psi}}\right\} = \left\{\tau_n\right\}_{n=1}^{n=N_{\psi}}$, $\left\{\tau_1 \quad \ldots \quad \tau_{N_{\gamma}}\right\} = \left\{\tau_n\right\}_{n=1}^{n=N_{\gamma}}$ - последовательности моментов времени, для которых справедливо:

$$\left.\frac{\partial n_y(t)}{\partial t}\right|_{t=\tau_i} = 0; \quad \left.\frac{\partial n_z(t)}{\partial t}\right|_{t=\tau_i} = 0; \quad \left.\frac{\partial \gamma(t)}{\partial t}\right|_{t=\tau_i} = 0.$$

Таким образом, задается два векторных критерия:

$$\mathbf{F}_{\text{инт}}(\mathbf{q}) = \begin{bmatrix} f_{1\text{-инт}} \\ f_{2\text{-инт}} \\ f_{3\text{-инт}} \end{bmatrix};\ \mathbf{F}_{\text{колеб}}(\mathbf{q}) = \begin{bmatrix} f_{1\text{-колеб}} \\ f_{2\text{-колеб}} \\ f_{3\text{-колеб}} \end{bmatrix}$$

где $\mathbf{q} \in \mathbf{E}^r$ - вектор варьируемых параметров ССт.

Требуется определить рабочую область варьируемых параметров $\mathbf{Q}$ в виде системы линейных интервальных ограничений-неравенств $\mathbf{Q} = \left\{ \mathbf{q} \in \mathbf{E}^r \,\middle|\, \mathbf{q}_{\min} \leqq \mathbf{q} \leqq \mathbf{q}_{\max} \right\}$,
имеющую максимально возможный объем и удовлетворяющую требованиям

$$\forall \mathbf{q} \in \mathbf{Q}:\ \begin{cases} \mathbf{F}_{\text{инт}}(\mathbf{q}) \leqq \mathbf{C}_{\text{инт}}; \\ \mathbf{F}_{\text{колеб}}(\mathbf{q}) \leqq \mathbf{C}_{\text{колеб}}. \end{cases},$$

где $\mathbf{C}_{\text{инт}} = \begin{bmatrix} c_{1\text{-инт}} \\ c_{2\text{-инт}} \\ c_{3\text{-инт}} \end{bmatrix};\ \mathbf{C}_{\text{колеб}} = \begin{bmatrix} c_{1\text{-колеб}} \\ c_{2\text{-колеб}} \\ c_{3\text{-колеб}} \end{bmatrix};$ экпертно заданные константы, характеризующие граничную работоспособность системы в заданном режиме.

4 Построение поверхностей адаптации

С использованием сформированных показателей эффективности задача формирования рабочей области $\mathbf{Q}$ варьируемых параметров ССт решается для 18 точек зоны применимости ЛА, выделенных на рисунке 1 и соответствующих различным режимам полета ЛА

Результаты применения двухэтапной вычислительной процедуры формирования рабочей области варьируемых параметров трехканальной ССт в виде системы интервальных ограничений использовались при решении задачи многокритериальной оптимизации параметров трехканальной ССт. Размерность оптимизируемого векторного показателя эффективности ССт равняется 3; размерность вектора варьируемых параметров ССт равняется 9

При этом использовалась равновесно-арбитражная схема, реализующая принцип стабильно-эффективного компромисса (СТЭК)[1]. Построение арбитражно-равновесного решения осуществляется с помощью комбинированной вычислительной процедуры, включающей в себя следующие основные этапы:

1) Нахождение балансировочного параметрического решения игровой задачи на основе равновесия по Нэшу;
2) Построение множества Парето-оптимальных решений;
3) Поиск решения на основе равновесно-арбитражной схемы «проецированием» равновесия по Нэшу на множество Парето.

Применяется комплекс генетических алгоритмов многокритериальной конфликтной оптимизации, использующих необходимые и достаточные условия $\boldsymbol{\varepsilon}$-оптимальности по Парето и $\boldsymbol{\varepsilon}$-равновесия по Нэшу [6,7].

По полученным результатам многокритериальной оптимизации для всех компонентов расширенного вектора варьируемых параметров ССт была проведена многомерная интерполяция бикубическими сплайнами. Построены поверхности адаптации в координатах «высота-скорость-оптимальное значение варьируемого коэффициента», определяющие законы изменения оптимальных значений параметров ССт в зависимости от условий полета в зоне применимости ЛА (рисунки 1,3).

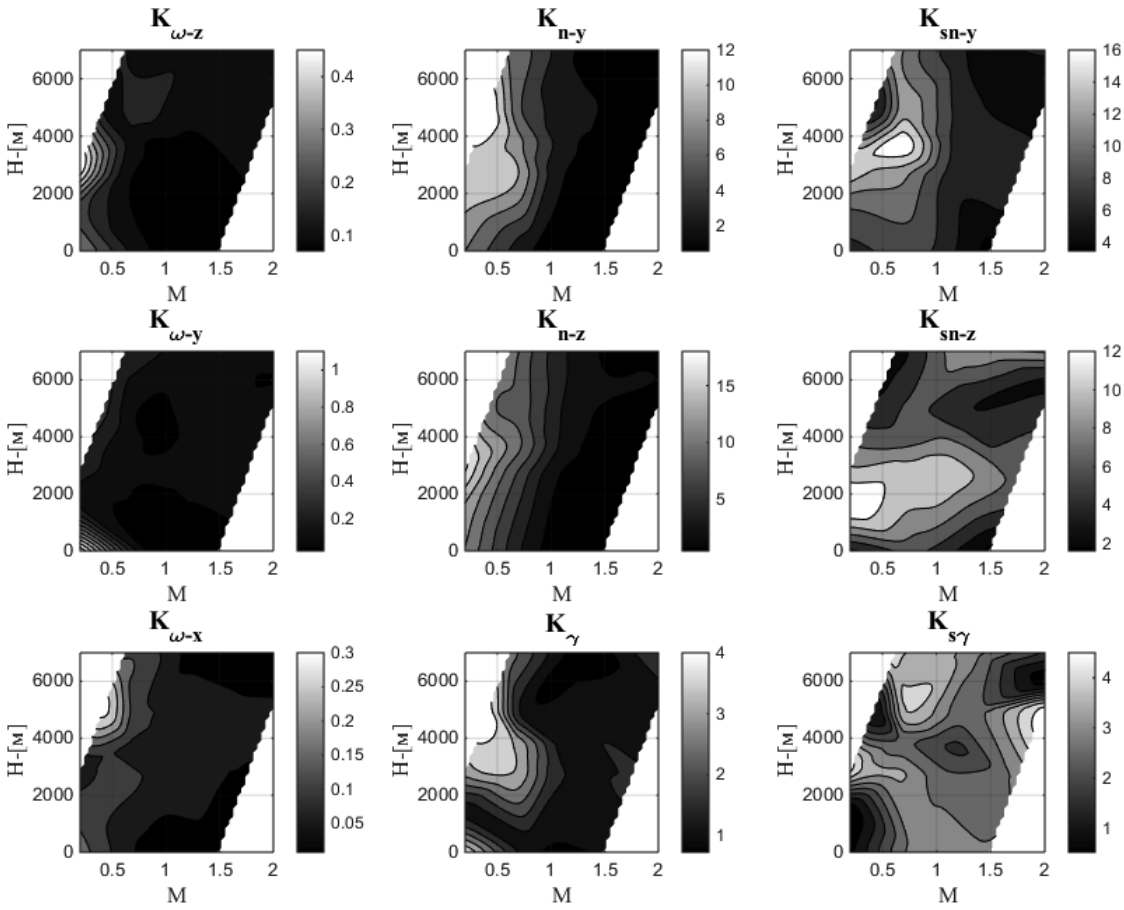


Рисунок 3 – Поверхности адаптации для параметров ССт в координатах Высота-Число Маха

Заключение

С использованием разработанного комплекса алгоритмов многокритериальной оптимизации удалось получить набор оптимальных решений в каждой выбранной точке на известной области применимости ЛА. Анализ поверхностей коэффициентов адаптации показывает улучшение прямых показателей качества по переходным характеристикам по сравнению с исходными коэффициентами на множестве точек зоны применимости. Повышение точности поверхностей адаптации может быть достигнуто увеличением плотности числа исследуемых точек в подобластях с высокими значениями скоростного напора и применением специализированных методов многомерной интерполяции.

Список литературы

[1] Воронов Е.М. «Методы оптимизации управления многообъектными многокритериальными системами на основе стабильно-эффективных компромиссов» - М.: МВТУ, 2001. – 576с.

[2] Лебедев А.А., Чернобровкин Л.С. – Динамика полета беспилотных летательных аппаратов. М: Машиностроение, 1973. 616с.

[3] Лебедев А.А., Карабанов В.А. Динамика систем управления беспилотными летательными аппаратами. М.: Машиностроение, 1965. 528с.
[4] Аксенов А.С., Воронов Е.М., Любавский К.К., Сычев С.И. – Многокритериальная параметрическая оптимизация трехканальной системы стабилизации летательного аппарата с перекрестными связями. Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана, серия «Приборостроение» - 2014 - №3 – с.16-37.
[5] Воронов Е.М., Серов В.А., Клишин М.А., Любавский К.К. – Многокритериальный синтез параметров трехканальной системы стабилизации беспилотного летательного аппарата. Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана, серия «Приборостроение» - 2016 - №3 – с.24-42.
[6] Серов В.А. Адаптивные функции пригодности в эволюционных игровых моделях оптимизации управления в структурно-сложных системах // Вестник МГТУ им. Н. Э. Баумана. Сер. Приборостроение. – 2017. №2 (113). – С.111-122.
[7] Серов В.А. – Генетические алгоритмы оптимизации управления многокритериальными системами в условиях неопределенности на основе конфликтных равновесий. Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана, серия «Приборостроение» - 2007 - №4 – с.70-80.
[8] Саушев А.В. – Параметрический синтез технических систем на основе линейной аппроксимации области работоспособности. Автометрия – 2013 – Т.49№1.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ БАЗОВЫХ ФРАКТАЛЬНЫХ АРХИТЕКТУР ПО ПРИЗНАКУ УСТОЙЧИВОСТИ К ОТКАЗАМ КОМПОНЕНТОВ

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, базовая фрактальная архитектура, базовая топологическая структура, надежность, отказоустойчивость, безопасность, параллельно-последовательная логическая схема, дерево отказов*

Abstract

The basic topological structures of GRID-systems are considered as a basis for assessing the reliability of the systems being designed. Approaches to the quantitative assessment of the reliability of basic fractal structures are considered. Approach to quantifying the stability indicators of basic structures to components failures based on the well-known apparatus of consecutive-parallel logic circuits and the failure tree analysis (FTA).

Введение

Стремительное развитие глобальных телекоммуникационных систем, информационно-компьютерных сетей, новых поколений GRID-систем создают возможность массового доступа пользователей к корпоративным, региональным, мировым информационным и вычислительным ресурсам.

В работе [2] со ссылками на работы [3-5] выделяются три ключевых показателя эффективности GRID-систем, к числу которых относится надежность. Этот аспект функционирования GRID обеспечивает устойчивую работоспособность GRID-систем. Выделение задачи управления надежностью GRID-систем в качестве приоритетной проблемы исследований обуславливает необходимость развития методологических, методических основ, инструментальных средств управления надежностью на разных стадиях жизненного цикла компонентов системы.

Одним из признаков устойчивости к отказам технических систем является безопасность – характеристика последствий негативных событий в результате отказа. Для анализа безопасности наиболее важным является свойство безотказности – способности сохранять работоспособное состояние в течении некоторого времени. В свою очередь, безотказность является составным компонентом надежности [6].

В работе [2, 7] обосновывается положение о том, что топологические структуры (архитектуры) компонентов GRID-сетей имеют решающее значение как при системном анализе и моделировании существующих GRID-сетей, так и особенно при проектировании и оптимизации архитектур вновь создаваемых GRID-сетей нового поколения. В той же работе выделяются основные базовые топологии, именуемые базовыми фрактальными архитектурами:

- полная ячеистая топология;
- кольцевая топология;
- топология «звезда»;
- линейная топология;

В той же работе описан подход к оценке надежности базовых фрактальных архитектур (БФА), основанный на анализе связности графов, в которых узлами являются компьютеры, рабочие станции, концентраторы, а ребрами – каналы связи. Базовые фрактальны архитектуры содержат минимальный набор конструкторских решений, посредствам которых можно описать распределенную информационную систему.

В настоящей работе рассматриваются подходы к количественной оценке надежности базовых фрактальных архитектур, а также подход к количественной оценке показателей устойчивости этих базовых архитектур к отказам компонентов на основе известного аппарата последовательно-параллельных логических схем [4, 5, 8] и аппарата деревьев отказа (FTA). Построение моделей надежности БФА является перспективой для оценивания надежности GRID-систем, что создает предпосылки для оценивания функциональной безопасности [1, 9] таких систем.

1 Оценивание надежности БФА на основе аппарата последовательно-параллельных логических схем

Основой анализа надежности технических систем является понятие отказ. В известной литературе [1, 2, 10, 11] показано, что понятие отказ трактуется по-разному в зависимости от функционального назначения и архитектуры систем, точки зрения целевой группы пользователей, условий функционирования систем.

В данной работе применительно к рассматриваемым базовым фрактальным архитектурам (БФА) используется понятие «полный отказ», которое трактуется следующим образом: полное нарушение работоспособности GRID-сети (все узлы этой сети изолированы), обусловленное невосстанавливаемым отказом узлов (компьютеров, рабочих станций, маршрутизаторов, коммуникационных устройств), либо ребер (каналов связи).

При построении приводимых ниже моделей постулировалось положение о независимости отказов узлов и ребер и положение о невосстанавливаемости (неремонтируемости) компонентов. Такое допущение справедливо, во-первых, когда акцент в исследованиях делается на аппаратную составляющую БФА [8, 12], во-вторых, когда текущий ремонт технического объекта непосредственно на месте его эксплуатации технически невозможен, либо экономически нецелесообразен [13].

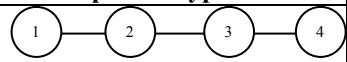
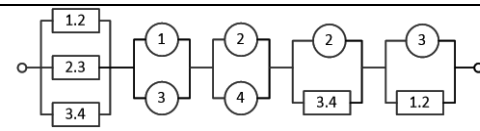
Известен подход к оцениванию надежности неремонтируемых систем по последовательно-параллельным логическим схемам. Ниже приводятся примеры структурно-логических схем для базовых архитектур «звезда» и «линейная», соответствующие случаю, когда в их состав входят четыре узла (таблица 1).

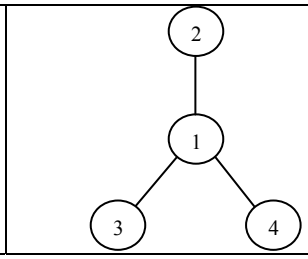
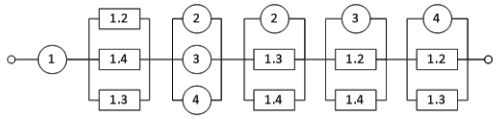
На приведенных схемах:

(1) – узлы фрактальных архитектур;

[2.1] – связи между узлами фрактальных архитектур.

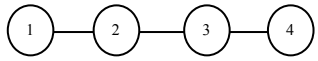
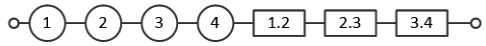
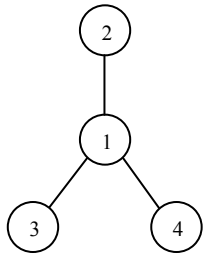
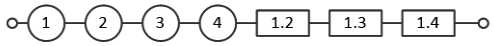
Таблица 1 – Структурно-логические схемы, соответствующие полному отказу базовых фрактальных архитектур (все узлы изолированы)

Тип топологии	Вид базовой фрактальной архитектуры	Структурно-логическая схема
Линейная		

«Звезда»		

Если понятие «полный отказ» трактовать как: нарушение работоспособности GRID-сети (отсутствует связь между любыми двумя узлами), обусловленное невосстанавливаемым отказом узлов (компьютеров, рабочих станций, маршрутизаторов, коммуникационных устройств), либо ребер (каналов связи), то структурно-логические схемы, на основе которых оценивается надежность систем, будут выглядеть как приведено в таблице 2.

Таблица 2 – Структурно-логические схемы, соответствующие полному отказу базовых фрактальных архитектур (отсутствует связь между любыми двумя узлами)

Тип топологии	**Вид базовой фрактальной архитектуры**	**Структурно-логическая схема**
Линейная		
«Звезда»		

Как видно из примера, даже для двух простейших базовых топологий результаты построения параллельно-последовательных схем различаются в зависимости от трактовки понятия «отказ». Разработанные схемы служат основой для оценки безопасности систем на основе подхода FTA.

2 Оценивание устойчивости БФА к отказам компонентов на основе анализа дерева отказов

Подход, основанный на анализе деревьев событий (Failure Tree Analysis – FTA) [14] обеспечивает концептуальную платформу для исследования базовых фрактальных архитектур по признаку устойчивости к отказам. Аппарат FTA позволяет сравнивать варианты построения GRID-систем на ранних стадиях проектирования, когда имеет место большая неопределенность относительно показателей надежности компонентов систем.

В [6] говорится, что наличие детального описания работы системы в виде схемы является основой построения дерева отказов.

На основе приведенных ранее параллельно-последовательных схем в таблицах 3 и 4 приведены деревья отказов, построенные для различных БФА в зависимости от трактовки понятия «полный отказ».

Таблица 3 – Деревья отказов, соответствующие полному отказу базовых фрактальных архитектур (все узлы изолированы)

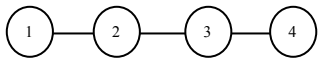
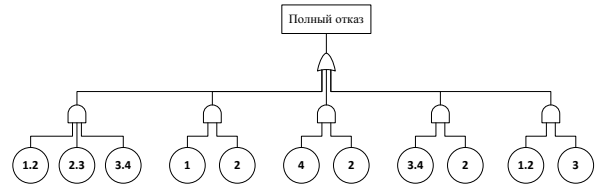
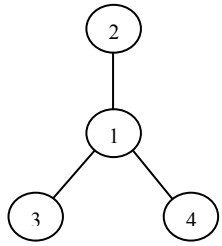
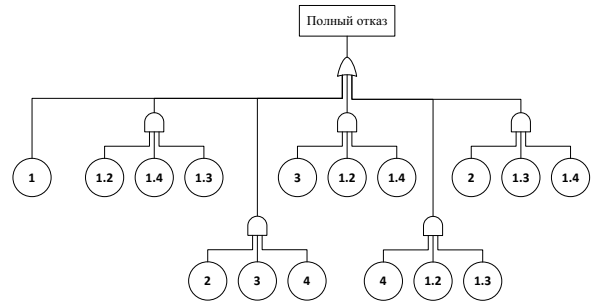
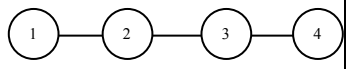
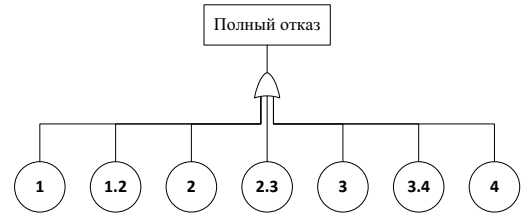
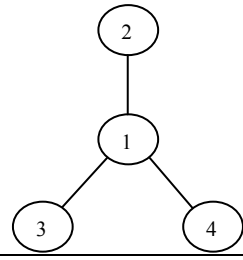
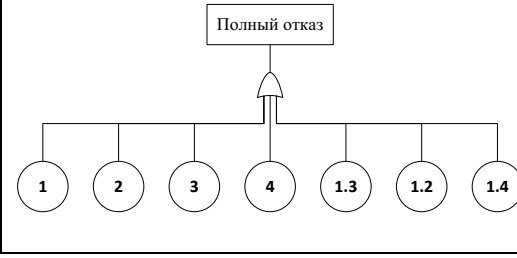
Тип топологии	**Вид базовой фрактальной архитектуры**	**Дерево отказов**
Линейная		
«Звезда»		

Таблица 4 – Деревья отказов, соответствующие полному отказу базовых фрактальных архитектур (отсутствует связь между любыми двумя узлами)

Тип топологии	**Вид базовой фрактальной архитектуры**	**Дерево отказов**
Линейная		
«Звезда»		

Основу оценки устойчивости БФА к отказам составляет методика, описанная в [15], которая позволяет на основе дерева отказов получить метрические характеристики отказоустойчивости систем.

Заключение

Выделение базовых топологических структур делает возможным представить любые распределенные GRID-системы в виде совокупности базовых фрактальных архитектур (базовых топологических структур), что создает основу, во-первых, для количественной оценки этих систем по показателю устойчивости; во-вторых, для выявления наиболее уязвимых компонентов систем.

Благодарности

Работа поддержана грантом РФФИ 16-08-00442 «Управление функциональной безопасностью аппаратно-программных комплексов в составе сложных технических систем».

Список литературы

[1] Липаев В.В. Функциональная безопасность программных средств. – М.: СИНТЕГ. 2004. – 348 с.
[2] Тимофеев А.В. Адаптивное управление и интеллектуальный анализ информационных потоков в компьютерных сетях. – М: "Анатолия". 2012.
[3] Хелеби С., Мак-Ферсон Д. Принципы маршрутизации в Internet. 2-е издание. – М.: Издательский дом «Вильемс», 2003.
[4] Уолрейд Дж. Телекоммуникационные компьютерные сети. Вводный курс. – М.: Постмаркс, 2001.
[5] Кох Р., Янковский Г.Г. Эволюция и конвергенция в электросвязи. – М.: Радио и связь, 2001.
[6] Безопасность и надежность технических систем: Учеб. пособие // Авт.: Л.Н. Александровская, И.З. Аронов, В.И. Круглов и др./ М.: Университетская книга, Логос, 2008.
[7] Тимофеев А. В., Димитриченко Д. П. Многокритериальная оценка сетевых топологических структур для моделирования и проектирования GRID-систем // Тр. СПИИРАН, 2009, выпуск 11, С. 193–212
[8] Дружинин Г.В. Надежность автоматизированных систем. М: "Энергия". 1977. – 536 с.
[9] Гвоздев В.Е., Блинова Д.В. Концептуальные основы анализа дефектов функциональной безопасности АПК // Проблемы управления и моделирования в сложных системах: Труды XVII Международной конференции, – Самара: Самарский НЦ РАН, 2015. – С. 590-595.
[10] Гвоздев В.Е., Ахуньянова К.Б. Влияние расположения элемента в структурной схеме надежности на статистические оценки характеристик надежности аппаратно-программных комплексов // Электротехнические и информационные комплексы и системы. – Т. 11, № 3, 2015. – С. 50-60.
[11] Гвоздев, В.Е. Онтологический анализ дефектов при проектировании компонентов аппаратно-программных комплексов / В.Е. Гвоздев, Д.В. Блинова // Онтология проектирования. - 2015. - Т. 5, №4(18). – С. 399-410. DOI: 10.18287/2223-9537-2015-5-4-399-410.
[12] Черкесов Г.Н. Надежность аппаратно-программных комплексов. – СПб.: Питер, 2005. - 479 с.
[13] ГОСТ Р 51901.13-2005 Менеджмент риска. Анализ дерева неисправностей
[14] Needham D., Jones S. A Software Fault Tree Metric // Proceedings of the International Conference on Software Maintenance (ICSM 2006), Philadelphia, PA, 25-27 Sept 2006. – pp. 401-410.

МЕТОД ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ МОНИТОРИНГА И ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТРУБОПРОВОДА С ПРИМЕНЕНИЕМ БАЗЫ ДАННЫХ

Н.Г. Губанов, С.В. Сусарев, Ю.И. Стеблев, В.И. Батищев

ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет»
443100, Самара, ул. Молодогвардейская 244, Россия
тел: +7 (846) 279-03-54

Ключевые слова: *мониторинг, трубопровод, база данных, интеллектуальный комплекс*

Abstract

Development method of functioning of the intellectual software and hardware complex of the pipelines-objects monitoring at a real-time mode have been considered at this article. Diagnostic monitoring method is used in the system of monitoring of extended objects, allowing to identify the occurrence of leaks in pipelines, to detect unauthorized activity in the buffer zone of the pipelines and to identify the appearance of the defects in the pipelines The possibility of database for intelligent functioning of software and hardware monitoring complex of lingering objects using in real time is considered. The database for monitoring, and the pipeline safety inspection contains structures for processing of the following information: continuous monitoring data on the current status, reference documentation data, results of in-line inspection, electrometric survey data, visual and measurement data, periodic non-destructive testing, metal corrosive and mechanical characteristics, criteria for limiting states of pipeline systems with damages.

Введение

В настоящее время особое внимание в России уделяется проблеме применения интеллектуальных систем в области мониторинга промышленных объектов в режиме реального времени. Это связано с необходимостью обеспечения промышленной безопасности объектов, а также необходимостью предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций, которые могут возникнуть в случае аварийных ситуаций. В частности необходимо проводить комплексный мониторинг состояния объектов связанных с добычей, переработкой и транспортировкой нефти и продуктов нефтехимического производства. К объектам мониторинга относятся трубопроводные системы типа нефтепродуктопроводов, магистральных нефтепродуктопроводов и технологических трубопроводов.

Разработка метода функционирования на основе базы данных производится применительно к магистральным нефтепродуктопроводам, однако основные ее элементы могут быть использованы также для мониторинга трубопроводов других типов.

1 Общие методы функционирования

Методы функционирования интеллектуального программно-аппаратного комплекса должны обеспечивать работу подсистем непрерывного и периодического мониторинга. В подсистеме непрерывного мониторинга используются методы для обнаружения утечек в трубопроводе и обнаружения несанкционированной активности у трубопровода. В подсистеме периодического мониторинга используются методы для контроля показателей, характеризующих надежность трубопроводов (дефектация сварных соединений, изоляционного покрытия, утончение стенок трубопровода, внутритрубная диагностика).

При функционировании интеллектуального программно-аппаратного комплекса применяются следующие методы обнаружения утечек:

- метод материального баланса;
- метод определения утечки по волне давления;
- метод анализа расходов и давлений в переходных режимах;
- метод анализа профиля давления по длине трубопровода;
- метод анализа дефектности трубопровода по результатам периодического мониторинга;
- метод анализа дефектности защитного покрытия трубопровода;
- метод анализа дефектности трубопровода по результатам внутритрубной диагностики.

Кроме этого, применяется оригинальный метод – метод акустической томографии, основанный на регистрации и анализе шумов нефтепродуктов, издаваемых при транспортировке по трубопроводам, в акустическом диапазоне частот.

2 Структура базы данных трубопроводной системы

Ядром интеллектуального программно-аппаратного комплекса мониторинга протяжных объектов в режиме реального времени как автоматизированной информационно-диагностической системы является база данных трубопровода с соответствующей системой управления базами данных, обеспечивающих мониторинг технического состояния трубопровода, сбор и анализ диагностической информации, алгоритмы функционирования интеллектуального программно-аппаратного комплекса. Структура базы данных представлена на рис.1.

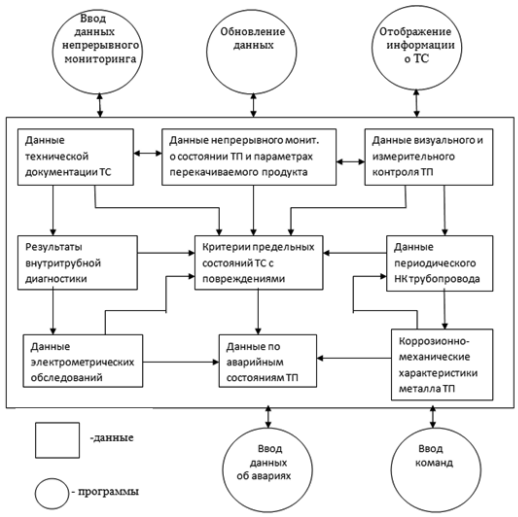


Рисунок 1 – Структура базы данных трубопроводной системы и модули для доступа к данным

База данных для мониторинга и обследования безопасности эксплуатации трубопровода содержит структуры для обработки следующей информации:

- данные непрерывного мониторинга о текущем состоянии трубопровода и режимах перекачки продукта;
- данные технической документации технического состояния трубопровода;
- результаты внутритрубной диагностики;
- данные электрометрических обследований трубопровода;
- данные визуального и измерительного контроля трубопровода;
- данные периодического неразрушающего контроля трубопровода;

- коррозионно-механические характеристики металла трубопровода;
- критерии предельных состояний трубопроводных систем с повреждениями.

Программы для доступа к информации, хранящейся базе данных включает следующие подсистемы:

- ввод данных и интерфейс с базой данных;
- вывод данных, т.е. интерфейс между базой данных и выходом управляющей ЭВМ;
- отображение данных;
- интерфейс для ввода команд.

К операциям контроля и мониторинга трубопровода, выполняемые с использованием базы данных можно отнести:

1) Проверка и повышения достоверности данных непрерывного мониторинга.

Система обнаружения утечек функционирует на основе показаний датчиков давления, температуры и расхода, измеренных в узлах линейной части ТП. При этом измеряются давления P_1 и P_2 , расходы F_1 и F_2, температуры t_1 и t_2 в узлах 1 и 2 , ограничивающих начало и конец контролируемого участка ТП.

Для проверки достоверности этих данных используется уравнение Бернулли для потока вязкой жидкости [1].

Система обнаружения утечек функционирует на основе показаний датчиков давления, температуры и расхода, измеренных в узлах линейной части ТП. При этом измеряются давления P_1 и P_2 , расходы F_1 и F_2, температуры t_1 и t_2 в узлах 1 и 2 , ограничивающих начало и конец контролируемого участка ТП.

Для проверки достоверности этих данных используется уравнение Бернулли для потока вязкой жидкости [1].

Соотношение между потерей давления $\Delta P = P_1 - P_2$ и скоростью потока V:

$$\Delta P = g\rho\frac{\nu^2}{2},$$

где ρ - плотность жидкости;

g- безразмерный коэффициент, определяемый экспериментально при калибровке соотношения.

Запишем это уравнение относительно расхода $F=VS$, где S – площадь поперечного сечения ТП. Получим соотношение:

$$\Delta P = g\rho\frac{F^2}{2S^2}$$

Получаем расчетное значение расхода:

$$F = F_P = \sqrt{2\frac{\Delta P}{g\rho}S^2} = 1.41S\sqrt{\frac{\Delta P}{g\rho}}$$

Сравнивая измеренные и расчетное значения расходов F_1, F_2, F_p определяем степень достоверности исходной информации. Повышение достоверности исходных данных F_1, F_2, P_1 , P_2 производятся путем повышения точности, соответствующих средств реализации температурной коррекции показаний датчиков давления и расхода.

2) Обнаружение утечек из ТП.

В нормативно-технической документации сформированы следующие требования к системе обнаружения утечек [2] трубопроводных систем. Согласно нормативно-технической документации для обнаружения утечек используются показания датчиков давления, температуры и расхода. Система обнаружения утечек позволяет выявить утечки и несанкционированный отбор нефтепродукта из МНПП не менее 1% фактического мгновенного расхода в установив-

шемся режиме и 5% в переходном режиме (при запуске и остановке насосных агрегатов, переключения технологических линий) работы МНПП, т.е. в соответствии с соотношениями:

$$\frac{\Delta F}{F_1} \geq 0.01 \text{ или } \frac{\Delta F}{F_1} \geq 0.05 ,$$

где $\Delta F=F_1- F_2, F_1$ и F_2 – показания расходомеров в начале и в конце контролируемого участка.

При отсутствии перекачки при заполненном нефтепродуктом МНПП, находящимся под избыточным давлением более 0,3 МПа, минимальная величина обнаруживаемых утечек должна быть не более 35 л/мин. Точность обнаружения места утечки нефтепродукта на защищаемом участке МНПП должна быть не хуже ±500 м. Время обнаружения места утечки должно быть не более 5 мин.

В известных системах обнаружения утечек российских производителей «LeakSPY» (ОАО «Энергоавтоматика»), «Appius LD» (инжиниринговая компания «Комбит»), СОУ «Нефтеавтоматика» (ОАО «Нефтеавтоматика») система строится на основе волнового и объемно-балансового метода [3], т.е на тех же принципах.

Так же на концах контролируемого участка измеряют давление, температуру и расход перекачиваемого продукта. Метод материального баланса заключается в сравнении показаний расходомеров в начале и конце контролируемого участка. Место образования небольших по размеру и быстроразвивающихся утечек определяется методом анализа волны давления, распространяющейся от места утечки при ее оборудовании. Подобные системы обнаружения утечек способны обнаруживать утечки величиной от 0,5% от номинального расхода за 2-3 мин и локализовать место утечки с точностью до 100 м.

Волновой метод определения места утечки Т в трубопроводе поясним на схеме рис.2.

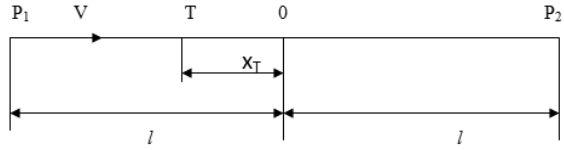


Рисунок 2 – Схема определения места утечки Т в трубопроводе волновым методом

Волновой метод локации основан на затухании сигналов.

Пульсация давления от места утечки распространяются в оба конца контролируемого участка с определенным затуханием и фиксируются датчиками давления:

$$P(x) = P_0 e^{-\alpha \cdot x},$$

где α - коэффициент затухания волны;

P_0 – величина пульсации давления в месте утечки;

x- расстояние от источника пульсации до точки наблюдения;

P(x) – импульс давления в точке наблюдения.

В случае неподвижной жидкости (V=0) показания датчиков давления P_1 и P_2 будут иметь вид:

$$P_1 = P_0 e^{-\alpha(l-x_T)}, \; P_2 = P_0 e^{-\alpha(l+x_T)}$$

Обработка сигналов имеет вид:

$$\frac{P_1}{P_2} = e^{2\alpha x_T}; \ln\frac{P_1}{P_2} = 2\alpha x_T$$

Координата места утечки определяются следующим образом:

$$x_T = \frac{1}{2\alpha}\ln\frac{P_1}{P_2}$$

В случае движущейся жидкости (V ≠ 0) введем скорость распространения импульса давления от утечки – $V_т$. Время распространения пульсаций давления от Т до $P_1 – t_1$, от $P_2 – t_2$.

Показания датчиков давления P_1 и P_2 будут иметь вид:

$$P_1 = P_0 e^{-\alpha(V_T - V)t_1},\ P_2 = P_0 e^{-\alpha(V_T + V)t_2}$$

Координата места утечки имеет вид:

$$x_T = \frac{1}{2\alpha}\ln\frac{P_1}{P_2}$$

Таким образом, результат определения места утечки не зависит от скоростей V и $V_т$.

Увеличение информативности волнового метода определения мест утечек возможно, если известна оценка величины пульсаций давления P_0 в месте утечки. Например, по экспериментальным данным [4] пульсации давления в потоке воды в трубопроводе вблизи места утечки составляет величину P_0 0,05Мпа при перепаде давления ΔР= 1МПа. Используя эти данные можно получить еще два значения координаты $x_т$, которые будут иметь вид:

$$x_T^{/} = \frac{1}{2\alpha}\ln\frac{P_1}{P_0},\ x_T^{//} = \frac{1}{2\alpha}\ln\frac{P_2}{P_0}$$

Эти данные повысят достоверность определения координат места утечки.

Для повышения точности определения места утечки используются данные электрометрического обследования контролируемого участка подземного трубопровода (ТП). Для этого выводят данные измерения разности потенциалов, «ТП- земля» методом неполяризирующегося электрода, по схеме рис.3 (Обозначение на рис.3: 1 -ТП; 2-катодный вывод; 3-контрольно-измерительный пункт; 4-измерительный прибор; 5-диэлектрическая прокладка (коврик); 6-станок для размотки катушки; 7-катушка (барабан) с проводом; 8- проводник к неполяризирующимуся электроду сравнения; 9- неполяризирующийся электрод сравнения).

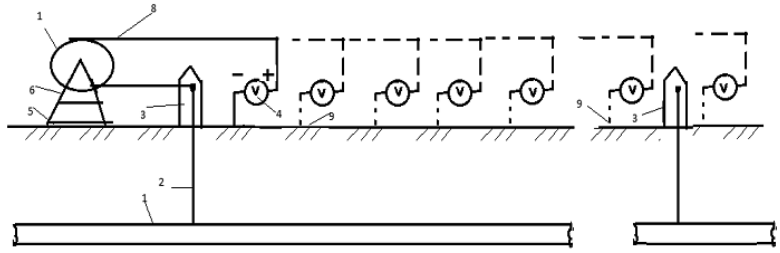


Рисунок 3 – Схема измерений разности потенциалов сооружение-земля методом выноса неполяризирующегося электрода сравнения с подвижным прибором

При определении потенциального состояния сооружения на участках между контрольно-измерительными пунктами, а так же при измерении разности потенциалов сооружение-земля в точках, где невозможно непосредственное подключение прибора к сооружению, используется метод выноса неполяризирующегося электрода сравнения. Полевые измерения этим методом могут проводиться способом непосредственного измерения разности потенциалов сооружение-земля и способом градиентов. При работе первым способом положительную клемму измерительного прибора подключают к ТП в контрольно-измерительном пункте (колодце,

шурфе), а отрицательную с помощью провода 500-1000 м соединяют с неполяризирующимся электродом сравнения [5].

Последовательное перемещение этого электрода вдоль оси ТП дает возможность непосредственно измерять разность потенциалов сооружение-земля на всем обследуемом участке с различными интервалами измерений. Детальность обследования зависит от поставленных задач и определяет необходимый шаг измерений (расстояние между смежными точками), который может изменяться в самых широких пределах (от 0,5 до 50м). Детальность обследования определяет необходимый шаг измерений, который может изменяться в широких пределах – от 0,5 до 50 м. шаг измерений будет определять точность определения места утечки (1,5 ÷ 2м).

По измеренным значениям потенциала «ТП-земля» , токам катодной защиты, параметрам ТП рассчитывают величину защитной плотности тока, строят диаграммы распределения потенциала и плотности тока вдоль контролируемого участка ТП. Аномальные участки ТП, отличающиеся большим значением плотности тока говорят о неудовлетворительном состоянии защитного покрытия. Участки с минимальными и максимальными значениями плотности тока подвергают контрольному шифрованию. Участок с минимальной плотностью тока и будет содержать место утечки, т.к. утечка нефтепродукта увеличивает переходное сопротивление «ТП-земля» вследствие соответствующих электрофизических характеристик нефти и нефтепродуктов. Определение места утечек надземных переходов ТП определяют по данным визуального и измерительного контроля.

3) Выделение потенциально-опасных участков трубопровода.

Выделение потенциально-опасных участков трубопровода производится по результатам внутритрубной диагностики с использованием данных периодического неразрушающего контроля, визуального и измерительного контроля, коррозионно-механических характеристик металла трубопровода, данных непрерывного мониторинга и критериев предельных состояний трубопровода с повреждениями.

4) Оценка технического состояния защитного покрытия подземных и надземных участков трубопровода.

Оценка технического состояния защитного покрытия подземных и надземных участков трубопровода производится по результатам электрометрических обследований, визуальному и измерительному контролю, данных технической документации.

5) Оценка состояния системы электрохимической защиты трубопровода

Оценка состояния системы электрохимической защиты трубопровода производится по результатам электрометрических обследований трубопровода, данным коррозионно-механических характеристик металла трубопровода.

6) Оценка уровня опасности повреждений трубопровода, степени их приближения к предельным значениям.

Предотвращение аварийных ситуаций производится по результатам внутритрубной диагностики, данные непрерывного и периодического мониторинга, данные технической документации и коррозионно-механических характеристик металла трубопровода, критериям предельных состояний с повреждениями.

Заключение

Рассмотрен метод функционирования интеллектуального программно-аппаратного комплекса для мониторинга и обеспечения безопасности эксплуатации трубопровода с применением базы данных. База данных для мониторинга трубопровода включает в себя данные непрерывного мониторинга о текущем состоянии трубопровода, данные технической документации, результаты внутритрубной диагностики, данные электрометрических обследований, данные визуального и измерительного контроля, данные периодического неразрушающего

контроля, коррозионно-механические характеристики металла, критерии предельных состояний трубопроводных систем с повреждениями.

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ в рамках соглашения № 14.577.21.0187. Уникальный идентификатор ПНИЭР RFMEFI57715X0187

Список литературы

[1] Шейпак А.А.Гидравлика и гидропневмопривод.Основы механики жидкости и газа. – М.: МГИУ, 2005.-192с.

[2] Стандарт Организации С0 01-05-АКТПН-002-2004. Положение по автоматизации и телемеханизации объектов системы трубопроводного транспорта нефтепродуктов ОАО "АК "Транснефтепродукт".- М.:2004, 88с.

[3] Мишкин Г.Б. Краткий обзор систем обнаружения утечек российских производителей. //Молодой ученый. 2011, №2 т.1 – с.41-47.

[4] Дробот Ю.Б., Грешников В.А. Акустическое контактное течеискание. – М.: машиностроение, 1989.-120с.

[5] Гафаров Н.А., Рахманкулов Д.Л., Бугай Д.Е, Габитов А.И. и др. Ингибиторы коррозии. Т. 2. Диагностика и защита от коррозии под напряжением. М.: Химия. 2002. 368 с.

РАЗРАБОТКА И ЭКСПЛУАТАЦИЯ ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫХ КОМПЛЕКСОВ МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ОБОРУДОВАНИЕМ КОСМОДРОМА

Н.С. Долгов[1], В.Г. Шалумов[2]

[1]Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения
190000, Санкт-Петербург, ул. Большая морская, 67, Россия
common@aanet.ru
тел: +7 (812) 710-65-10

[2]Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации РАН
199178, Санкт-Петербург, 14-я линия В.О., 39, Россия
spiiran@iias.spb.su
тел: +7 (812) 328-33-11

***Ключевые слова**: автоматизированные системы управления, модель, CASE-технологии, COTS-средства, программное обеспечение, объект управления.*

Abstract
The article describes the main approaches to the design of specialized software of automated control systems. The advantages of using the automated control system and monitoring the technical state of the cosmodrome are given. Presented hardware and software technology for automatic control of technological equipment of the launch site and monitoring of its technical condition.

В настоящее время предъявляются высокие требования к автоматизации управления, мониторинга технического состояния (ТС), эксплуатации технологического оборудования космодрома. Имеется необходимость обеспечить слаженную работу наземных систем, осуществлять управление бортовыми системами в процессе пусковых операций, управлять наземным оборудованием, ответственным за пуск.

Современный рынок в области разработки специализированного программного обеспечения (СПО) АСУ имеет тенденцию к все большей сегментации и специализации из-за постоянного усложнения и удорожания СПО АСУ. Разработчики операционных систем, различных инструментальных средств, СПО, конечные пользователи владеют все более отличающимися тезаурусами и «общаются» на все более непохожих языках. В связи с этим возникает необходимость разработки СПО, для того чтобы специалист предметной области имел возможность проектировать АСУ. На уровне современных существующих информационных технологий можно воспользоваться следующими видами проектирования СПО АСУ представленными в таблице 1:

Таблица 1 – Виды проектирования СПО АСУ

№	Вид проектирования	Субъект проектирования	Используемые средства
а)	Проектирование СПО АСУ на базе существующих, готовых инструментальных проблемно-ориентированных COTS-средств (Commercial-Of-The-	Специалисты в конкретной ПРО (предметной области), КП (конечные пользователи) СПО АСУ	Специализированные CASE (computer-aided software engineering)-технологии, операционные среды, проблемные ЯПЗ (языки пред-

№	Вид проектирования	Субъект проектирования	Используемые средства
	Shelf)		ставления знаний)
б)	Проектирование COTS-компонентов АСУ и инструментальных средств, ориентированных на многократное применение	Профессиональные программисты, системные аналитики	«Традиционные» CASE-технологии (RAD – Rapid Application Development), инструментальные среды, традиционные языки программирования и т.п.
в)	Расширение возможностей существующих COTS-средств за счет создания и подключения к уже существующим средствам дополнительных приложений	Профессиональные программисты, системные аналитики	«Традиционные» CASE-технологии (RAD), инструментальные среды, традиционные языки программирования и т.п.
г)	Непосредственно разработка уникальных СПО АСУ, ориентированных на однократное использование в конкретной ПРО	Специалисты одновременно как в ПРО, так и владеющие навыками программирования	«Традиционные» языки программирования, средства отладки и т.п.

Наиболее широко употребляемым является подход в позиции (г) таблицы 1. Преимуществом данного подхода является то, что СПО АСУ качественно и хорошо отлажено, конечный продукт независим от инструментальной среды разработки в том смысле, что может работать вне этой среды [4].

Недостатком является трудность разработки и отладки каждого СПО АСУ из-за отсутствия поддержки разработчика. Разработкой может заниматься только высококвалифицированный программист-системотехник или группа программистов. Другой недостаток — трудность верификации конечного продукта из-за отсутствия универсальных верификаторов. В связи с этим вариант непосредственного программирования может быть приемлем лишь для простых АСУ или небольших фрагментов большой АСУ.

В связи с этим, приемлемыми сейчас видами проектирования СПО АСУ являются подходы в позиции (а), (б), (в) таблицы 1. Эти подходы основаны на широком использовании CASE-технологий или им подобных инструментальных средств различного назначения – как на этапе разработки COTS-программных средств (вариант (б)), так на этапе создания СПО АСУ из этих программных средств (вариант (а)). Под COTS -технологиями обычно понимаются серийные базовые аппаратные и программные компоненты, предназначенные как для интеграции единичных заказных целевых систем, так и для комплектования собственного серийного производства оригинального целевого оборудования. Это инструмент создания систем, некая технологическая основа, а не конечная система [7].

CASE-технологии в современных информационных технологиях являются важным инструментом разработки и сопровождения СПО АСУ. Система COST-компонентов по сути является специализированной CASE-системой. Такая специализированная CASE-система реализуется обычно в виде некоторой операционной среды, ориентированной на КП и оперирующей понятиями конкретной ПРО. В свою очередь, при проектировании самих COTS-компонентов могут быть использованы инструментальные средства RAD, инструментальные среды различного назначения, предназначенные для использования профессиональными программистами - для повышения эффективности процесса разработки этих компонентов.

Технология разработки СПО АСУ в соответствии с подходом в позиции (г) таблицы 1 предполагает использование каскадной модели представленной на рисунке 1.

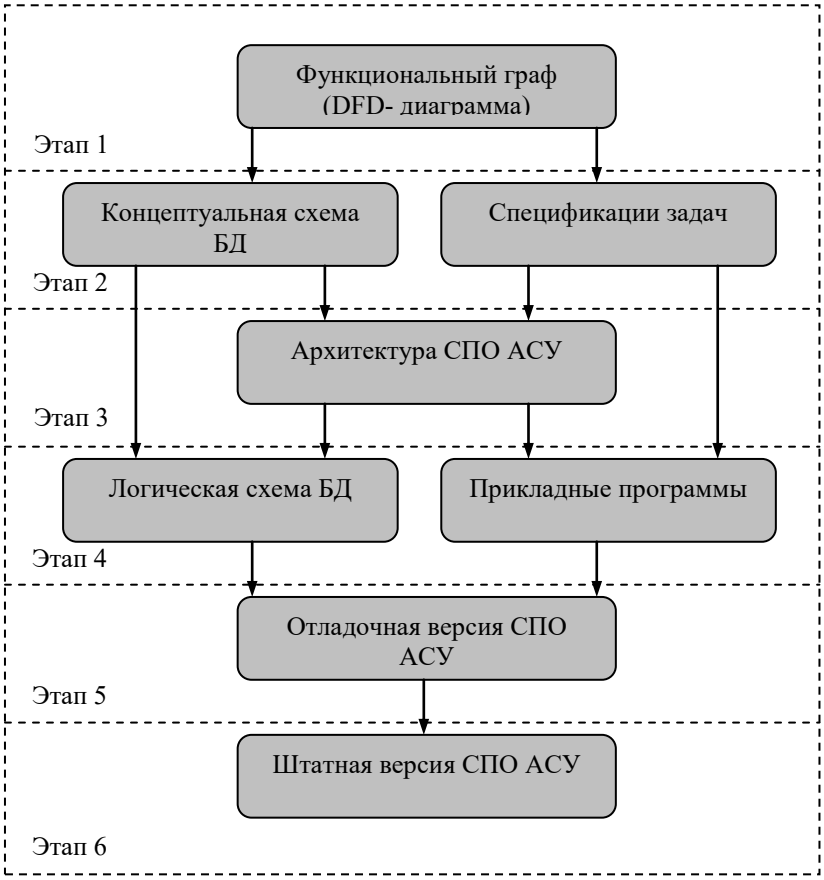


Рисунок 1 – Каскадная модель проектирования СПО АСУ

Особенностью рассматриваемой модели является то, что КП начинает участвовать в процессе проектирования СПО АСУ и влиять на его ход лишь на последних этапах: сопровождение и тестирование.

Наиболее приемлемым при проектировании СПО АСУ использовать «спиральную модель» представленную на рисунке 2.

В основе такой модели лежат следующие положения:

- КП активно участвуют в разработке СПО АСУ от начала анализа ПРО до окончательного внедрения СПО АСУ.
- Не нужно начального полного определения требований к СПО АСУ (ее спецификаций) - они уточняются в ходе разработки.
- СПО АСУ разрабатывается небольшой группой из 4-6 человек, включая 1-2 КП. Во время проектирования состав группы практически не изменяется, благодаря чему сводится к минимуму объем промежуточной документации.
- Разработка ведется итерациями. Каждый шаг должен быть закончен настолько, насколько это необходимо для выполнения следующего этапа.
- Тестирование проводится постепенно на протяжении всего жизненного цикла СПО АСУ. Большие приложения разбиваются на более мелкие подсистемы, для которых четко определяется группа КП. При наличии нескольких групп разработчиков возможна параллель-

ная разработка всего СПО АСУ. В этом случае обеспечивается проведение более тщательного анализа ПРО [3].

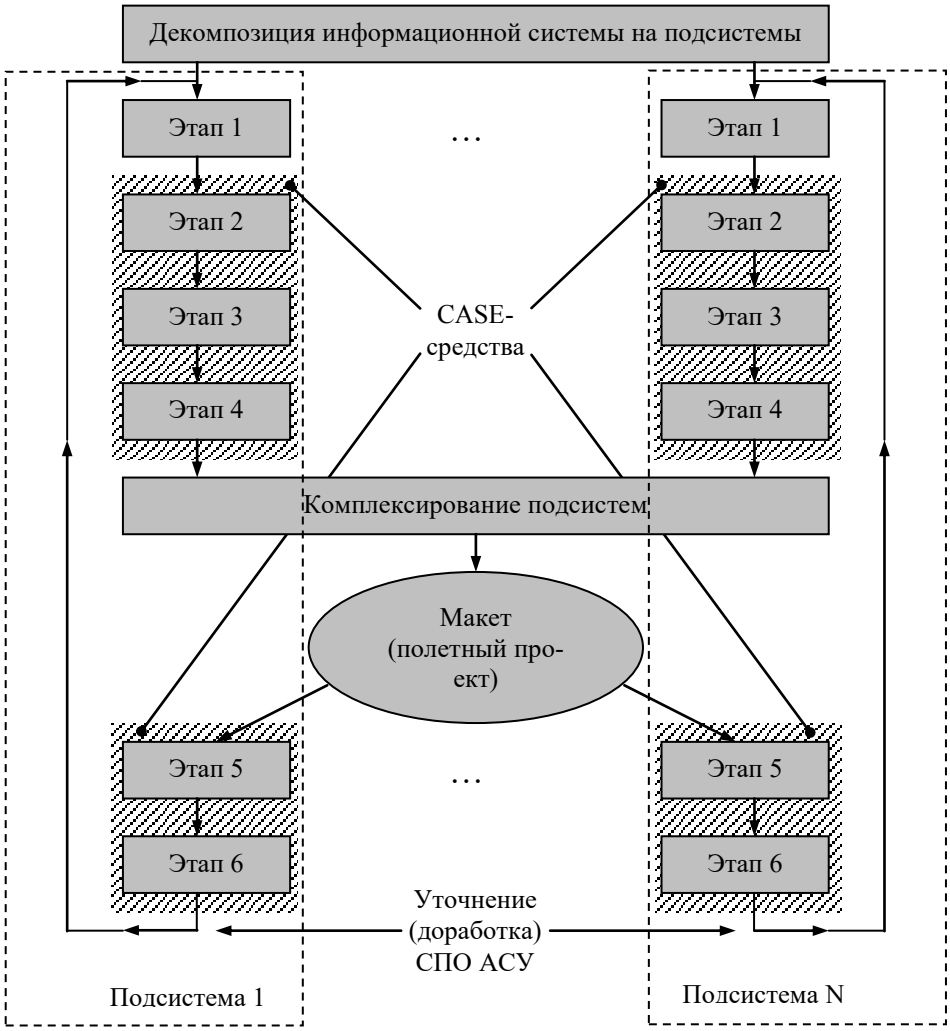


Рисунок 2 – Спиральная модель проектирования СПО АСУ

На базе предприятия ЗАО «СКБ Орион» разрабатываются и внедряются программные и аппаратные средства для автоматического управления технологическим оборудованием космодрома и мониторинга его технического состояния [8]. Используемые программные инструментальные средства, относящиеся к CASE-средствам, позволяют создавать ПО высокой надежности. Создаваемое СПО АСУ оборудованием космодрома и мониторинга его ТС обеспечивает:

- автоматизированную обработку потоков информации о состоянии объекта управления и мониторинга с отображением ее в реальном времени в удобном для пользователя виде;
- автоматизированную идентификацию состояния объекта управления и выдачу рекомендаций по управлению им лицам, принимающим решение;
- возможность моделирования реакции объекта управления на различные управляющие воздействия на основе использования системы имитационного моделирования;

- получение пользователями справочной информации по устройству, принципам функционирования, правилам эксплуатации объекта управления и его составных частей, а также статистических данных о параметрах его функционирования;
- возможность индивидуальной настройки параметров функционирования СПО АСУ оборудованием космодрома и мониторинга его ТС.

Общий вид программно-аппаратного комплекса АСУ оборудованием космодрома и мониторинга ТС представлен на рисунке 3.

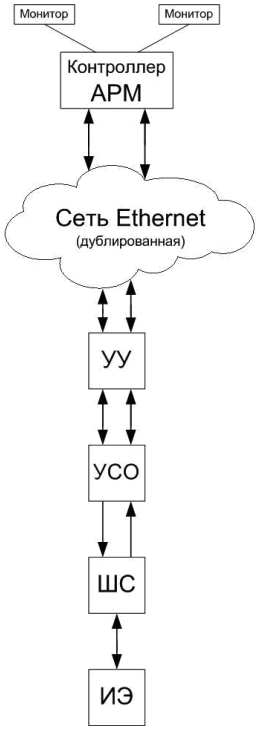


Рисунок 3 – Общая схема программно-аппаратного комплекса

В данной схеме устройство управления (УУ) предназначено для осуществления управления по заданным алгоритмам. Осуществляет сбор всей информации о работе подсистемы, управляемой данной стойкой. Устройство сопряжения с объектом (УСО) – автомат, осуществляющий сбор информации от датчиков соответствующей подсистемы. УСО осуществляет обмен данными по сети Ethernet со стойкой УУ и преобразование информационных сигналов управления в физические. ШС (шкаф соединительный) - это клеммный шкаф, осуществляющий перекоммутацию сигналов для удобства работы с датчиками системы. Автоматизированное рабочее место (АРМ) состоит из пульта управления и стойки пульта управления. АРМ предназначен для работы оператора, получения от него сигналов управления и выдачи информации о состоянии подсистем технологического оборудования космодрома. За синхронизацию времени, арбитраж контроллеров, минимизацию времени реакции системы отвечает специализированное системное программное обеспечение. Технологию разработки СПО АСУ оборудования космодрома и его ТС можно представить на рисунке 4.

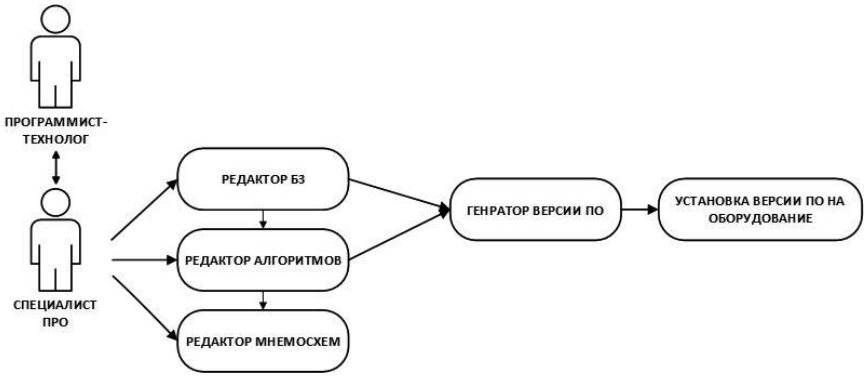


Рисунок 4 – Технология разработки СПО АСУ оборудования космодрома и его ТС

На 1 этапе: программист-технолог заполняет базу знаний (БЗ). БЗ содержит информацию об объекте управления и мониторинга. Схема взаимодействия объекта управления (ОУ) представлена на рисунке 5.

Рисунок 5 – Схема взаимодействия ОУ с окружающей средой

АСУ – это аналоговые сигналы управления, поступающие от аналоговых датчиков и воздействующие на ОУ. ДСУ – дискретные сигналы управления. ДД – дискретные датчики, относящиеся к ОУ. АД – аналоговые датчики (для АД задаются интерпретационные законы, а также диапазон допустимых значений). Функции состояния показывают текущее техническое состояния ОУ.

Пример описания ОУ в БЗ СПО приведен на рисунке 6.

На 2 этапе: специалист предметной области, основываясь на основе ОУ описанных в БЗ, задает в графической форме технологические алгоритмы управления в редакторе алгоритмов.

На 3 этапе: специалист ПРО создает человеко-машинный интерфейс в редакторе мнемосхем. В условно графической форме отображается все основное оборудование, сигналы, состояния регулирующих органов необходимых оператору/диспетчеру. Пример мнемосхемы представлен на рисунке 7.

Имя	**НЛ1**
Номер в файле интерпретации	31
Комментарий	
АД	
⊟**ДД**	
⊞дд_питание	дд_ЩР_СЗГ1_питание_НЛ1
АСУ	
⊟**ДСУ**	
⊞дс_включение	дсу_ЩР_СЗГ1_включить_НЛ1
⊞дс_отключение	дсу_ЩР_СЗГ1_отключить_НЛ1
⊟**Переменные**	
⊞п_пр_авария	ФЛАГ: false
⊞п_макс_время_вкл	СЧЕТЧИК: 5
⊞п_вр_вкл_пит	ДАТЧИК: 2
⊞п_имя	СТРОКА: Насос
⊟**Таймеры**	
⊞т_операции	0,00
⊞т_операции1	0,00
⊟**Команды**	
⊞К_ВКЛЮЧИТЬ	А_НЛ_включить
⊞К_ВЫКЛЮЧИТЬ	А_НЛ_выключить
⊟**Функции состояния**	
⊞с_включен	*дд_питание*
⊞с_выключен	*not дд_питание*
⊞с_авария	*п_пр_авария*
⊞с_питание_вкл	*дд_питание*
⊞с_питание_откл	*not дд_питание*
Ссылки на объекты	

Рисунок 6 – Пример описания ОУ в БЗ СПО

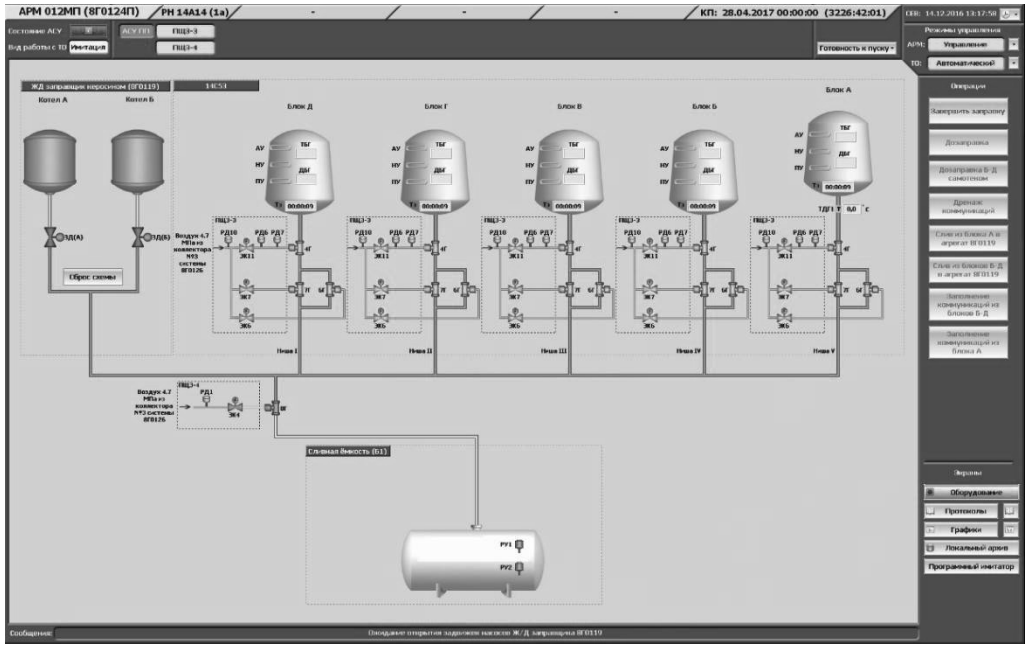


Рисунок 7 – Пример мнемосхемы системы заправки керосином РН

На 4 этапе: генератор осуществляет трансляцию созданных знаний в машинный код, который сохраняется в виде версии ПО и передается устройствам управления, УСО, автоматизированным рабочим местам операторов.

На 5 этапе: происходит установка версии ПО (включая системное и прикладное ПО) на оборудование.

Применение АСУ и мониторинга ТС космодрома позволило:

- сократить количество персонала, задействованного в эксплуатации технологического оборудования космодрома;
- уменьшить время принятия решений, вследствие предоставления готовых вариантов решений ЛПР (лицу принимающему решение);
- повысить безопасность и надежность эксплуатации технологического оборудования космодрома, в результате формирования сигналов аварийного отключения при возникновении аварийной ситуации;
- увеличить информативность системы, вследствие отображения хода технологического процесса в виде графиков и мнемосхем;
- увеличить срок службы технологического оборудования космодрома и т.д. [1,2].

Кроме того, представленная аппаратно-программная технология позволяет специалисту ПРО разрабатывать АСУ технологического назначения, а также объединяет АСУ оборудованием космодрома и его ТС в единое информационное пространтсво обеспечивающее высокую надежность, удобство эксплуатации и расширяемость системы [5].

Список литературы

[1] АСУ технолологическим оборудованием стартовго комплекса РН "Союз" в Гвианском космическом центре (http://www.cta.ru/cms/f/441328.pdf).

[2] АСУ ТП (http://www.epa-110kv.ru/asutp/)

[3] В.А. Каргин, О.В. Майданович, М.Ю. Охтилев. Автоматизированная система информационной поддержки принятия решений по контролю в реальном времени состояния ракетно-космической техники/История высших учебных заведений. Приборостроение. 2010. – С. 20-23.

[4] Долгов Н.С. Обзор существующих подходов для решения задачи интеллектуальной обработки данных и знаний для систем поддержки принятия решения //Научная сессия: сборник докладов СПб.:ГУАП. - Том. Часть 2. Технические науки. 2016. – С. 172-174. ISBN 978-5-8088-1132-4

[5] Единое информационное пространство (http://studopedia.ru/2_27505_edinoe-informatsionnoe-prostranstvo.html).

[6] О.В. Майданович, М.Ю. Охтилев, Б.В. Соколов. Перспективные направления развития информационных технологий мониторинга и управления состояниями сложных технических объектов в реальном масштабе времени // International Journal “Information model and analysis” Vol.1, Number 4. 2012. – С. 318-335.

[7] Открытые технологии в военных приложениях (https://www.osp.ru/os/2000/04/177997).

[8] СКБ «Орион» Программное обеспечение (http://skborion.ru/production_po.php).

СИСТЕМА АГРЕГИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ИНДУКЦИОННОГО НАГРЕВА

А.И. Дьяконов

Самарский государственный технический университет
443100, Самара, ул. Молодогвардейская, 244, Россия
dyakonovartem@yandex.ru
тел: +7 (917) 943-39-79

Ключевые слова: *индукционный нагрев, субоптимальное управление, агрегированное управление, регулятор*

Abstract
This paper is devoted to the application of aggregate control method to the distributed parameter object – induction heating process.

Введение

В настоящее время существует целый ряд работ, посвященных управлению агрегированными макропеременными в сложных системах управления [1,2].

Идея построения систем агрегированного управления динамическими объектами заключается в переходе от управления переменными в пространстве состояний к управлению макропеременными, являющимися некоторыми функциями этих переменных. На первом этапе осуществляется управление движением объекта из произвольного начального состояния к притягивающему многообразию, на втором этапе – управление движением объекта вдоль притягивающего многообразия к началу координат фазового пространства. Обеспечение требуемых показателей качества при этом обеспечивается выбором параметров обратных связей в системе управления.

Притягивающие многообразия представляют собой множества, на которых должна достигаться цель управления и обеспечиваться необходимые показатели качества.

Динамика изменения макропеременных описывается дифференциальными уравнениями первого порядка, решения которых минимизируют квадратичный интегральный функционал качества стандартного вида. При соответствующем выборе функциональной зависимости макропеременных от фазовых координат такой выбор критерия эффективности приводит к управлению, близкому к оптимальному по быстродействию на первой стадии движения объекта к притягивающему многообразию и обеспечивает требуемые динамические характеристики системы при малых отклонениях от положения равновесия.

Вычисление полных производных макропеременных на уравнениях модели объекта приводит к функциональному уравнению, по которому непосредственно синтезируются искомые алгоритмы управления с обратными связями.

В настоящей работе исследуются возможности применения данной методики к построению системы агрегированного управления процессом индукционного нагрева.

1 Алгоритм субоптимального управления процессом индукционного нагрева

Рассматриваемый объект с распределенными параметрами (ОРП) - процесс индукционного нагрева, - описывается в отклонениях $z_n = \bar{Q}_n - \bar{Q}_n^*$, $z = (z_n)$, временных мод $\bar{Q}_n$ температурного поля $\bar{Q}_n^*$ от их равновесного состояния бесконечной системой уравнений [2].

(1) $$\frac{dz_n}{dt} = -\mu_n^2 z_n + f_n(z) + W_n U(t), z_n(0) = z_n^0, n = 1,2...$$

Здесь $U(t)$ - внутреннее сосредоточенное управляющее воздействие по суммарной удельной мощности электромагнитных источников тепла, стесняемое ограничением

(2) $$0 \le U(t) \le U_{\max},$$

W_n - модальные составляющие функции пространственного распределения внутреннего тепловыделения, $f_n(z)$ - известная зависимость применительно к нелинейным моделям ОРП, μ_n^2 - собственные числа линейного приближения исходной модели объекта управления.

Рассматривается задача поиска алгоритма управления $U(z)$ с обратной связью объектом (1) с распределенными параметрами, обеспечивающего его перевод из произвольного начального состояния сначала в окрестность заданного притягивающего многообразия, описываемого уравнением

(3) $$\psi(z, z_0) = 0,$$

а затем последующее асимптотически устойчивое движение в пределах этого многообразия к точке равновесия $z = 0$ с требуемыми показателями качества.

Здесь уравнение (3) определяется выбираемой формой зависимости макропеременной ψ от фазовых координат и выходного сигнала z_0 вспомогательного интегратора, включаемого в структуру системы с целью учета ограничения (2) [1]:

(4) $$T_0 \frac{dz_0}{dt} = \vartheta_0$$

с "условным" управлением ϑ_0 на его входе и достаточно малой постоянной времени T_0. В таком случае искомое управление $U(t)$ с учетом ограничения (2) определяется в виде

(5) $$U(t) = \frac{U_{\max}}{2}(1 + th(\eta z_0))$$

для любого множителя $\eta = const > 0$.

Выбор траекторий движения макропеременной к притягивающим многообразиям в виде решения дифференциального уравнения

(6) $$T\frac{d\psi}{dt} + \psi = 0, T = const$$

обеспечивает минимизацию типичного интегрального функционала качества как на этапе перевода объекта на многообразие (3), так и на стадии движения по многообразию к положению равновесия $z = 0$.

Выберем макропеременную [2]:

(7) $\psi(z,z_0)=th[\frac{U_{\max}}{2}(1+th(\eta z_0))+\sum_{n=1}^{N_1}\beta_n z_n]$

с априори неизвестными коэффициентами β_n обратных связей. Здесь $N_1 \le \infty$ - число учитываемых уравнений в модели объекта (1).

Вычисление полных производных $\frac{d\psi}{dt}$ согласно (7) на уравнениях модели (1) приводит после подстановки результатов дифференцирования в (6) к функциональному уравнению, разрешая которое относительно ϑ_0 получим искомый алгоритм синтеза "условного" управления $\vartheta_0(z,z_0)$ в системе агрегированного управления

(8) $\vartheta_0(z,z_0)=-2T_0\frac{ch^2(\eta z_0)}{\eta U_{\max}}\{\frac{1}{2T}sh(2P)+\sum_{n=1}^{N_1}\beta_n[-\mu_n^2 z_n+f_n(z)+\frac{W_n U_{\max}}{2}(1+th(\eta z_0))]\}$,

определяющий с учетом соотношений (4), (5) искомую структуру агрегированного регулятора $U(z,z_0)$.

Выбор макропеременной в форме (7) обеспечивает характер процесса управления, близкий к оптимальному по быстродействию на достаточно большом удалении от многообразия (3), а при движении вдоль многообразия получаем согласно (3), (5), (7) линейный закон управления:

(9) $U(z)=-\sum_{n=1}^{N_1}\beta_n z_n$.

В итоге получаем с достаточно малой погрешностью значительно более простой по сравнению с (8) алгоритм управления

(10) $U(z)=\begin{cases} -\sum_{n=1}^{N_1}\beta_n z_n, & 0 \le -\sum_{n=1}^{N_1}\beta_n z_n \le U_{\max} \\ U_{\max}, & -\sum_{n=1}^{N_1}\beta_n z_n \ge U_{\max} \\ 0, & -\sum_{n=1}^{N_1}\beta_n z_n \le 0 \end{cases}$

с ограниченным выходным сигналом пропорционального регулятора (9).

При выборе коэффициентов обратных связей

(11) $\beta_n = K\varphi_n(\mu_n,x_c), n=\overline{1,N_1}$

пропорциональных значениям собственных функций $\varphi_n(\mu_n,x_c)$ линейного приближения исходной модели объекта в некоторой точке x_c пространственного распределения температурного поля, задача сводится согласно алгоритму управления (10) к исследованию возможности построения системы автоматического регулирования выхода объекта $Q(x_c,t)$ в точке x_c

(12) $Q(x_c,t)-Q^*(x_c)=\sum_{n=1}^{N_1}z_n\varphi_n(\mu_n,x_c)$

(13) $U(Q(x_c,t))=\begin{cases} -K(Q(x_c,t)-Q^*(x_c)), & 0 \le -K(Q(x_c,t)-Q^*(x_c)) \le U_{\max} \\ U_{\max}, & -K(Q(x_c,t)-Q^*(x_c)) \ge U_{\max} \\ 0, & -K(Q(x_c,t)-Q^*(x_c)) \le 0 \end{cases}$

путем выбора обеспечивающего необходимые качественные показатели коэффициента передачи K пропорционального регулятора в (11).

2 Расчетные результаты

Рассматривается процесс сквозного индукционного нагрева на частоте 50 Гц алюминиевых цилиндрических слитков до температуры $Q^*(x_c) = 500^0 C$. Конструктивные и теплофизические характеристики индуктора и заготовки подробно описаны в работе [3].

Решается задача построения системы управления температурой в точке x_c на поверхности заготовки в её центральном сечении согласно алгоритму (13). В программном пакете MATLAB с помощью симплекс-метода реализована процедура параметрической оптимизации передаточной функции $W(p) = \dfrac{Q(x_c, p)}{U(p)}$, отражающей с допустимой погрешностью динамику изменения температуры в точке x_c, путем минимизации среднеквадратичной ошибки отклонения переходных функций температуры в точке x_c для численной нелинейной модели объекта, построенной в программной среде Cedrat Flux [2] и ее приближения, моделируемого линейным динамическим звеном. На рисунке 1 показана структурная схема, на основе которой производилась параметрическая оптимизация передаточной функции. На рисунке 2 показано сравнение передаточных функций, полученных по численной модели (сплошная линия) и с помощью параметрически оптимизированной передаточной функции (пунктирная линия).

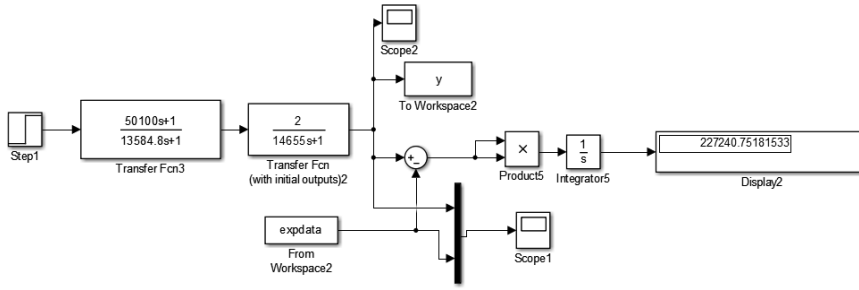


Рисунок 1 – Структурная схема оптимизацинной процедуры

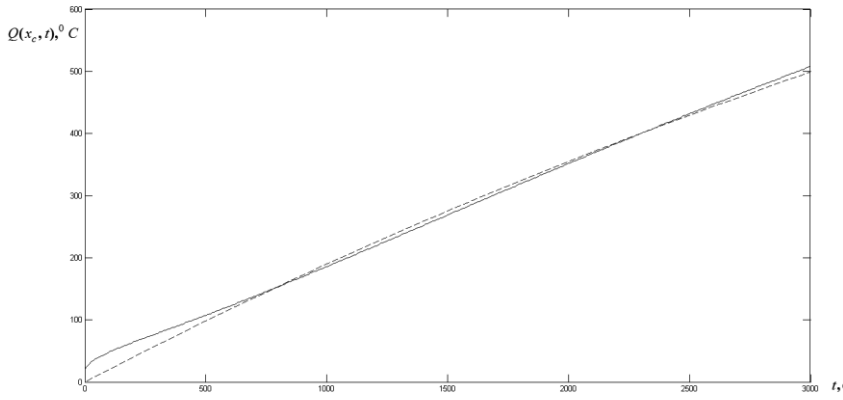


Рисунок 2 – Сравнение выходов передаточных функций

Полученная параметрически оптимизированная передаточная функция имеет вид (14):

$$(14)\quad W(p)=\frac{2(50100p+1)}{(13584.8p+1)(14655p+1)}$$

Как видно из рисунка 1, полученная передаточная функция имеет допустимую сходимость с результатами, полученными на нелинейной численной модели в работе [3].

С помощью программного пакета MATLAB построена замкнутая система управления процессом индукционного нагрева с нелинейным регулятором, реализующим алгоритм управления (13). Используется регулятор в виде нелинейности со статической характеристикой типа "насыщение", показанной на рисунке 3. Показано, что система сохраняет асимптотическую устойчивость при любом значении коэффициента K пропорционального регулятора, величина которого выбирается исходя из требований к показателям качества процесса управления.

Структурная схема замкнутой системы управления температурой $Q(x_c,t)$ показана на рисунке 4.

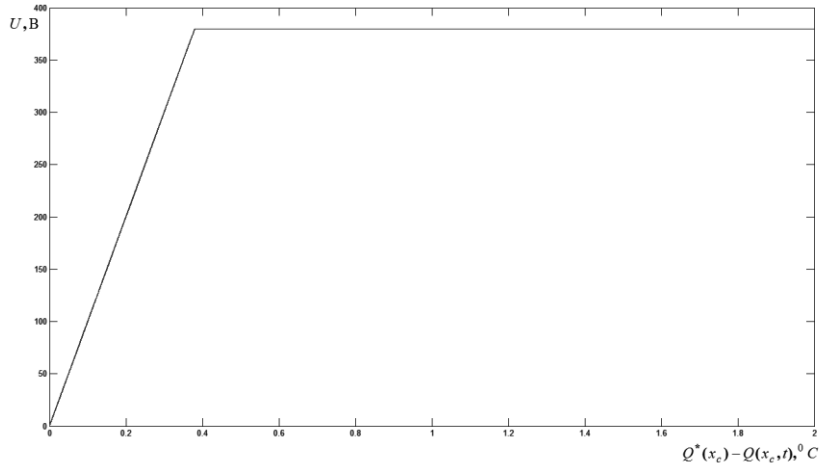


Рисунок 3 – Статическая характристика нелинейного регулятора

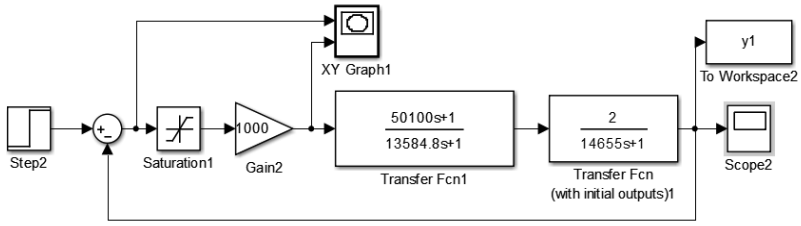


Рисунок 4 – Структурная схема системы управления

Процесс регулирования температуры $Q(x_c,t)$ заготовки в процессе нагрева показано на рисунке 5. Поведение управляемой величины в зоне стабилизации показано на рисунке 6.

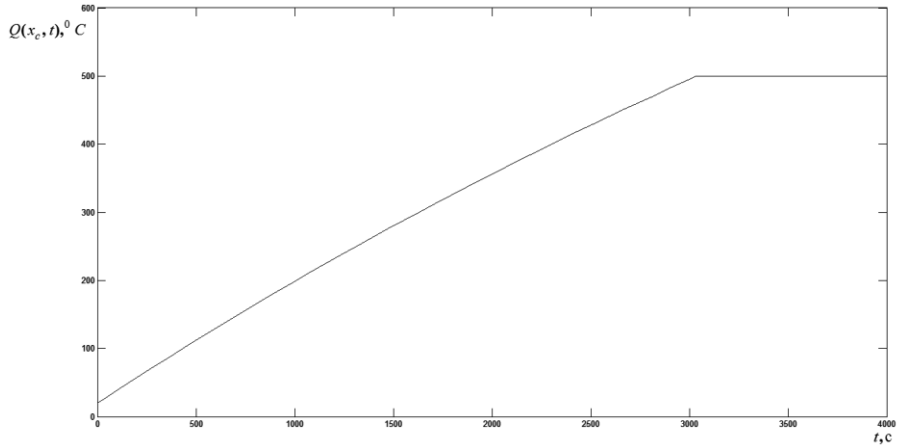


Рисунок 5 – Измерение температуры в точке x_c

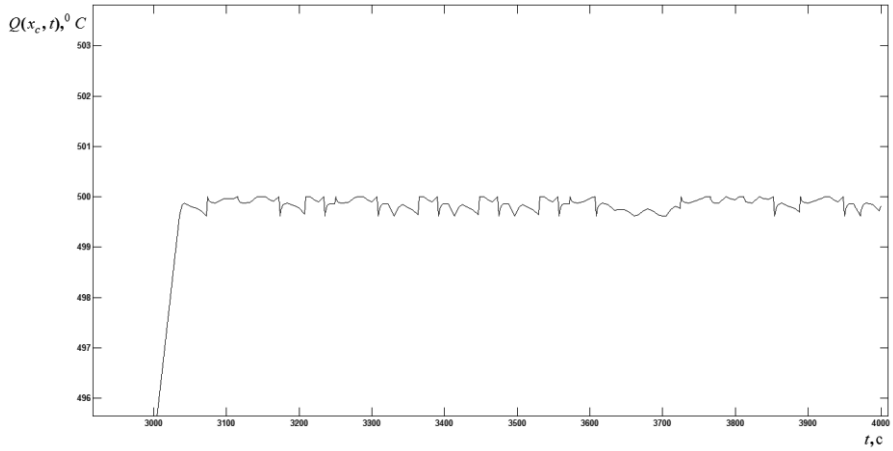


Рисунок 6 – Поведение температуры в точке x_c при достижении целевого значения

Заключение

В статье исследована возможность применения метода агрегированного управления к объекту с распределенными параметрами – процессу периодического индукционного нагрева.

Получен алгоритм субоптимального по критерию быстродействия управления процессом нагрева в точке на поверхности металлической заготовки.

Список литературы

[1] Колесников А.А. Последовательная оптимизация нелинейных агрегированных систем управления// Энергоатомиздат, 1987

[2] Рапопорт Э.Я. Аналитическое конструирование агрегированных регуляторов в системах с распределенными параметрами // Известия РАН. Теория и системы управления. 2012. - С. 38-54.

[3] Плешивцева Ю.Э., Попов А.В., Дьяконов А.И. Двумерная задача оптимального по типовым критериям качества управления процессом сквозного индукционного нагрева // Вестн. самар. гос. техн. ун-та. Сер. Технические науки.– Самара, 2014. - С. 148-163.

О СОВМЕСТНОЙ РАБОТЕ НЕЙРОСЕТЕВЫХ НАСТРОЙЩИКОВ РЕГУЛЯТОРОВ ТОКА ЯКОРЯ И СКОРОСТИ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ ПРОКАТНОЙ КЛЕТИ

Ю.И. Еременко[1], А.И. Глущенко[1], В.А. Петров[1]

Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) ФГАОУ ВО
Национального исследовательского технологического университета «МИСиС»
79040882508@ya.ru
309516, Старый Оскол, м-н Макаренко, д.42, тел. (4725) 45-12-17

Ключевые слова: *электропривод, прокатная клеть, регулятор, адаптация, нейросетевой настройщик*

Abstract

Roughing rolling mills are complex non-linear metallurgical plants. Their parameters may change values during operation. DC drives and P- and PI-controllers with constant parameters are widely used in such plants control systems. Such systems contain two control loops. Mentioned above linear control algorithms usage leads to transients quality deterioration due to the plant operation mode change. This problem can be solved by online adjustment of the linear controllers parameters. We have previously developed neural tuners for the armature current and the speed controllers functioning in real time without the plant mathematical model. The main objective of this research is to solve the problem of their joint action in real time. The rule bases of the armature current and the speed controllers have been checked for the existence of the rules that could trigger simultaneously. The fact is that a change of the mechanics and the armature winding parameters can lead to similar results in terms of the transients quality. An algorithm is developed to provide both tuners joint action from the point of view of the rules triggering in dependence to the quality of the transients in the current and speed control loops. Experiments have been conducted using the mathematical model of the rolling mill main electric drive under the conditions of the armature winding and the mechanics parameters change both in separate experiments and jointly in one. The control system with the two neural tuners allowed to increase the energy efficiency of the electric drive by 1.9% in comparison with the system without tuning.

Введение

Черновые прокатные клети относятся к сложным нелинейным металлургическим агрегатам, параметры которых могут изменяться в процессе работы [1,2]. В системах управления такими агрегатами широко используются электропривода постоянного тока и П- и ПИ-регуляторы с постоянными параметрами. Такие системы строятся с использованием принципов подчиненного регулирования [3,4], по которому синтезируются два контура управления: внешний контур управления частотой вращения электродвигателя и внутренний контур управления током якоря. Использование упомянутых линейных регуляторов приводит к ухудшению качества переходных процессов в условиях изменения режимов работы [1,2]. В частности, в рассматриваемом приводе могут меняться параметры обмотки якоря и механической части. Это приводит к снижению энергоэффективности электропривода прокатной клети.

Данная проблема может быть решена адаптацией параметров используемых линейных регуляторов в режиме реального времени [5-8]. Все указанные подходы требуют наличия модели электропривода, учитывающей дрейф его параметров. Получение такой модели в условиях производства является довольно сложной задачей. При этом авторами ранее были разработаны нейросетевые настройщики регуляторов тока [9] и скорости, функционирующие в реальном масштабе времени и не требующие модели объекта управления. Их эффективность

была проверена в ситуациях, когда в течение опыта функционировал только один из них. Однако, для повышения энергоэффективности главного электропривода прокатной клети в условиях производства предполагается использование нейросетевых настройщиков одновременно в контурах управления скоростью и током якоря. Непосредственное применение настройщиков вызывает «конфликт» в логике работы баз правил каждого настройщика. Это происходит по следующей причине: изменение параметров обмотки якоря (компенсировать которое должен настройщик тока) может, в определенных условиях, ухудшать переходные процессы в контуре скорости, что вызывает срабатывание базы правил настройщика контура скорости и, следовательно, настройку регулятора скорости. Также возможна обратная ситуация: изменение механической части электропривода может привести к изменению качества работы контура тока и последующей настройке соответствующего регулятора.

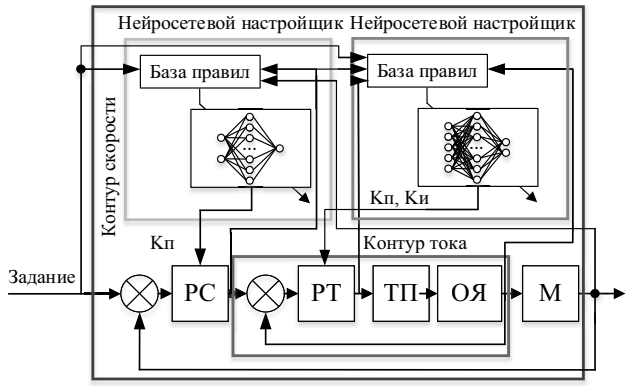
Целью данной работы является решение проблемы совместной работы нейросетевых настройщиков в контуре регулирования скорости и тока якоря в режиме реального времени путем разработки соответствующего алгоритма, определяющего какой регулятор нуждается в настройке.

1 Нейросетевой настройщик

Рассмотрим структуру нейросетевого настройщика. Он комбинирует метод применения нейронных сетей (НС) для коррекции коэффициентов регулятора с базой правил ситуаций, когда необходимо проводить такую настройку. В качестве следствий в правилах выступают скорости обучения нейронов НС. С функциональной точки зрения нейросетевой настройщик представляет собой совокупность двух взаимосвязанных элементов: нейронная сеть и база правил.

В соответствии с методом, предложенным в работе [10], в настройщике контура регулирования скорости используется искусственная нейронная сеть структуры 2-7-1, в настройщике контура регулирования тока – 5-14-2. Описание баз правил настройщиков приведены в [9].

Предлагается следующая схема применения нейросетевого настройщика в контурах управления скоростью и тока якоря главного электропривода прокатной клети (рис. 1).



РС – регулятор скорости, РТ – регулятор тока, ТП – тиристорный преобразователь, ОЯ – обмотка якоря, М – механическая часть

Рис. 1 – Функциональная схема применения нейросетевого настройщика

2 Разработка алгоритма совместной работы настройщиков

Как было указано выше, в процессе совместной работы баз правил рассматриваемых настройщиков возникают противоречия. Рассмотрим правила, вызывающие «конфликтные» ситуации.

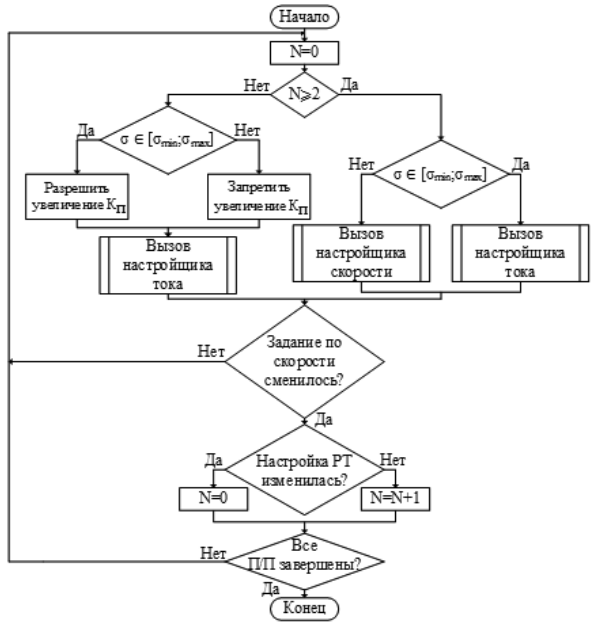
1) Правила настройщика тока:

- ЕСЛИ достигнуты первые пики для кривых тока и задания, И модуль экстремума задания равен максимально допустимому току, И экстремум тока больше экстремума задания (более чем на 3%), И кривая ток достиг экстремума в момент, когда задание отклонилась от своего пика более чем на 20% по амплитуде, то необходимо увеличить $К_{п\ тока}$.
- ЕСЛИ не производилось уменьшение $К_{п\ тока}$ на данном переходном процессе, И достигнуты первые и вторые экстремумы тока и задания, И экстремум задания меньше максимального тока, И экстремум тока больше экстремума задания не более, чем на 3%, И второй экстремум тока меньше второго экстремума задания, ТО необходимо увеличить $К_{п\ тока}$.

2) Правила настройщика скорости:

- ЕСЛИ перерегулирование по скорости не достигает необходимого значения, выбранного оператором, И перерегулирование больше ноля, ТО необходимо увеличить $К_{п\ скорости}$.
- ЕСЛИ переходный процесс завершился, И кривая скорости не достигла кривой задания, ТО необходимо увеличить $К_{п\ скорости}$.

Для разграничения случаев срабатывания этих правил был разработан алгоритм, приведенный на рис. 2. Вызов нейросетевого настройщика регулятора скорости происходит только если два и более переходных процессов в контуре скорости произошло без настройки регулятора тока. Настройщик регулятора тока может увеличивать значение $К_{п\ тока}$, используя упомянутые правила только в случае если перерегулирование в контуре скорости попадает в допустимый диапазон.



N – количество переходных процессов (П/П) в контуре скорости, на которых не производилась настройка РТ; σ – перерегулирование в контуре скорости; $[\sigma_{min};\sigma_{max}]$ – допустимый диапазон значений перерегулирования в контуре скорости

Рис. 2 – Алгоритм совместной работы двух нейросетевых настройщиков

3 Экспериментальная часть

Эксперименты производились на модели главного электропривода двухвалковой прокатной клети, разработанной в MATLAB Simulink. Модель представляет собой двухконтурную систему управления двигателем постоянного тока независимого возбуждения. Регуляторы тока и скорости настроены на технический оптимум ($К_{п\ тока}$=0.489; $К_{и\ тока}$=13.649; $К_{п\ скорости}$=1.745). Модель обмотки якоря представляет собой апериодическое звено первого порядка с номинальными значениями параметров $К_{я\ ном}$=41.67 и $Т_{э\ ном}$=0.036 с. Модель механической части электропривода выполнена в виде интегратора с номинальным значением постоянной времени интегрирования $J_{ном}$=4798 кг·м². Более подробное описание модели приведено в [9]. В первом опыте (Рис. 3) моделировалось изменение параметров обмотки якоря электродвигателя. $К_я$ и $Т_э$ изменялись в пределах 80%÷120% от номинальных значений (рис. 3 е, ж). В соответствии с разработанным алгоритмом производилась настройка только регулятора тока (рис. 3 г, д), а база правил настройщика скорости не вызывалась.

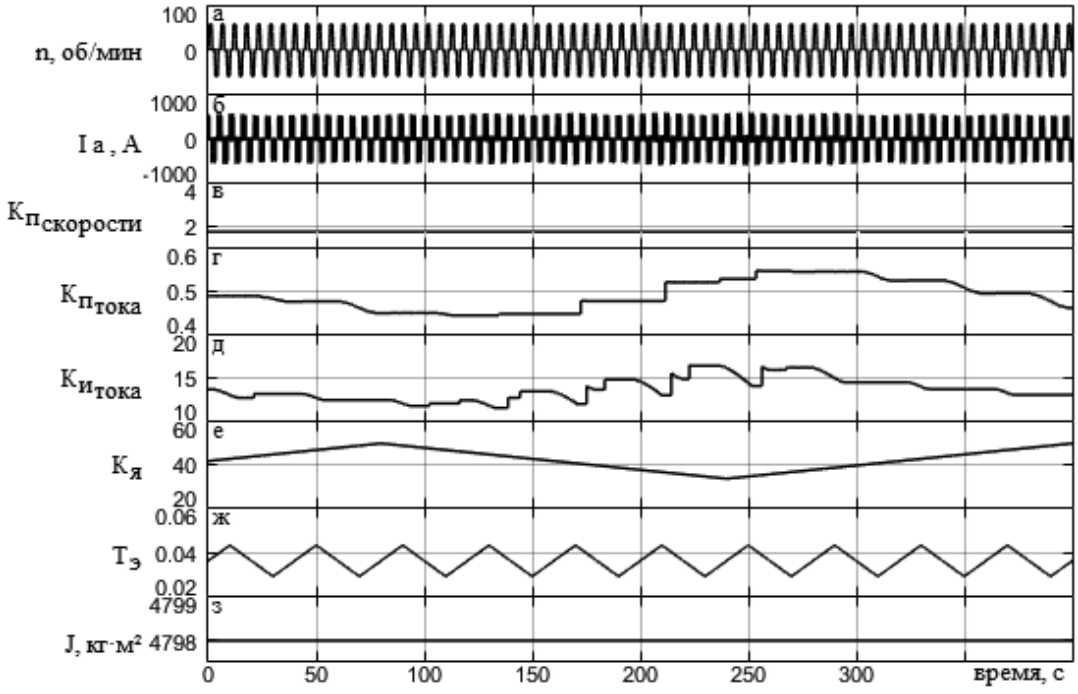


Рис. 3 – Эксперимент с дрейфом параметров обмотки якоря

Во втором опыте (Рис. 4) моделировалась обратная ситуация: изменялся момент инерции механической части электропривода J в пределах 50%÷150% от номинального значения (рис. 4 з). В данном эксперименте производилась только настройка контура скорости (рис.4 в), а база правил настройщика контура тока не вызывалась. По результатам этих экспериментов можно сделать вывод о том, что разработанный алгоритм позволил исключить «конфликтные» ситуации настройщиков тока и скорости. На рис. 5 приведены результаты эксперимента, в котором одновременно изменялись параметры обмотки якоря двигателя (рис. 5 е, ж) и момент инерции механической части электропривода (рис. 5 з). Совместное применение позволило снизить энергопотребление электропривода, по сравнению с системой без настройки, на 1.9% за время эксперимента.

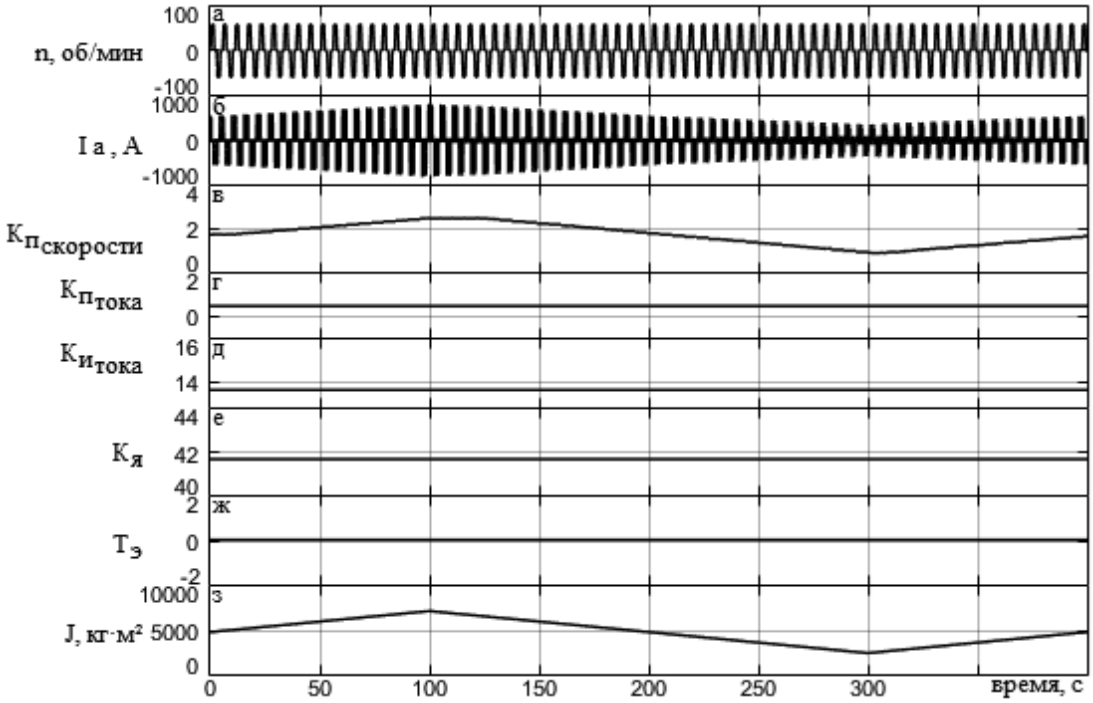


Рис. 4 – Эксперимен с дрейфом момента инерции электропривода

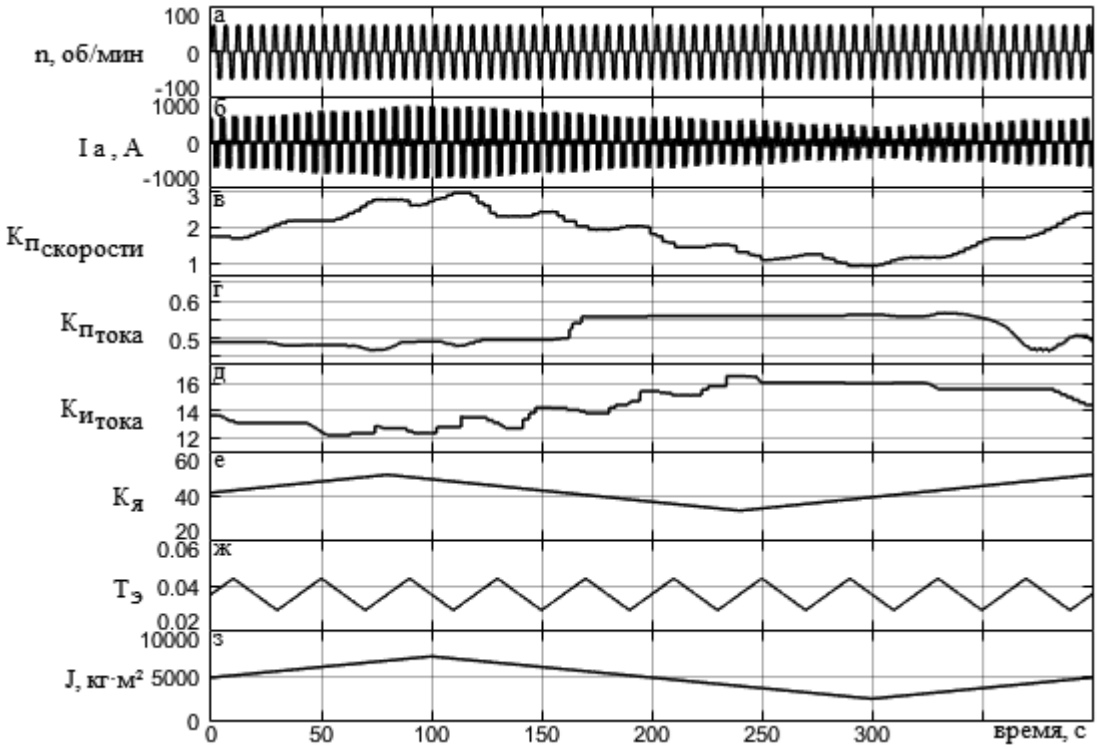


Рис. 5 – Эксперимент с дрейфом момента инерции электропривода и параметров обмотки якоря

Заключение

В работе были проанализированы базы правил нейросетевых настройщиков регуляторов контуров тока и скорости на наличие правил, которые могут сработать одновременно. Скорректированы базы правил настройщиков. Был разработан алгоритм совместной работы настройщиков с точки зрения срабатывания правил в зависимости от качества переходных процессов в контурах тока и скорости. Проведены эксперименты на математической модели главного электропривода прокатной клети в условиях изменения параметров обмотки якоря и механической части привода как в отдельных экспериментах, так и совместно в одном. Система управления с двумя нейросетевыми настройщиками, по сравнению с системой без настройки, позволила повысить энергоэффективность работы электропривода на 1.9%. Ввиду высокой мощности рассматриваемого привода даже такая экономия позволит добиться существенного экономического эффекта и снизить себестоимость проката.

Благодарности

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант 15-07-06092).

Список литературы

[1] Fan L. P., Liu Y. Fuzzy Tuning PID Control of the Rolling Mill Main Drive System // Applied Mechanics and Materials. – 2015. – Vol. 713. – P. 739-742.
[2] Fan L., Liu Y. Fuzzy Self-Tuning PID Control of the Main Drive System for Four-High Hot Rolling Mill //Journal of Advanced Manufacturing Systems. – 2015. – Vol. 14. – №. 01. – P. 11-22.
[3] Stashinov. Y. P. On the issue of control system adjustment of a direct current drive on the modular optimum. Part 1 // Russian Electrical Engineering. – 2016. – №87.1. – pp. 1-5.
[4] Leonhard W. Control of electrical drives. – Springer Science & Business Media, 2012. – 421.
[5] Александров А. Г., Паленов М. В. Состояние и перспективы развития адаптивных ПИД-регуляторов в технических системах //Автоматика и телемеханика. – 2014. – №. 2. – С. 16-30.
[6] Шубладзе А. М., Кузнецов С. И. Автоматически настраивающиеся промышленные ПИ и ПИД регуляторы // Автоматизация в промышленности. – 2007. – №2. – С. 15–17.
[7] Ротач В. Я., Кузищин В. Ф., Петров С. В. Настройка регуляторов по переходным характеристикам систем управления без их аппроксимации аналитическими выражениями // Автоматизация в промышленности. – 2009. – № 11.– С. 9–12.
[8] Alexandrov A. G., Palenov M. V. Self-tuning PID-I controller. Proc. 18th IFAC World Congress, Milano, Italy, 2011. – P. 3635–3640.
[9] Еременко Ю. И., Глущенко А. И., Петров В. А. О нейросетевой адаптации параметров ПИ-регулятора контура тока системы управления прокатной клетью в реальном времени // Системы управления и информационные технологии. – 2016. – № 3 (65). – С.62-68.
[10] Еременко Ю.И., Глущенко А.И. О разработке метода выбора структуры нейронной сети для решения задачи адаптации параметров линейных регуляторов // Управление большими системами.– 2016.–Вып.62. – С.75-123.

ИДЕНТИФИКАЦИЯ МНОГОПАРАМЕТРИЧЕСКОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА ПРИ ПОМОЩИ НЕЙРОННОЙ СЕТИ

Ю.И. Еременко, Д.А. Полещенко, Ю.А. Цыганков, М.Д. Боровинских
СТИ НИТУ «МИСиС»
309516, Россия, г. Старый Оскол, Белгородской области, м-он Макаренко, 42
451222@sf-misis.ru
тел: +7 (4725) 45-12-22

Ключевые слова: *шаровая мельница, идентификация, математическая модель, регрессионный анализ, нейронная сеть, Matlab*

Abstract
In this paper a ball mill is identified on the basis of real industrial system operational data using a multilayer neural network. This problem is actual as at present there is no system that allows to control the mill at the required accuracy. The plant is controlled manually by an operator. That negatively affects its specific performance. This is due to the fact that the operator does not have means to control the mill filling level and operates with an underload of 10-15%, since it is difficult to predict what effect will cause the change of the controlled parameters for the current technological state. The main reason for this is that the ball mill is the plant, which operation depends on a large number of factors, both measurable and not. There are complex nonlinear dependencies between them. Therefore, the aim of this research is to develop a method allowing to obtain the ball mill model of required accuracy despite of existence of all these features making the identification process so complicated. This model could help an operator to predict the behavior of the plant. It also could be used to automate the mill by implementing an adaptive control system with search. Identifying the plant, the data from the real system are analyzed, their preprocessing is performed, the intercorrelation of the data channels is analyzed, and then various approaches to the mathematical model development are analyzed. Regression analysis methods based on the Kolmogorov-Gabor function, linear, quadratic and polynomials up to the fifth order are implemented to make comparative analysis. But the ball mill is identified with the help a multilayer neural network due to the complexity of the interdependencies between the parameters of the plant. This method of artificial intelligence has the ability to approximate complex nonlinear dependencies and is able to adapt to previously unknown data. We consider various architectures of multilayer structures and use various activation functions in order to choose the most suitable network structure. Comparative modeling in Matlab has allowed to obtain graphs and estimates of transients quality for various modes of the mill functioning. The neural network shows the higher quality of model approximation in comparison with the classical approaches. The result of the research is the determination of the appropriate neural network structure allowing to perform the simulation of the ball mill operation with the necessary accuracy following the specified experimental conditions. This network will make it possible to develop a mill control system and improve the control quality.

Введение

В настоящее время на промышленных предприятиях достаточно актуален вопрос энергоэффективности работы производственных агрегатов. Обусловлено это тем, что в условиях выхода на мировой рынок ведется конкурентная борьба, одним из механизмов которой является ценовая политика компании и цена за единицу продукции в частности. Для снижения данного показателя необходимо снижение себестоимости, одним из факторов которой являются энергозатраты на производство товара. Существуют различные методы повышения энергоэффективности, однако, ввиду высокого уровня автоматизации большинства промышленных

предприятий и горно-обогатительных комбинатов в частности, решение данной проблемы все чаще лежит в области алгоритмического обеспечения систем управления. Особенно актуально это для тех объектов, которые потребляют наибольшую часть энергоносителей, цена на которые постоянно растет, и обрабатывают основной объем выпускаемой продукции.

Одним из подобных объектов является шаровая мельница. Это агрегат, осуществляющий помол рудного материала, поступающего из корпуса дробления. В мельницу подаются потоки руды, воды, осуществляется возврат некондиционного помола из классификатора (пески).

Все это создает условия, в которых на выход объекта зачастую воздействуют несколько измеряемых и неизмеряемых входных параметров нелинейного характера, между которыми наблюдается корреляция. Помимо этого присутствует нестационарность состояний самого объекта за счет изменения футеровки, объема загруженных шаров и различных характеристик подаваемой руды [1]. Все эти факторы усложняют разработку математической модели шаровой мельницы, необходимой для реализации системы автоматического управления объектом [2]. Необходимость получения модели обуславливается тем, что большинство алгоритмов управления подразумевают наличие механизма или функциональной зависимости преобразования входных воздействий в значение выходного параметра. Поэтому в настоящее время оператор управляет агрегатом вручную, что объективно не может являться достоверным алгоритмом, поскольку практически невозможно учесть все существующие взаимовлияния технологических параметров, различные возмущения и состояния, а тем более достичь области энергетической и экономической эффективности[3].

1 Основная часть

Одним из методов описания технологических объектов на основе данных его промышленной эксплуатации является регрессионный анализ, который позволяет аппроксимировать значения выбранного параметра на основе выбранной функциональной зависимости. Для получения аппроксимирующей зависимости использовались данные из реальной промышленной системы. Перед использованием данные были обработаны, отфильтрованы при помощи алгоритма скользящего среднего и подвергнуты процедуре нормировки по формуле 1.

$$X[i]norm = \frac{X[i] - X[i]\mathbf{min}}{X[i]\mathbf{max} - X[i]\mathbf{min}}, \quad (1)$$

где X[i] – оригинальные значения переменной, X[i]norm – нормированные значения переменной, X[i]max – максимальное измеренное значение переменной, X[i]min - минимальное измеренное значение переменной.

В качестве входных переменных нами были выбраны значения объема подаваемой руды, воды в мельницу и воды в бутару мельницы, которые представляют собой потоки загружаемого материала. В качестве выходной переменной был выбран ток спирали классификатора, поскольку именно этот параметр на данный момент является наиболее значимым при управлении вручную оператором. Схематически модель мельницы представлена на рисунке 1.

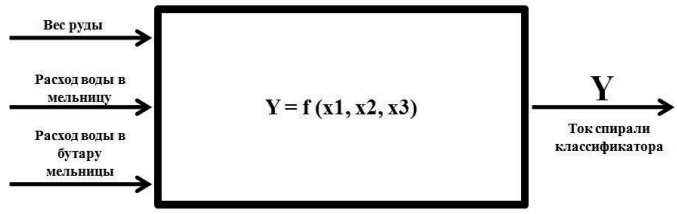


Рисунок 1 – Схема математической модели шаровой мельницы

Для аппроксимации нами были использованы такие функциональные зависимости как линейная, квадратичная, кубическая, степенные полиномы 4-ой и 5-ой степени. Для оценки качества моделирования использовались функционал метода наименьших квадратов и коэффициент корреляции. Наилучшие показатели были достигнуты при использовании полинома Колмогорова-Габора [4], используемого для описания нелинейных объектов, общий вид которого приведен в формуле 2.

$$(2)\quad Y(x_1 \ldots x_n) = b_0 + \sum_{i=1}^{n} b_i x_i + \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} b_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}\sum_{k=1}^{n} b_{ijk} x_i x_j x_k ,$$

где Y – значение выходного параметра объекта, x[1..n] – входные воздействия, n - количество входных параметров, b_{ijk} – коэффициенты полинома.

После нахождения коэффициента полинома функциональная зависимость приняла вид (3). Численные значения показателей качества для наиболее значимых экспериментов приведены в таблице 1.

$$(3)\quad \begin{aligned} Y(x_1, x_2, x_3) = {} & 0.5707 + 0.7172 \cdot x_1 + 1.8521 \cdot x_2 - 2.8868 \cdot x_3 - 19.354 \cdot x_1^2 - 11.6399 \cdot x_2^2 + \\ & + 4.1287 \cdot x_3^2 + 26.6996 \cdot x_1 \cdot x_2 + 2.0267 \cdot x_1 \cdot x_3 - 1.3464 \cdot x_2 \cdot x_3 + 22.1662 \cdot x_1^3 + 0.3278 \cdot x_2^3 - \\ & - 0.9999 \cdot x_3^3 + 3.9594 \cdot x_1 \cdot x_2 \cdot x_3 - 31.326 \cdot x_1^2 \cdot x_2 - 4.2222 \cdot x_1^2 \cdot x_3 + 9.5516 \cdot x_2^2 \cdot x_1 + \\ & + 4.1426 \cdot x_2^2 \cdot x_3 + 0.8245 \cdot x_3^2 \cdot x_1 - 4.6843 \cdot x_3^2 \cdot x_2 , \end{aligned}$$

где Y – значение выходного параметра объекта, x[1..3] – входные воздействия.

На основе схемы, представленной на рисунке 1, в пакете Simulink Matlab была реализована математическая модель объекта. В схеме, для придания динамических свойств, в каналы подачи материала были добавлены апериодические звенья. Постоянные времени были рассчитаны при оценке переходных процессов, происходящих из-за изменения уставки в соответствующем канале. Для этого выбирались такие переходные процессы, при которых значения двух других входных параметров находились на стабильных уровнях. Окончательный вид математической модели в пакете Matlab представлен на рисунке 2.

После этого была осуществлена симуляция работы модели, результатом которой стал график приведенный на рисунке 3, где жирной линией обозначен график оригинальных значений тока, а пунктирной линией – сигнал тока на выходе модели. Стоит упомянуть, что изначально на вход модели для нахождения коэффициентов подавалась выборка объемом 4500 точек, а затем, для оценки качества функционирования, использовалась тестовая выборка объемом 500 точек, соответствующая процессу, но не входящая в первоначальную выборку.

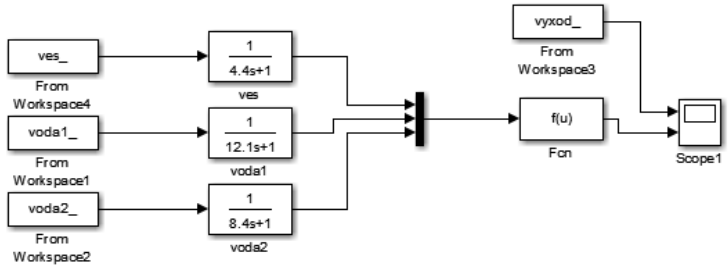


Рисунок 2 – Математическая модель шаровой мельницы в пакете Matlab на основе полинома Колмогорова-Габора

Из рисунка видно, что модель на основе полинома (2) повторяет характер графика тока, однако точность не достаточно высока для ее использования в системе управления.

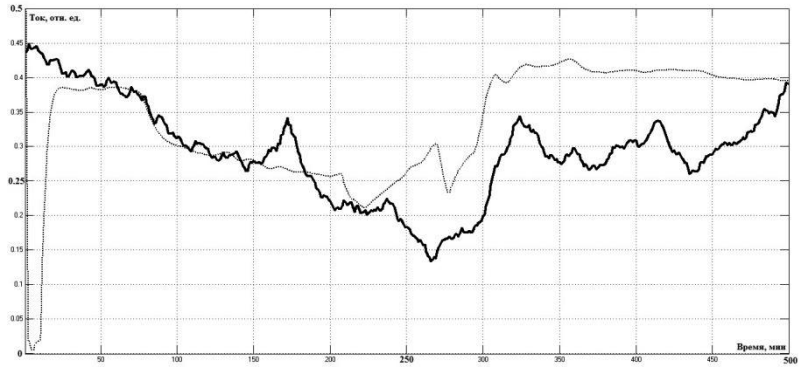


Рисунок 3 – График работы модели шаровой мельницы на основе полинома Колмогорова-Габора

После этого было принято решение построить модель шаровой мельницы на основе аппарата нейронных сетей, которые обладают способностью аппроксимации нелинейных зависимостей за счет функций активации нейронов и выявления взаимосвязей между сигналами.

В ходе работы были проведены эксперименты с целью выявления архитектуры сети, позволяющей достичь наиболее высокого качества моделирования работы шаровой мельницы. Опыты проводились с использованием сетей прямого распространения сигнала, типовая архитектура которых, адаптированная для решения данной задачи, представлена на рисунке 4.

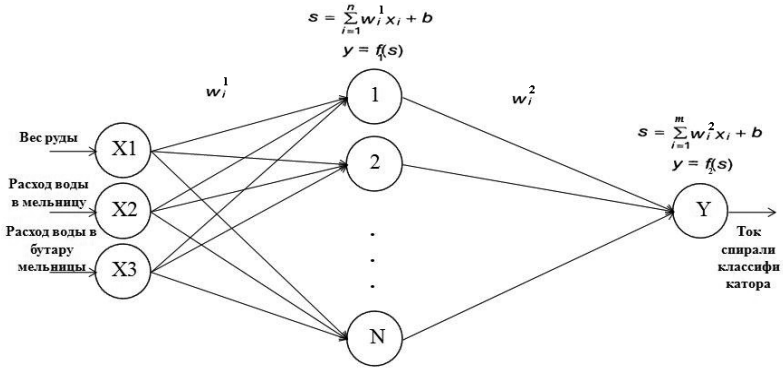


Рисунок 4 – Типовая архитектура нейронной сети прямого распространения сигнала

Положительный результат был получен при использовании сети с 2-мя скрытыми слоями в 60 и 30 нейронов и гиперболическим тангенсом и сигмоидной функциями активации в соответствующих слоях. На выходном слое располагался один нейрон с линейной функцией активации. Механизм обучения и тестирования был аналогичен тому, что использовался при работе с аппроксимирующими полиномами при регрессионном анализе. Результат функционирования обученной нейронной сети на данной тестовой выборке представлен на рисунке 5.

Из рисунка видно, что данная структура позволила достичь высокого качества обучения, однако при работе на неизвестных данных был повторен только общий характер графика тока, а качество моделирования было снижено из-за колебаний выхода модели относительно оригинальных значений тока. Ввиду наличия данного недостатка было принято решения об усложнении структуры сети, которое, предположительно, повысит качество работы сети на неизвестных данных.

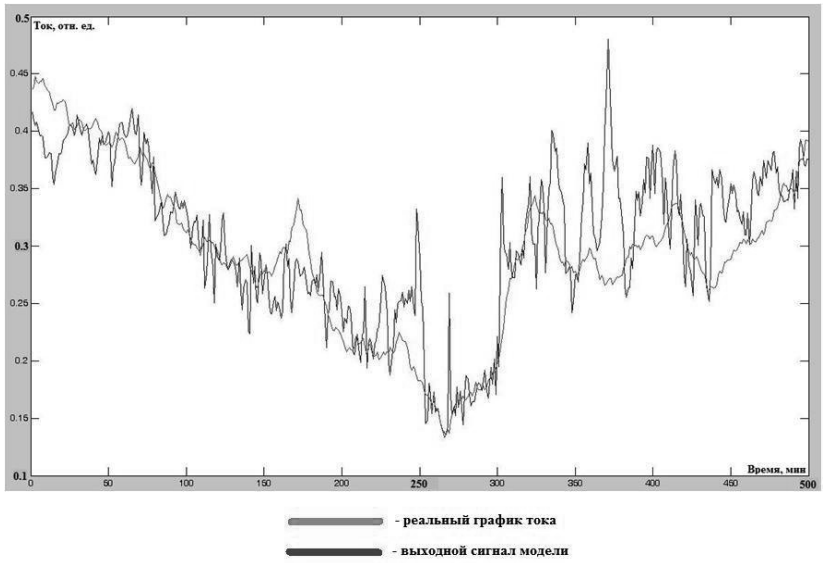


Рисунок 5 – График результата работы модели на основе нейронной сети с 2мя скрытыми слоями

Наиболее качественный результат был достигнут при использовании сети с 3-мя скрытыми слоями и количеством нейронов 55, 50 и 45 соответственно. Функциями активации были гиперболический тангенс и сигмоидная функция активации в двух последующих слоях, а также линейная функция в выходном слое. На рисунке 6 показано, что колебания модельного относительно реального значения снизились. Стоит отметить, что качество обучения нейронной сети несколько снижается, однако, возрастает аппроксимирующая способность, качество усреднения.

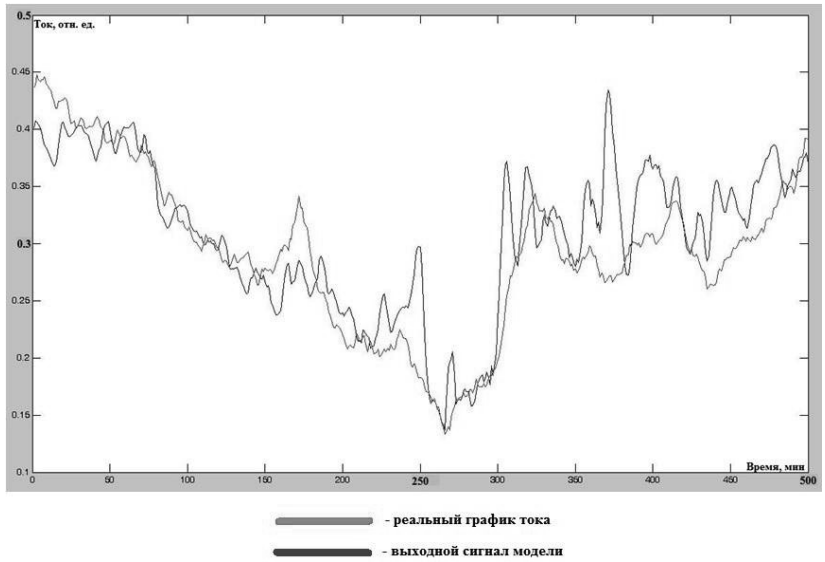


Рисунок 6 – График результата работы модели на основе нейронной сети с 3мя скрытыми слоями

Дальнейшее усложнение структуры значительного выигрыша в качестве моделирования не дало. Это позволяет сделать предположение о возможности использования подобной модели в реальной системе управления для работы с неизвестными значениями сигнала.

Таблица 1. Численные показатели качества моделирования

Метод построения модели	**Обучающая выборка**		**Тестовая выборка**	
	Значение функционала МНК	**Коэффициент корреляции**	**Значение функционала МНК**	**Коэффициент корреляции**
Регрессионный анализ на основе степенного полинома 5ой степени	107.961	0.5374	-	-
Регрессионный анализ на основе полинома Колмогорова-Габора	49.9588	0.5821	8.3704	0.1011
Многослойная НС (2 скрытых слоя)	9.2839	0.9361	0.8752	0.8364
Многослойная НС (3 скрытых слоя)	12.0503	0.9161	0.7714	0.8585

Заключение

Дальнейшим направлением работ станет изучения возможности применения нейронных сетей с радиально базисной функцией активации, которые обладают отличными от используемых сетей функциями активации и, предположительно, смогут повысить качество моделирования.

Список литературы

[1] Андреев С.Е. Дробление, измельчение и грохочение полезных ископаемых. – М.: «Недра», 1980. – 320 с.

[2] Monov V., Sokolov B., Stoenchev S. Grinding in Ball Mills: Modeling and Process Control. Cybernetics and Information Technologies. Volume 12, Issue 2, Pages 51–68, ISSN (Online) 1314-4081, ISSN (Print) 1311-9702.

[3] Полещенко Д.А., Цыганков Ю.А. Идентификация многопараметрического технологического объекта управления//Материалы XIII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Современные проблемы горно-металлургического комплекса. Наука и производство. - Старый Оскол: типография СТИ НИТУ "МИСиС", 2016. - С. 88-90.

[4] Колмогоров А. Н. Интерполирование и экстраполирование стационарных случайных последовательностей // Изв. АН СССР. Сер. матем., т. 5:1, 1941. — С. 3-14.

АНАЛИЗ УСТОЙЧИВОСТИ ЛИНЕЙНЫХ МНОГОМЕРНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ, ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩИХ ЧЕРЕЗ ГОЛОНОМНЫЕ СВЯЗИ

Б.Г. Ильясов, Г.А. Саитова

ФГБОУ ВО Уфимский государственный авиационный технический университет
450000, Республика Башкортостан, г. Уфа, ул. К. Маркса, д. 12, Россия
ilyasov@tc.ugatu.ac.ru, saitova@bk.ru,
тел: +7 (347) 273-38-75, факс: +7 (347) 272-29-18

Ключевые слова: *голономные связи; годограф Михайлова; многосвязная система; устойчивость; частотные методы*

Abstract
The article the frequency criterion of stability for multivariable control systems with holonomic constraints is offered and gives an example.

Введение

В современной теории управления широко распространён способ описания линейных стационарных динамических систем в виде системы обыкновенных дифференциальных уравнений первого порядка в так называемой нормальной форме пространства состояний (стандартизованной векторно – матричный форме Коши) [1], который имеет следующий вид:

$$(1)\quad \begin{aligned} &\dot{X}(t) = AX(t) + BU(t); \quad X(t_0) = X_0(t), \quad t > t_0 \\ &Y(t) = CX(t) + DU(t), \end{aligned}$$

где $X(t)$ – вектор состояния, $\dot{X}(t)$ – вектор производной состояния, $U(t)$ – вектор входных сигналов, $Y(t)$ – вектор выходных сигналов, $X_0(t)$ – вектор состояния системы в момент времени $t = t_0$, *A, B, C, D* – числовые матрицы соответствующих размерностей.

Если $D \equiv 0$, то система (1) называется собственной (строго реализуемой). В противном случае ($D \neq 0$) система называется несобственной.

Устойчивость такой системы по А.М. Ляпунову определяется по корням характеристического уравнения:

$$(2)\quad \mathbf{det}\left[\lambda \mathbf{I} - \mathbf{A}\right] = 0$$

где I – единичная матрица, λ –корни характеристического уравнения (собственные числа матрицы **A**).

При этом для устойчивости системы уравнений (1) необходимо и достаточно, чтобы вещественные части собственных числа матрицы **A** были строго отрицательными [1].

Система уравнений (1) описывает такие динамические системы, которые состоят из множества связанных динамических элементов, состояние которых в автономном (несвязном) режиме описывается дифференциальным уравнениям первого порядка. При этом часть переменных состояния уравнения (1) отражает физические координаты системы, другая – абстрактные координаты. При применении математических матричных преобразований к системе уравнений (1) еще в большей степени теряется физичность (физическое толкование) получаемых результатов.

Известно, что инженеру приходится иметь дело с системами, для описания которых требуется большое количество переменных. При этом, как показывает опыт, применение простых

методов анализа высокоразмерных систем оказывается невозможным, так как они часто дают неверный результат.

К решению проблемы снижения размерности системы можно выделить два подхода: академический и инженерной. При первом подходе реальные объекты заменяются тем или иным способом моделями, описываемыми уравнениями более низкого порядка. Но такой подход приводит к тому, что спроектированная система оказывается неадекватной реальной. При инженерном подходе стараются сохранить физическую сущность системы путем применения математических преобразований (декомпозиции, агрегирования, идеализации, редуцирования и т.д.) не нарушая ее основных свойств.

В данной статье предполагается подход к анализу устойчивости системы (1) путем преобразования ее характеристического уравнения (2) к новому виду. Подобные задачи решались многими исследователями [2-6]

Рассмотрим следующую постановку задачи: для сохранения физического смысла системы (1) представим ее с помощью физических переменных, поведение которых описывается дифференциальными уравнениями высокого порядка, при этом связи между физическими переменными считаем голономными.

Математически это означает, что движения в линейном многомерном пространстве состояний k размерности, где $k<n$, оказывают взаимное влияние друг на друга через численные коэффициенты. При этом взаимное влияние носит групповой характер.

Для предлагаемого описания системы определим критерий устойчивости по новому виду ее характеристического уравнения.

Описание динамической системы в полиномиальной векторно-матричной форме

Пусть математическая природа системы уравнений (1) такова, что в ней участвуют только физические переменные $x_i(t)$, движение которых в автономном (несвязном) режиме описывается дифференциальным уравнением высокого порядка ($k>1$) и в котором отражена связь физических и абстрактных переменных, входящих в состав исходной системы уравнений (1). Допустим, что связь между физическими переменными $x_i(t)$ по-прежнему описывается числовыми коэффициентами.

Тогда описание в операторной форме линейной стационарной однотипной динамической системы примет вид:

$$
\begin{aligned}
&M_1(p)x_1 = a_{12}x_2 + a_{13}x_3 + \ldots + a_{1n}x_n + b_1u_1 \\
&M_2(p)x_2 = a_{21}x_1 + a_{23}x_3 + \ldots + a_{1n}x_n + b_2u_2 \\
&\ldots \\
&M_n(p)x_n = a_{n1}x_1 + a_{n2}x_2 + \ldots + a_{n-1}x_{n-1} + b_nu_n
\end{aligned}
\qquad (3)
$$

где p – оператор дифференцирования, $M_i(p)$ полином от p некоторой степени $k>1$, b_i – коэффициенты входных сигналов подсистем u_i, переменные x_i - физически реализуемые координаты системы, a_{ij} - коэффициенты численного влияния j-ой переменной на i-ую ($i>j$) переменную.

При этом считаем начальные условия всех переменных x_i и их производных равными нулю, $\forall i : x_i(0) = \dot{x}_i(0) = \ddot{x}_i(0) = \ldots = 0$, т.е. система находится в состоянии равновесия.

В системе уравнения (3) полином $M(p)$ есть характеристический полином i-ой подсистемы в автономном режиме. Следовательно, все физические переменные x_i со своими полиномами $M_i(p)$ связаны друг с другом через числовые коэффициенты a_{ij}, т.е. система (3) представляет собой многосвязную систему.

В дальнейшем для простоты суждения, сравнивая систему уравнений (1) и (3), предположим, что:

1) все коэффициенты a_{ii} в матрице $\boldsymbol{A}$ равны друг другу и равны -1, т.е. $\forall i:\quad a_{ii}=-1$;
2) все полиномы $M_i(p)$ равны друг другу, т.е. $\forall i: M_i(p)=M(p)$, при этом $M_i(0)=M(0)=1$, отсюда следует, что степени k_i полиномов $M_i(p)$ также равны друг другу и могут быть любой целой положительной величиной, больше единицы, т.е. $k_1=k_2=\ldots=k_n>1$.

Отметим, что используемый здесь принцип однотипности систем применяется в теории систем и управления [2-7]

Все эти ограничения не являются жёсткими и не оказывают принципиального влияния на конечный результат.

В полиномиальной векторно-матричной форме систему уравнений (3) запишем следующим образом:

(4) $N(p)X(t)=HX(t)+BU(t),$

где $N(p)$ – полиномиальная диагональная матрица, в диагонали которой стоят характеристические полиномы $M(p)$ автономных подсистем:

(5) $N(p)=diag\{M(p)\},\quad i=\overline{1,n}$,

$X=[x_1,x_2,\ldots,x_n]^{\mathrm{T}}$ – вектор переменных состояния, H–матрица связей между переменными состояниями, где в диагонали стоят элементы равные нулю:

(6) $$H=\begin{bmatrix} 0 & a_{12} & \ldots & a_{1n} \\ a_{21} & 0 & \ldots & a_{2n} \\ \ldots & \ldots & \ldots & \ldots \\ a_{n1} & a_{n2} & \ldots & 0 \end{bmatrix}$$

$B=\left\|b_{ij}\right\|_{n\times r}$ – вектор коэффициентов входных сигналов;

$U=[u_1,u_2,\ldots,u_n]^{\mathrm{T}}$ – вектор входных сигналов.

Тогда структурная схема системы (4) имеет следующий вид:

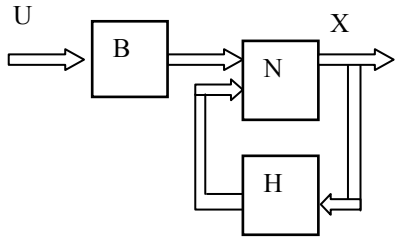


Рисунок 1– Структурная схема, соответствующая системе уравнений (3), (4)

Проанализируем на устойчивость систему уравнений (4). Для этого запишем характеристическое уравнение системы (4):

(7) $\mathbf{det}\left[IN(p)-\mathrm{H}\right]=0$

Раскрыв уравнение (7) относительно полинома $M(p)$, получим новое уравнение с числовыми коэффициентами относительно $M(p)$ в степени, равной порядку матрицы, т.е. количеству физических переменных x_i, связанных друг с другом числовыми отношениями.

Развернув определитель (7), получим характеристическое уравнение для исходной системы (7) в новой форме:

(8) $D(M) = M^n + h_2 M^{n-2} + h_3 M^{n-3} + \ldots + h_n = 0$,

где $h_{2\ldots k}(s) = \det \| H \|_{k \times k}$.

Физический смысл коэффициентов h_i связи таков:

где h_2 = сумма произведений всех пар коэффициентов детерминанта матрицы H,

h_3 = сумма произведений всех троек коэффициентов детерминанта матрицы H, и так далее, h_n = сумма произведений из всех коэффициентов детерминанта матрицы H, расположенных по часовой стрелке роста индексов от 1 до n, и наоборот против часовой стрелки снижения индексов.

Поэтому по характеристическому уравнению (8) будем изучать устойчивость многосвязной системы (3).

Например, учитывая, что $M(0) = 1$, получим условие статической устойчивости всей системы:

(9) $D(0) = 1 + h_2 + h_3 + \ldots + h_n > 0$

Это есть условие положительности свободного члена характеристического уравнения (относительно p) многосвязной системы.

Если в уравнении (8) вместо полинома $M(p)$ поставим комплексную переменную z, то получим уравнение критических точек, которые являются корнями этого уравнения [8-10]:

(10) $z^n + h_2 z^{n-2} + h_3 z^{n-3} + \ldots + h_n = 0$

Годограф $M(j\omega)$ отображает границу устойчивости многосвязной системы на комплексной плоскости корней (критических точек) уравнения (8).

Тогда можно сформулировать следующий критерий устойчивости уравнения 4.

Критерии устойчивости: для системы (4) необходимо и достаточно, чтобы при изменении ω от 0 до ±∞, годограф $M(j\omega)$ (характеристический полином) автономной подсистемы охватывал критические точки уравнения (11) (рис.2)

Если $M(j\omega)$ проходит через критическую точку, то система находится на колебательной границе устойчивости.

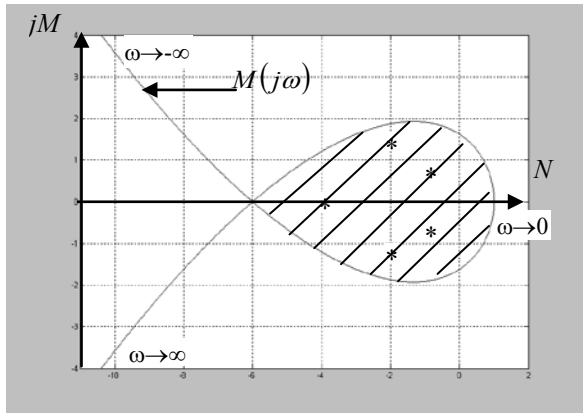


Рисунок 2 – Годограф Михайлова $M(j\omega)$ подсистемы охватывает критические точки уравнения связи

Пример. Для системы (3) характеристическое уравнение имеет вид

$$(11)\quad D(H,M)=\begin{bmatrix} M & -a_{12} & -a_{13} \\ -a_{21} & M & -a_{23} \\ -a_{31} & -a_{32} & M \end{bmatrix} = M^3 + h_2 M^2 + h_3 = 0$$

Условие статической устойчивости $1 + h_2 + h_3 > 0$

Уравнение связи:

$$(12)\quad z^3 + h_2 z^2 + h_3 = 0$$

Коэффициенты уравнения связи считаются по формуле (9):

$h_2 = -(a_{12}a_{21} - a_{13}a_{31} - a_{23}a_{32})$,

$h_3 = \mathbf{det}(H)$,

Пусть задана однотипная САУ, замкнутые сепаратные подсистемы, которой имеют характеристическое уравнение:

$M(p) = p^3 + 3p^2 + 2p + 1$

$M(p)$-полином Гурвица.

Связи между подсистемами являются голономными:

$$H = \begin{pmatrix} 0 & 0.2 & -5 \\ 0.2 & 0 & 0.5 \\ 0.2 & 0.5 & 0 \end{pmatrix}$$

По формуле (9) находим коэффициенты уравнения связи h_i.

$h_3 = -0{,}48$;

$h_2 = -0{,}39$.

При этом корни уравнения связи (13) равны:

$x_1 = 0.937$,

$x_{2,3} = -0.273 \pm 0.662j$.

Построим на комплексной плоскости годограф $M(j\omega)$, при $\omega \in (-\infty, +\infty)$. На этой же плоскости расположим корни уравнения критических точек z_i. Из рис.3 видно, что годограф $M(j\omega)$ охватывает все корни характеристического уравнения связи. Согласно вышеизложенному критерию система является устойчивой, что подтверждают и переходные процессы.

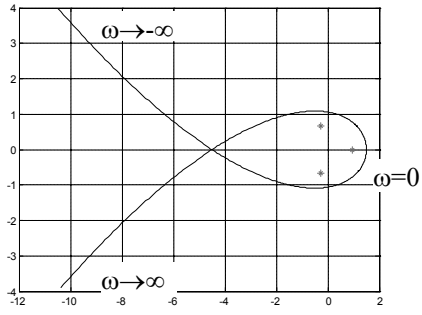


Рисунок 3 – Годограф $M(j\omega)$ подсистемы охватывает критические точки уравнения связи

Расчетный пример подтверждает справедливость теоретических результатов, изложенных в форме критерия устойчивости системы уравнений 3-4.

Заключение

1) Предложен частотный критерий устойчивости для однотипных многосвязных систем автоматического управления, представленных относительно физических координат взаимосвязанных друг с другом через голономные связи.
   Частотные методы позволяют использовать при расчетах экспериментально снятые частотные характеристики, которые учитывают наличие как малых параметров, так и чистого запаздывания, обеспечивают хорошую наглядность инженерных расчетов, а также позволяют использовать для анализа хорошо разработанный математический аппарат.
2) Данный критерий позволяет определять устойчивость многосвязных систем через характеристические полиномы подсистем (полиномы Гурвица) и критических точек уравнения связи, что облегчает анализ влияния свойств отдельных подсистем на устойчивость многосвязной системы в целом.

Благодарности

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ 17-48-020956 р_а, 15-08-01146 А).

Список литературы

[1] Бесекерский В.А., Попов Е.П., Теория систем автоматического регулирования: учебное пособие для вузов. Изд. 4-е, перераб. и доп. – СПб.: Профессия, 2007 г. – 751 с.
[2] Красовский, А.А. Справочник по теории автоматического управления. Текст. / А.А. Красовский и др. М.: Наука, 1987.
[3] Мееров М.В. Системы многосвязного регулирования. М.: Наука, 1965.
[4] Морозовский В.Г. Многосвязные системы автоматического регулирования. М.: Энергия, 1970.
[5] Соболев О.С. Методы исследования линейных многосвязных систем. М.: Энергоатомиздат, 1985.
[6] Поляк Б.Т., Цыпкин Я.З. Устойчивость и робастная устойчивость однотипных систем // АиТ. 1996. № 11. С. 91 – 104. Polyak B.T., Tsypkin Ya.Z. Stability and Robust Stability of Uniform Systems // Autom. and Remote Control. 1996. 57:11. Part 1. 1606–1617.
[7] Петров Б.Н., Черкасов Б.А., Ильясов Б.Г., Куликов Г.Г. Частотный метод анализа и синтеза многомерных систем автоматического регулирования // Докл. АН СССР. 1979. Т. 247. № 2. С. 304 – 307.
[8] Ильясов Б.Г., Кабальнов Ю.С. Исследование устойчивости однотипных многосвязных систем автоматического управления с голономными связями между подсистемами // АиТ. 1995. № 8. С. 82 – 90. Il'yasov B.G., Kabal'nov Yu. S. An Investigation into the Stability of Single-Type Multiply Connected Automatic Control Systems with Holonomic Ties Between Subsystems // Autom. and Remote Control. 1995. 56:8. Part 1. 1120 –1125.
[9] Ильясов Б.Г., Саитова Г.А., Халикова Е.А. Анализ запасов устойчивости гомогенных многосвязных систем управления // Изв. РАН. Теория и системы управления. 2009. № 4. С. 4 – 12.
[10] Ильясов Б.Г., Саитова Г.А. Системный подход к исследованию многосвязных систем автоматического управления на основе частотных методов. Автоматика и телемеханика. 2013. № 3. С. 173-191.

СОЗДАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ РОБОТОВ И АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ВОЗМУЩЕНИЙ

К.В. Канина[1], **А.С. Мальцев**[2], **А.Е. Цупа**[2]

[1] Специализированный учебно-научный центр НГУ
630090, Новосибирск, ул. Пирогова, 11, Россия

[2]Институт автоматики и электрометрии СО РАН
630090, Новосибирск, пр. Академика Коптюга, 1, Россия
alexandr@idisys.iae.nsk.su
тел: +7 (383) 333-26-25

Ключевые слова: *конструирование роботов, управление группой мобильных роботов, синтез систем автоматического регулирования*

Abstract
We consider the design of our own robots, the structure of its software and we suggest the method for solving the control problem in disturbance conditions. The method is based on compensation the disturbances in the special organized fast control loop. The simulation results are presented.

Введение

Беспилотные роботизированные системы находят широкое применение в повседневной жизни, что ставит необходимость в решении научных задач создания и исследования алгоритмов управления ими. В задачах изучения окружающей среды на большой площади, поиска и слежения за целью, транспортирования груза, совместное использование относительно простых устройств в составе единой группы считается более эффективным, чем применение одиночного механизма сложной конструкции. Для перемещения груза распространен подход «*caging*». Группа автономных транспортных средств окружает объект и двигает его вместе, контролируя местоположение каждого представителя группы [1]. Специальные алгоритмы управления отвечают за сохранение конфигурации. Для этого применяются методы, основанные на схеме «лидер-ведомые», в которой лидер движется по заданной траектории, а ведомые поддерживают требуемое местоположение [2-5]. Подобные подходы предлагаются и для управления беспилотным городским транспортом [6].

В докладе рассматривается конструкция собственных роботов для проведения экспериментов с системами управления группой автономных транспортных средств и предложен способ построения системы управления, позволяющий обеспечить заданные динамические характеристики таких роботов. Представлены результаты вычислительных экспериментов, показывающие уменьшение ошибки поддержания заданной конфигурации группы роботов при совместном движении в условиях возмущений.

1 Постановка задачи

Для создания и изучения алгоритмов управления беспилотным транспортом в реальных условиях возникла задача создания отечественной мобильной платформы, пригодной для научных экспериментов, обладающей хорошими вычислительными ресурсами, средствами коммуникации и имеющей невысокую стоимость. Разрабатываемая платформа должна быть пригодна для следующих задач:

- Исследование алгоритмов управления в заранее неизвестном окружении.
- Исследование методов навигации и построения плана местности.
- Исследование механизмов коммуникации и взаимодействия роботов.
- Исследование алгоритмов совместного движения группы роботов.

2 Создание экспериментальных роботов

В ходе работы создан прототип мобильной платформы (рисунок 1), представляющий конструкцию из нескольких уровней. Платформа оснащена инфракрасными датчиками, моторами постоянного тока, платой управления с микроконтроллером STM32 и драйвером двигателей, бортовым компьютером Raspberry Pi и камерой. Микроконтроллер решает задачи управления механизмами и датчиками, одноплатный компьютер - алгоритмами движения и коммуникацией с оператором или другими роботами.

Программное обеспечение для микроконтроллера STM32 разработано с использованием библиотеки SMT32Cube [7] и операционной системы реального времени FreeRTOS [8]. Программа разбита на независимые задачи с возможностью добавления новых:

- UARTTask - получение команд от бортового компьютера, исполнение и передача ответа.
- StateTask - контроль состояния робота и показаний датчиков.
- IndicatorTask - индикация статуса исполнения программы и напряжения аккумуляторной батареи.

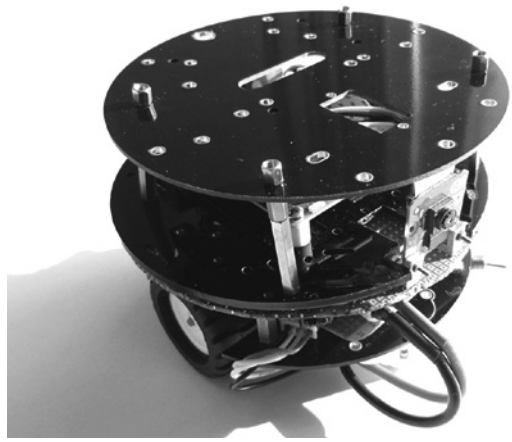


Рисунок 1 – Внешний вид прототипа

Бортовой компьютер реализует функции веб-сервера, автономную навигацию и управление. Модуль автономной навигации основан на расчете и коррекции координат робота и его курсового угла на основе фильтра Калмана. Выходные данные этого модуля используются для автономного движения в точку с заданными координатами. Веб-интерфейс удаленного управления для оператора включает поле для трансляции видео с бортовой камеры, элементы управления движением и индикации значений бортовых датчиков. Общая схема взаимодействия компонент платформы показана на рисунке 2.

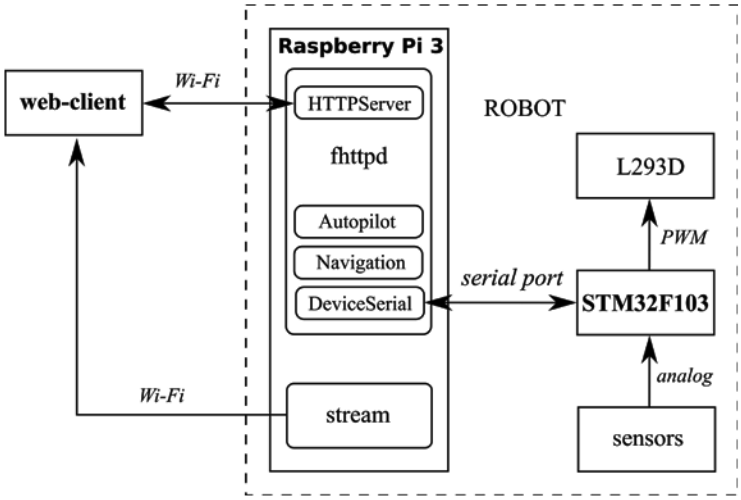


Рисунок 2 – Функциональная схема бортовой системы управления

3 Управление движением в условиях возмущений

Для решения задачи автономного движения робота в точку с заданными координатами в условиях возмущений предлагается синтезировать систему регулирования, в состав которой войдет специальный быстрый контур коррекции управления. Задача этого контура заключается в обеспечении соответствия фактических значений динамических характеристик робота с их желаемыми значениями в независимости от действия возмущений. Также в системе присутствует контур управления конфигурацией группы роботов, который определяет желаемое положение для каждого робота с целью сохранения конфигурации группы и обеспечения координированного движения.

Движение *i*-го робота при управлении линейной и угловой скоростями можно описать [9] следующим дифференциальным уравнением в векторно-матричной форме:

(1) $\dot{\mathbf{x}}_i = \mathbf{f}(\mathbf{x}_i)(\mathbf{u}_i - \mathbf{m}_i(t))$,

где $\mathbf{x}_i = (x_i, y_i, \psi_i)^T$ – вектор состояния *i*-го робота (координаты и курсовой угол); $\mathbf{u}_i = (v_i, \omega_i)^T$ – вектор команд управления линейной и угловой скоростями; $\mathbf{m}_i(t) = (m_{vi}(t), m_{\omega i}(t))^T$ – вектор зависящих от времени возмущения, которые вызваны проскальзыванием колес, изменением нагрузок, заряда аккумулятора и другими факторами; $\mathbf{f}(\mathbf{x}_i)$ – матричная функция вида:

$$\mathbf{f}(\mathbf{x}_i) = \begin{pmatrix} \cos\psi_i & 0 \\ \sin\psi_i & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}.$$

Пусть величина возмущений и скорость их изменения ограничены:

(2) $|m_{vi}(t)| \le v_{i\max}$, $|m_{\omega i}(t)| \le \omega_{i\max}$, $|\dot{m}_{vi}(t)| \le \dot{m}_{vi\max}$, $|\dot{m}_{\omega i}(t)| \le \dot{m}_{\omega i\max}$.

Наша цель [10] обеспечить движение объекта с моделью (1) при возмущениях с ограничениями (2) в соответствии с желаемым уравнением:

(3) $\dot{\mathbf{x}}_i = \mathbf{F}(\mathbf{x}_i)$,

где $\mathbf{F}(\mathbf{x}_i)$ – вектор желаемых значений старших производных переменных состояния:

$$\mathbf{F}(\mathbf{x}_i)=\begin{pmatrix} a_1(x_{ri}-x_i) \\ a_1(y_{ri}-y_i) \\ a_2(\psi_{ri}-\psi_i) \end{pmatrix}.$$

Здесь a_1, a_2 – положительные коэффициенты, задающие скорость сходимости к желаемым координатам $\mathbf{x}_{ri}=(x_{ri}, y_{ri}, \psi_{ri})^T$, которые определяются требуемым положением робота в соответствии с заданной траекторией движения и конфигурацией группы.

Приравнивая правые части уравнений (1) и (3), получим:

(4) $\mathbf{F}(\mathbf{x}_i)=\mathbf{f}(\mathbf{x}_i)(\mathbf{u}_i-\mathbf{m}_i(t))$.

Помножив обе части уравнения (4) на $\left(\mathbf{f}^T(\mathbf{x}_i)\mathbf{f}(\mathbf{x}_i)\right)^{-1}\mathbf{f}^T(\mathbf{x}_i)$, находим уравнение закона управления, которое обеспечивает заданное время сходимости процессов к желаемым в соответствии с (3):

(5) $\mathbf{u}_i=\mathbf{f}^T(\mathbf{x}_i)\mathbf{F}(\mathbf{x}_i)+\mathbf{m}_i(t)$.

Закон управления (5) содержит неизвестный нестационарный параметр $\mathbf{m}_i(t)$. Поэтому вместо (5) в качестве закона управления рассматривается уравнение с автоматически настраиваемыми параметрами, задача которых скорректировать управления так, чтобы обеспечить инвариантность системы к действующим возмущениям:

(6) $\mathbf{u}_i=\mathbf{f}^T(\mathbf{x}_i)\mathbf{F}(\mathbf{x}_i)+\boldsymbol{\theta}_i$.

Здесь $\boldsymbol{\theta}_i$ - вектор настраиваемых параметров. Уравнение (6) определяет структуру системы с параметрическим управлением [11].

В качестве алгоритма настройки параметров вектора $\boldsymbol{\theta}_i$ используется уравнение вида:

(7) $\dot{\boldsymbol{\theta}}_i=-\mu^{-1}\mathbf{L}(\mathbf{x}_i)(\mathbf{F}(\mathbf{x}_i)-\dot{\mathbf{x}}_i)$,

где μ – малый положительный коэффициент; $\mathbf{L}(\mathbf{x}_i)$ – вспомогательная матричная функция, определяемая из условия устойчивости замкнутой системы.

При наличии шумов оценивания координат, прямое вычисление производных для законов (7) приведет к значительному усилению их влияния на параметры системы управления. В этом случае в выражении (7) целесообразно использовать оценки производных, полученных с помощью дифференцирующих фильтров [12].

Уравнение (1) с законом управления (6) описывают медленный контур управления перемещением робота в точку с заданными координатами. Уравнение (7) при достаточно малом параметре μ представляет собой быстрый внутренний контур, который позволяет скорректировать управление и обеспечить заданные динамические характеристики робота в условиях возмущений (рисунок 3).

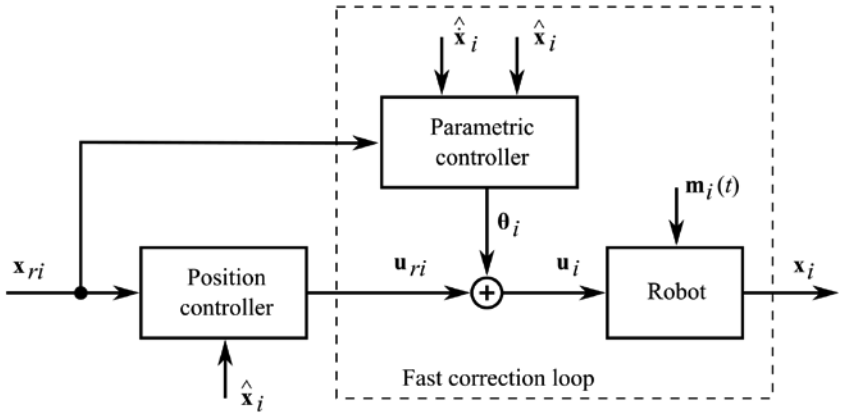
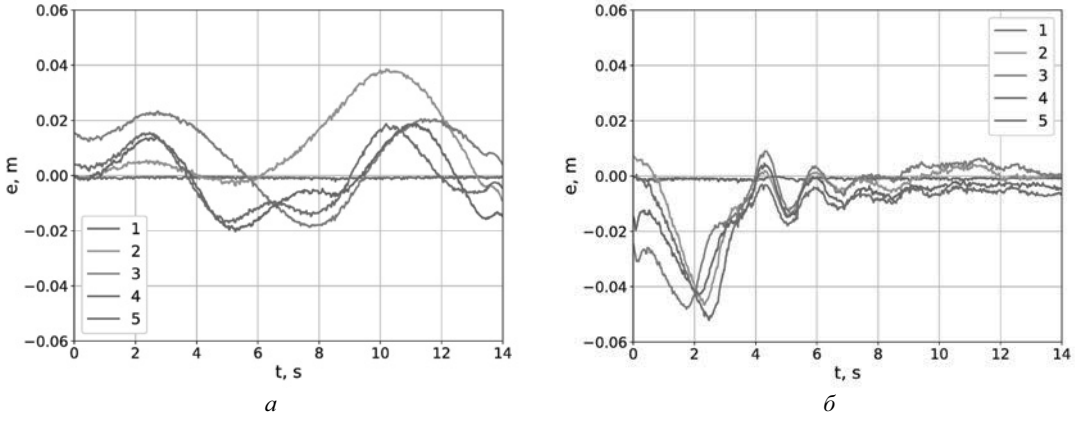


Рисунок 3 – Функциональная схема быстрого контура коррекции динамики

На рисунке $\hat{\mathbf{x}}_i$ – оценка вектора состояния *i*-го робота, получаемая в фильтре Калмана; $\mathbf{u}_{ri} = \mathbf{f}^T(\hat{\mathbf{x}}_i)\mathbf{F}(\hat{\mathbf{x}}_i)$ – вектор управления движения в заданную точку $\mathbf{x}_{ri}$ без коррекции динамических свойств.

Результаты моделирования движения группы из пяти роботов в условиях действия гармонических возмущений показаны на рисунке 4. Видно, что наличие контура коррекции (рисунок 4 *б*) в значительной степени уменьшает влияние рассмотренных возмущений на отклонение роботов от требуемого положения относительно лидера группы. При наличии контура коррекции обеспечивается уменьшение ошибки с величины 0.04 м до 0.01 м при тех же параметрах закона управления.



а *б*

Рисунок 4 – Отклонение роботов от требуемого положения при отсутствии (*а*) и наличии (*б*) контура коррекции динамики

Заключение

Представлена конструкция прототипа автономного робота, созданного для экспериментов с системами управления группой беспилотных транспортных средств, и предложен метод компенсации заранее неизвестных изменений динамических характеристик таких роботов при движении в условиях возмущений. Использование внутреннего быстрого контура коррекции

позволило обеспечить отклонение роботов от желаемой позиции относительно лидера группы на величину не более 0.01 м по результатам численных экспериментов.

Благодарности

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 15-08-03233).

Список литературы

[1] Rubenstein, M., Cabrera, A., Werfel, J. Collective transport of complex objects by simple robots: theory and experiments // Proc. of the 12th Intern. Conf. on Autonomous Agents and Multiagent Systems (AAMAS 2013). Saint Paul, MN, USA. 6-10 May 2013. P. 47–54.

[2] Yu. N. Zolotukhin, K. Yu. Kotov, A. S. Maltsev, A. A. Nesterov, M. A. Sobolev, M. N. Filippov. A Relative Measurement based Leader-follower Formation Control of Mobile Robots // In Proceedings of the 12th International Conference on Informatics in Control, Automation and Robotics (ICINCO 2015). Colmar, Alsace, France. 21-23 July 2015. Vol. 2. P. 310–313.

[3] Yanyan Dai , Kyung Sik Choi, Suk Gyu Lee. Adaptive formation control and collision avoidance using a priority strategy for nonholonomic mobile robots // International Journal of Advanced Robotic Systems. 2013. Vol. 10. P. 1-14.

[4] Lawton J.R., Beard R. W., Young B.J. A decentralized approach to formation maneuvers // IEEE Trans. on Robotics and Automation. 2003. Vol. 19, No. 6. P. 933–941.

[5] Nathan M., Jonathan F., Vijay K. Cooperative manipulation and transportation with aerial robots // Autonomous Robots. 2011. Vol. 30, No. 1. P. 73–86.

[6] Jose V., Lounis A. and Youcef M. Adaptive Leader-Follower Formation in Cluttered Environment Using Dynamic Target Reconfiguration // Distributed Autonomous Robotic Systems. 2016. P. 237–254.

[7] Carmine Noviello. Mastering STM32. A step-by-step guide to the most complete ARM Cortex-M platform, using a free and powerful development environment based on Eclipse and GCC. Leadpub. 2017. 792 p.

[8] Канина К.В. Система управления мобильной платформой на базе микроконтроллера STM32 и операционной системы реального времени FreeRTOS // Сборник трудов 55-й Международной студенческой научной конференции (школьная секция). Новосибирск. 2017. С. 26.

[9] Bong Seok Park, Sung Jin Yoo. Adaptive Leader-follower Formation Control of Mobile Robots with Unknown Skidding and Slipping Effects // International Journal of Control, Automation, and Systems. 2015. Vol. 13, No. 3. P. 587–594.

[10] Золотухин Ю.Н., Котов К.Ю., Мальцев А.С., Нестеров А.А., Соболев М.А., Цупа А.Е. Координированное управление группой роботов в задачах перемещения груза // Вычислительные технологии. 2016. Т. 21, № 1. С. 70–79.

[11] Мальцев А.С. Метод синтеза систем стабилизации с параметрическим управлением // Сборник научных трудов НГТУ. 2010. №4 (62). С. 51–56.

[12] Востриков А.С. Синтез систем регулирования методом локализации. Новосибирск: Изд-во НГТУ. 2007. 252 с.

СТРУКТУРНЫЙ СИНТЕЗ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ПОЛЕТОМ ПАРАПЛАНА

К.Ю. Котов[1], А.М. Свитова[1,2], Е.Д. Семенюк[1,2], М.А. Соболев[1]

[1]Институт автоматики и электрометрии СО РАН
630090, Новосибирск, пр. Коптюга, 1, Россия
kotov@idisys.iae.nsk.su
тел: +7 (383) 333-26-25

[2]Новосибирский государственный университет
630090, Новосибирск, ул. Пирогова, 2, Россия
тел: +7 (383) 330-32-44

Ключевые слова: *параплан, метод структурного синтеза, бином Ньютона, продольное и боковое движение.*

Abstract

This paper presents a control algorithm applied to a paramotor unmanned aerial vehicle. The nonlinear controller is designed based on the use of the required differential equation of behavior of the regulator parameters in time using a structural synthesis-based methodology. The paramotor stabilization performance, in its altitude and course stabilization modes, is studied using simulations.

Введение

В настоящее время беспилотные летательные аппараты (БПЛА), в том числе и параплан, широко используются как для военных, так и для гражданских целей [1].

Движение параплана описывается системой сложных, существенно нелинейных, дифференциальных уравнений. Режим полета определяется многими взаимосвязанными параметрами, при этом использование классического подхода, где сложное движение летательного аппарата разбивается на простейшие виды его (продольное и боковое движение и т.д.) затрудняется усилением перекрестных связей между параметрами из-за наличия маятниковых колебаний при движении параплана.

В большинстве источников [1-3] основным подходом к разработке систем автоматического управления является линеаризация и декомпозиция модели динамики движения параплана и применение классических методов теории линейных систем для установления оптимальных величин параметров регулятора. Как правило, получаемые при этом регуляторы требуют настройки коэффициентов при изменении параметров траектории или изменения структуры системы [2, 4].

Более перспективным, по мнению авторов, является синтез структуры системы управления движением параплана на основе использования требуемого дифференциального уравнения поведения регулируемых параметров во времени. Применяемый подход [5-7], позволяет использовать полное нелинейное описание объекта, синтезировать систему управления с постоянной структурой и обеспечить заданное качество регулирования при изменении параметров траектории и внешних возмущениях.

1 Описание объекта и постановка задачи управления

По аналогии с [2] рассмотрим нелинейную математическую модель динамики движения параплана.

Основу модели составляют уравнения динамики и кинематики:

$$(1)\quad m^B \frac{d\left[v_B^G\right]^B}{dt} + m^B\left[\Omega^{BG}\right]\left[v_B^G\right]^B = [f]^B,$$

где $[f]^B$ – это сумма всех сил, действующих на тело, в системе координат центра масс, $\left[\Omega^{BG}\right]^B$ – кососимметричная матрица угловых скоростей, m^B – масса параплана;

$$(2)\quad \left[I_B^B\right]^B \frac{d\left[\omega^{BG}\right]^B}{dt} + \left[\Omega^{BG}\right]\left[I_B^B\right]^B\left[\omega^{BG}\right]^B = [M_B]^B,$$

где $\left[I_B^B\right]^B$ – момент инерции параплана относительно центра тяжести, в системе координат центра масс, $[M_B]^B$ – сумма моментов сил, действующих на тело, в системе координат центра масс;

$$(3)\quad \left[\dot{x}_B^G\right]^G = \left[v_B^G\right]^G,$$

$$(4)\quad \begin{bmatrix}\dot{\varphi}\\ \dot{\theta}\\ \dot{\psi}\end{bmatrix} = T\begin{bmatrix}p\\ q\\ r\end{bmatrix},$$

где T – матрица преобразования координат, связанных с центром масс, в географические координаты. Стабилизация полета по высоте обеспечивается регулированием тяги f_T, по курсу – изменением угла управляющих поверхностей δ_L и δ_R. Соотношения, связывающие силы и моменты с управляющими воздействиями приведены в [2].

Ставится задача управления параметрами режимов полета или совокупностью фазовых координат, а именно, курсового угла и высоты полета. Требуется определить управляющие параметры f_T, δ_L и δ_R, обеспечивающие поддержание требуемых значений курсового угла ψ_{ref} и высоты z_{ref}.

2 Синтез алгоритма управления

Введем в рассмотрение ошибки выполнения заданий ψ_{ref} и z_{ref}:

$$(5)\quad \Delta z = z - z_{ref}; \Delta\psi = \psi - \psi_{ref}.$$

Задачей синтеза является нахождение такого управления, чтобы свести с течением времени эти ошибки к нулю. Следуя принятому методу синтеза, составим требуемые дифференциальные уравнения для их изменения во времени [5]:

$$(6)\quad S_z\left(\Delta z^{(j)}\right) = 0; S_\psi\left(\Delta\psi^{(j)}\right) = 0.$$

Здесь и далее индекс (j) обозначает порядок производной по времени; $j = 0\ldots n$ [5]. Далее будем полагать, что процессы установления требуемых значений заканчиваются за существенно меньший промежуток времени, чем процессы изменения самих требуемых значений. Такое предположение позволяет считать задания кусочно-постоянными функциями, а их производные по времени равными нулю. Тогда уравнения (6) принимают вид:

$$(7)\quad S_z\left(z^{(j)}, z_{ref}\right) = 0; S_\psi\left(\psi^{(j)}, \psi_{ref}\right) = 0.$$

Как и в большинстве механических систем, в уравнениях (1), (2) динамики параплана от управляющих воздействий зависят только вторые производные координат z и ψ. Исходя из этого, порядок требуемых дифференциальных уравнений (7) может быть равен двум, однако далее будет показано, что в случае управления движением параплана, целесообразно выбирать более высокий порядок требуемых уравнений, задавая тем самым и скорость нарастания управляющих сигналов.

Полагаем, что переходные процессы по высоте и курсовому углу должны быть монотонны и не иметь перерегулирования. Данному требованию удовлетворяют требуемые дифференциальные уравнения с характеристическим полиномом Ньютона [4]. Например, уравнения 3-го порядка на базе полинома Ньютона имеют вид:

$$(8)\quad \begin{cases} S_z = z_d^{(3)} + 3\omega_{0z} z_d^{(2)} + 3\omega_{0z}^2 z_d^{(1)} + \omega_{0z}^3 z - \omega_{0z}^3 z_{ref}, \\ S_w = \psi_d^{(3)} + 3\omega_{0\psi} \psi_d^{(2)} + 3\omega_{0\psi}^2 \psi_d^{(1)} + \omega_{0\psi}^3 \psi - \omega_{0\psi}^3 \psi_{ref}, \end{cases}$$

где ω_{0z} и $\omega_{0\psi}$ – константы, определённые для желаемого времени переходного процесса, $z_d^{(j)}$ и $\psi_d^{(j)}$ – требуемые значения j-ых производных [5].

Стоит отметить, что только первые производные доступны для физического измерения и оценивания. Поэтому дальнейшее нахождение управляющих воздействий удобно осуществлять, исходя из условия поддержания функционального соотношения:

$$(9)\quad \begin{cases} z_d^{(1)}\left(z_d^{(j)}, z, z_{ref}, t\right) - z^{(1)}\left(f_T, z, t\right) = 0, \\ \psi_d^{(1)}\left(\psi_d^{(j)}, \psi, \psi_{ref}, t\right) - \psi^{(1)}\left(\delta_L, \delta_R, \psi, t\right) = 0, \end{cases}$$

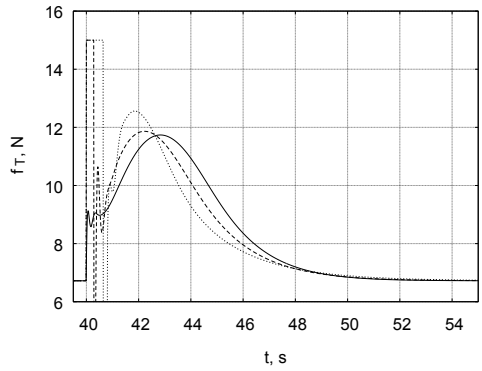
где $j = 2 \ldots n$.

В общем случае решить систему уравнений (9) относительно искомого управляющего воздействия затруднительно, поэтому управляющее устройство должно быть выполнено в виде блока, непрерывно решающего конечное уравнение (9). Для этого может быть использован какой-либо поисковый или оптимизационный алгоритм [5, 6].

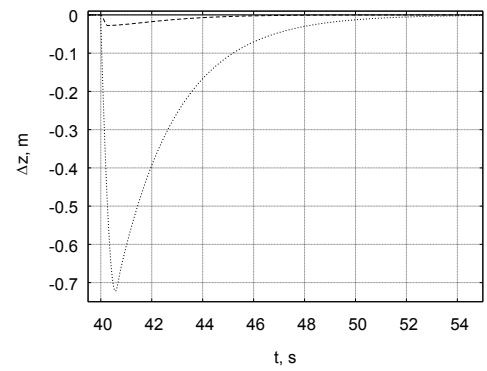
3 Результаты моделирования

Для реализации на компьютере непрерывной математической модели, её заменили дискретной моделью с малым шагом дискретизации по времени (0,01 секунды). Параметры модели взяты из работы [2].

В ходе работы были проведены численные эксперименты, в которых управляющее воздействие определялось из решения уравнений (9) методом градиента. В качестве желаемых дифференциальных уравнений использовались уравнения, построенные на основе полинома Ньютона. На Рисунках 1 и 2 точечной, пунктирной и сплошной кривыми изображены переходные процессы, соответствующие желаемым уравнениям 1-го, 2-го и 3-го порядка, соответственно.

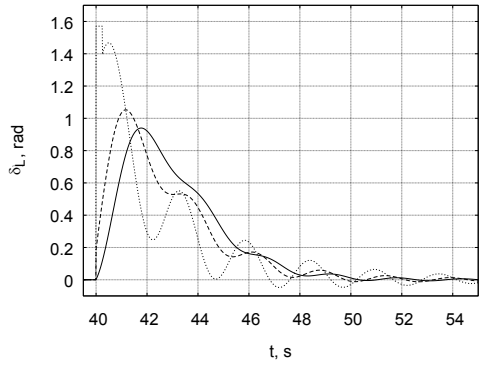


(а) величина тяги

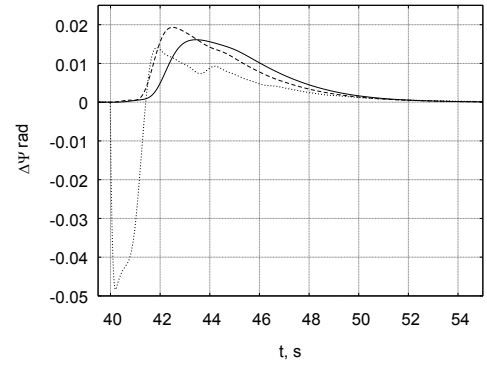


(б) ошибка по высоте

Рисунок 1 – Переходные процессы в канале управления высотой



(а) угол наклона левой управляющей поверхности



(б) ошибка по курсовому углу

Рисунок 2 – Переходные процессы в канале управления курсовым углом

На Рисунках 1 и 2 изображены результаты моделирования в случае управления высотой в продольной плоскости и курсовым углом в поперечной плоскости независимо. Значения целевой высоты и целевого курсового угла равны 5 м и 1.57 рад, соответственно.

При достижении максимально допустимых значений управляющих воздействий f_T, δ_L, δ_R возникают значительные отклонения высоты z и курсового угла ψ от требуемых значений, Рисунок 1 (б), 2 (б).

Изменение угла наклона управляющих поверхностей не достигает максимальных значений в случае использования полиномов порядка 2 или 3 в желаемых дифференциальных уравнениях, Рисунок 2(а). Желательно использовать полином степени 3 или выше для уменьшения амплитуды колебаний в поперечной плоскости.

Для исключения перегрузки в канале управления тягой необходимо использовать полином степени 3 или выше, Рисунок 1(а).

На Рисунке 3 приведены результаты численного моделирования траекторного движения параплана при совместном нахождении управляющих воздействий f_T, δ_L, δ_R из соотноше-

ний (9). Желаемые дифференциальные уравнения по высоте и курсовому углу имеют третий порядок. Увеличение целевого курсового угла на 1.57 радиана происходит через каждые 40 секунд. Увеличение целевой высоты на 5 метров происходит в моменты времени равные 20 и 180 секундам.

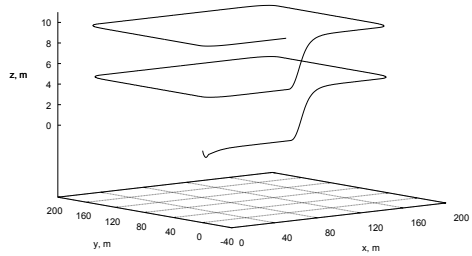


Рисунок 3 – Моделирование траекторного движения

4 Заключение

Результатом данной работы является метод управления движением параплана, предназначенный для поддержания заданных значений высоты и курсового угла. Структура нелинейной системы управления построена на основе алгоритмического решения требуемого дифференциального уравнения поведения регулируемых параметров во времени. В дальнейшей работе будет проведена экспериментальная проверка предложенного метода на прототипе автоматизированной системы управления.

5 Благодарности

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант 17-48-540019).

Список литературы

[1] Yakimenko O. A. Precision Aerial Delivery Systems: Modeling, Dynamics, and Control. – American Institute of Aeronautics & Astronautics, 2015. – 937 p.
[2] Umenberger J., Goktogan A. H. Guidance, Navigation and Control of a Small-Scale Paramotor // Robotics and Automation, Australasian Conference on. – 2012. – pp. 1-10
[3] Котов К. Ю. и др. Автоматизированная система управления полетом параплана // Проблемы управления и моделирования в сложных системах. – 2016. – С. 410-414
[4] Мирошник И. В. Теория автоматического управления // Линейные системы. СПб.: Питер. – 2005. – 336 с.
[5] Бойчук Л. М. Метод структурного синтеза нелинейных систем автоматического управления. – Рипол Классик, 1971. – 112 с.
[6] Крутько П. Д. Обратные задачи динамики в теории автоматического управления // М.: Машиностроение. – 2004. – 576 с.
[7] Золотухин Ю. Н. и др. Робастное управление подвижными объектами в группе лидер-ведомые с использованием метода структурного синтеза // Автометрия. – 2015. – Т. 51. – №. 5. – С. 82-91.

РАЗРАБОТКА ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ПРОЦЕДУРЫ ДЛЯ ОЦЕНКИ МОТИВАЦИОННОЙ ГОТОВНОСТИ ОПЕРАТОРОВ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ НА ТРАНСПОРТЕ

Г.А. Крыжановский, В.В. Купин

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет гражданской авиации»
196210 Санкт-Петербург, ул. Пилотов, 38
kryzhanovskiy_ga@spbguga.ru; kupinv@mail.ru
тел: +7 (812) 704-15-85, +7 (812) 704-15-11, +7 (921) 764-01-56, факс: +7 (812) 704-15-19

Ключевые слова: *адаптивные автоматизированные информационно-управляющие системы, мотивационная готовность, индивидуально-адаптированный подход, переработка информации, управление движением транспортных средств*

Abstract

This paper presents the further development of approach for evaluation of transport system operators' motivation readiness for certain activity in the certain control situation. The approach is based on experimental procedure for evaluation of information retrieval behavioral indicators. In addition possible method of the experimental procedure is described.

Введение

Высокий уровень сложности технологического объекта управления, средств получения информации и управления в сочетании с высокой степенью неопределенности при управлении на транспорте обуславливают необходимость создания адаптивных автоматизированных информационно-управляющих систем (АИУС) [1, 2] управления на транспорте - человеко-машинных систем с развитыми информационными функциями, предназначенных для решения задач организации и управления на транспорте.

Известны следующие общие характерные особенности АИУС: многообъектность, распределенность, иерархическая организация, многоплановость решаемых задач контроля и управления, сложность процессов принятия решений, режим работы в масштабе реального времени. Предметная область, в которой функционирует АИУС, может быть представлена в виде комплекса объектов контроля и управления (среда действия), совокупности технических средств получения информации (измерительная среда) и совокупности средств для воздействия на объекты управления (исполнительная среда). Кроме того, как правило, АИУС представляют собой двухуровневую структуру: уровень локальной автоматизации, образованный средствами локальной автоматизации для непосредственного автоматического управления объектами автоматизации, и уровень контроля и управления, образованный оперативным информационно-управляющим вычислительным комплексом для выполнения функций мониторинга и анализа состояния объектов и внешней среды, принятия решений и автоматизированного управления [1, 2].

Перечисленные особенности свойственны и АИУС управления на транспорте, которые могут различаться по степени физической интеграции субъекта и объекта управления. В случае полной интеграции можно говорить об антропоцентрических системах [3], в противном случае – о системах с опосредованным контуром управления. В транспортных системах примером первых может служить система управления отдельным транспортным средством, вторых – система управления движением транспортных средств (т.е. совокупности транспортных средств).

Для системы управления движением транспортных средств (УДТС) можно выделить следующие специфические особенности:

- пространственно-временная динамика структуры сложного объекта управления – динамической транспортной обстановки (ДТО);
- изменчивость состава отдельных объектов контроля и управления;
- опосредованный субъект - субъектный характер воздействий на отдельные объекты управления (траектории движения отдельных транспортных средств);
- вырожденность уровня локальной автоматизации.

К задачам адаптивных АИУС УДТС добавляется еще обеспечение баланса распределения задач и нагрузки, взаимодействие между частями человеко-машинной системы и поддержка принятия решения, причем регулирование уровня и способов взаимодействия должно быть функцией автоматизации, а не субъекта, оказавшегося в условиях, требующих поддержки принятия решения.

Такая автоматизация реализуется посредством информационно-управляющего поля (интерфейса типа «система - субъект управления - объект управления»), на основе индивидуально-адаптивного подхода как при выборе форм и способов представления информации, так и средств интеллектуальной поддержки принятия решений и действий субъекта [4-6]. Соответствующая информация может носить характер дополнительных сведений, необходимых для принятия решения, прогноза (например, местоположения транспортного средства через определенный промежуток времени), предупреждений (индикации возможности нарушений различного рода ограничений), рекомендаций по выбору значений параметров планируемого субъектом управляющего действия («параметрические» рекомендации), рекомендаций по выбору управляющих действий (их последовательности).

Таким образом, адаптивные АИУС УДТС должны включать модуль оценки готовности субъекта в наличных условиях требований задач (ситуации) к выбору тех или иных стратегий решений.

Ниже представлены результаты, являющиеся развитием предшествующих исследований, связанных с определением понятий мотивzационной готовности (динамической мотивационной тенденции), динамического мотивационного образа намерений субъекта, постановкой задачи идентификации и разработкой подходов оценки типа мотивационной готовности субъекта при управлении движением транспортных средств [7, 8].

1 Оценка мотивационной готовности на основе характеристик ситуационной осведомленности субъекта

Итак, адаптивные АИУС УДТС должны включать модуль оценки мотивационной готовности субъекта при решении задач управления в конкретных ситуациях, определяющей выбор тех или иных стратегий и действий. Мотивационная готовность субъекта, в свою очередь, определяет распределение возможности выбора на множестве таких стратегий и действий субъекта при решении задач управления в конкретных ситуациях – его динамический мотивационный образ намерений (ДМОН).

В общем виде влияние мотивационной готовности на конечный результат по решению задач управления на транспорте можно представить в виде следующей последовательности соответствий:

(1) $MR[MR(t);MRs] \rightarrow SEF[C,W] \rightarrow \{Ev\} \rightarrow \{Ac_v\} \rightarrow Rz \rightarrow EF$,

где MR - мотивационная готовность субъекта; $MR(t)$, MRs - динамическая и ситуационная составляющие мотивационной готовности субъекта; $SEF[C,W]$ – субъективный показатель качества (C – вектор субъективно значимых критериев, W – вектор коэффициентов субъективной важности), определяющий целеполагание на уровне действий; $\{Ev\}$ - выявленные субъектом события, связанные с наличием противоречий по отношению к цели (критериям) управления

на уровне действий; $\{Ac_v\}$ - множество предпочтительных для субъекта действий, *Rz* - результат действия, *EF* - фактическое значение показателя качества решения задач управления.

В последовательности (1) ДМОН соответствуют следующая ее часть: $MR[MR(t);MRs] \rightarrow SEF[C,W] \rightarrow \{Ev\} \rightarrow \{Ac_v\}$. То есть выбор тех или иных действий определяется в контексте событий, связанных с выявленными противоречиями по отношению к субъективным критериям целеполагания при решении задач управления в складывающейся ситуации.

Учитывая, что задача прогноза множества ожидаемых действий $\{Ac_v\}$ в адаптивных АИУС УДТС должна решаться до момента их фактической реализации, подходы к оценке ДМОН могут основываться на выборе таких элементов *ES* последовательности (1), для которых, во-первых, существовала бы возможность построения измерительной процедуры их значений, а во-вторых, существовала бы возможность построения соответствия $P: ES_i \rightarrow Ac^*$, являющегося конструктивной процедурой выявления достаточно «узкого» с точки зрения практического использования множества ожидаемых действий субъекта в конкретной ситуации.

В работе [8] был предложен так называемый модельно-тренажерный способ оценки *MRs*, в котором в качестве *ES* были использованы поведенческие индикаторы формирования ситуационной осведомленности субъекта *SA* в исследуемой (моделируемой) ситуации, предусматривающей экспертную модель ситуационной осведомленности SA^m, характеризующую собой, по мнению эксперта, эталонную MRs^m при решении соответствующих задач управления. Таким образом, измерительная процедура ситуационно-мотивационной готовности субъекта, основывалась на экспертной оценке поведенческих индикаторов формирования и поддержания его ситуационной осведомленности.

Дальнейшим развитием подхода оценки *MRs*(*SA*) в условиях модельно-тренажерного эксперимента или в условиях решения реальных профессиональных задач на рабочем месте, например, диспетчера по управлению движением транспортных средств, может быть построение инструментальной измерительной процедуры параметров ситуационной осведомленности *SA*.

Для решения задачи построения такой измерительной процедуры требуется описание более общей модели процессов переработки информации и психической регуляции оператора транспортных систем при решении задач управления.

2 Развитие подхода. Описание процессов переработки информации

Процессы переработки информации субъектом могут быть разбиты на следующие этапы: прием (восприятие) информации - *Pc*, опознание и оценка ситуации - *Cm*, прогноз будущих событий - *Pg*, принятие решения (формирование цели действия и постановка задач по ее достижению, выбор программы действий) - *DM*. Результатом принятия решения является выбор и дальнейшее выполнение действий *Ac* при выполнении задач управления *TJ*.

Этап восприятия характеризуется внутренней и внешней направленностью. Внутренней основой процессов переработки информации и психической регуляции действий оператора является оперативная концептуальная модель процесса управления оператора – *OCM*. Психическая деятельность оператора представляется как непрерывная переработка информации, получаемой посредством внешней информационной модели внешней среды IM_{EE}, и ее сравнение с *OCM*.

На этапе восприятия происходит обнаружение сигналов - *SL*, декодирование и сенсорное восприятие (осознание) сигналов в форме логически целостных блоков информационных сообщений, содержащихся в информационной модели IM_{EE}.

Далее на этапе восприятия *Pc* посредством механизмов перцептивного сознания *PcC* на основе информации от IM_{EE}, поступающей из внешнего мира в сенсорную память *PcM*, формируется субъективная информационная модель sIM_{EE}. То есть имеет место:

(2) $Pc[PcC[PcM[SL]]]: IM_{EE} \rightarrow sIM_{EE.}$.

На этапе опознания и оценки ситуации *Cm* на основе sIM_{EE} формируется целостное представление субъекта о ситуации *SI*, складывающейся в системе управления. Этап *Cm* связан с механизмами обработки информации операционным сознанием *OpC* на основе кратковременной памяти *OpM*. Результатом этапа *Cm* является набор интегральных элементов, сформированных операционным сознанием *OpC* - некоторого подмножества $\{Ev_i\}$ из множества значимых событий проблемно-предметной области.

Непрерывное сравнение опознанной ситуации *SI* с оперативной концептуальной моделью *OCM* происходит для оценки необходимости сохранить или изменить *SI*:

(3) $Cm[OpC[OpM[sIM_{EE}]];OCM]: sIM_{EE} \rightarrow \{Ev_i\}$.

События $\{Ev_i\}$ формируют образ ситуации управления *SI*. На основе *OCM* и выделенных событий $\{Ev_i\}$ у субъекта формируется представление о будущих событиях на объекте управления - прогноз будущих событий $Pg(\bullet) = \{(Ev_j,t)\}$:

(4) $Pg[OCM[sIM_{EE},\{Ev_i\}]]: \{Ev_i\} \rightarrow \{(Ev_j,t)\}$.

Внешняя направленность определяется активной направленностью сознания на нужные в данный момент объекты проблемно-предметной области и их признаки, представленные посредством информационных индикаторов FI_i модели IM_{EE}. Такая активная направленность сознания наблюдается в сложных ситуациях и сопровождается, как правило, удлинением этапа (3), причиной чему являются неполнота информационной модели IM_{EE}: неопределенные значения свойств элементов θ_A и неопределенные значения, характеризующие отношения на множестве элементов проблемно-предметной области, θ_R.

К важнейшим механизмам, обеспечивающим устранение неопределенности $\Theta = \theta_A \cup \theta_R$, относятся оперативное мышление – *OR*, и реакция антиципации (предвосхищение, предвидение) - *AP*.

Оперативное мышление *OR* проявляется как особая психическая активность, направленная на поиск и анализ недостающих информативных признаков и сведений из IM_{EE}, а также на извлечение недостающей информации из долговременной памяти. Антиципация *AP* позволяет по определенным косвенным признакам предугадывать наступающее событие (Ev,t).

Если *OR* способствует быстрому формированию новой *OCM*, то *AP* основана на фиксированных $OCM^{(k)}$, актуализируемых при поступлении специфического сигнала – воздействия, обуславливающего однозначный вывод о необходимости конкретного действия $Ac^{(k)}$ как ответа на наступающее (прогнозируемое) событие (Ev,t). Этап прогноза (4) тогда можно представить как: $Pg[AP[OR[OCM[IM_{EE},\{(Ev_i,\Theta_i)\}]]]]: \{(Ev_i,\Theta_i)\} \rightarrow \{(Ev_j,t)\}$.

В системе задач регуляции деятельности субъекта механизмы *OR* и *AP* можно отнести к средствам задач психической регуляции действий [9]. Использование этих средств регулируется задачами уровня саморегуляции или обеспечения мотивационной готовности *MR*: целеполагания, управления собственными мотивами, выработки критериев успеха, волевой регуляции.

Итак, в случае появления затруднений на этапе опознания и оценки ситуации задействуются механизмы оперативного мышления *OR* и антиципации *AP*, регулируемые мотивационной готовностью *MR*. Или иначе, мотивационная готовность субъекта *MR* проявляется при использовании средств *OR* и *AP* при увеличении степени неопределенности информационной модели *IM* ситуации управления *SI* в текущий момент времени τ: $IM_{SI(\tau)}$.

На уровне действий внешней направленности восприятия (2), механизмы *OR* и *AP* в условиях неопределенности $IM_{SI(\tau)}$ могут быть представлены активным поиском информации *IRA* (или информационно-поисковой активностью), в который всегда включены двигательные компоненты (например, движение глаз, выделяющие местоположение субъективно наиболее информативных признаков). В связи с этим представляет интерес исследования структуры *IRA* в рамках процесса восприятия.

В случае преднамеренного восприятия можно говорить о восприятии явно заданных информативных признаков, когда необходимость в решении отдельной регуляторной задачи

восприятия отсутствует, а также о восприятии, связанном с поисковой активностью *IRA* по обнаружению информативных признаков информационной модели $IM_{SI(\tau)}$, характеризуемом развернутыми режимами психической регуляции деятельности и представляющим собой относительно самостоятельную деятельность. Последний случай характерен для задачи восприятия новых объектов, информационных признаков, когда их узнавание (опознание) протекает в результате сложной аналитико-синтетической работы, к которой можно отнести следующее: введение и удержание в течение некоторого интервала времени в фокусе внимания определенных информационных признаков (индикаторов), выделение, формирование множества существенных, значимых информационных признаков (стимулов) информационной модели $IM_{SI(\tau)}$, подавление или формирование множества несущественных информационных признаков (стимулов) информационной модели $IM_{SI(\tau)}$, агрегирование информационных признаков в субъективный информационный образ $sIM_{SI(\tau)}$.

3 Экспериментальная оценка мотивационной готовности

Итак, восприятие – активный сознательный процесс, которому свойственны не только функции отражения, но и управления поиском информации. Активность восприятия регулируется информационно-поисковой активностью *IRA*, которая на уровне сенсомоторной активности отражает протекание последующих этапов формирования ситуационной осведомленности, принятия решения и осуществления управляющих (исполнительных) действий. С другой стороны, можно представить зависимость процессов переработки информации и, в частности, *IRA* от мотивационной готовности *MR* к действиям в той или иной ситуации.

Как правило, выделяются следующие два крайних полюса конструкта мотивационной готовности *MR*: мотивация достижения MR^+ и мотивация избегания неудач MR^-. Внешние факторы деятельности могут влиять на общее психофизиологическое состояние субъекта, приводя к изменениям уровня *MR*, что может проявляться во внешне наблюдаемых поведенческих схемах информационно-поисковой активности *IRA*.

Приведем один из возможных вариантов экспериментального определения *MR* на основе характерных поведенческих схем (образцов поведения) *BP* – совокупности поведенческих индикаторов *BI*, их обнаруживаемых признаков A_{BI} и значений $V(A_{BI})$ при решении тестовых задач *TJ* на тренажере, имитирующем рабочее место оператора (диспетчера) УДТС.

Этап 1. Определение поведенческих схем *BP*.

Шаг 1.1. Группа испытуемых проходит тестирование на уровень мотивации MR^+ и MR^- с использованием апробированных психологических тестов.

Шаг 1.2. По результатам тестирования выделяются две подгруппы: соответственно с высоким уровнем мотивации MR^+ и высоким уровнем мотивации MR^-.

Шаг 1.3. В контексте решения типовых задач $TJ^{(n)}$ (n=1,...,N) фиксируются индикаторы $BI^{(+)}$, признаки $A_{BI}{}^{(+)}$ и значения признаков $V^{(+)}(A_{BI})$, наблюдаемых у представителей подгруппы с уровнем мотивации MR^+.

Шаг 1.4. В контексте решения типовых задач $TJ^{(n)}$ фиксируются индикаторы $BI^{(-)}$, признаки $A_{BI}{}^{(-)}$ и значения признаков $V^{(-)}(A_{BI})$, наблюдаемых у представителей подгруппы с уровнем мотивации MR^-.

Шаг 1.5. Определяются типовые (модельные) объективно обнаруживаемые поведенческие схемы информационно-поисковой активности $BP^-{}_{IRA}=\{(BI^{(-)},A_{BI}{}^{(-)},V^{(-)}(A_{BI})\}$ и $BP^+{}_{IRA}=\{(BI^{(+)},A_{BI}{}^{(+)},V^{(+)}(A_{BI})\}$.

Этап 2. Оценка ситуационной мотивационной готовности на основе типовых объективно обнаруживаемых поведенческих схем информационно-поисковой активности.

Шаг 2.1. Разрабатывается ряд упражнений на основе совокупности типовых задач $TJ^{(n)}$ с R вариантами условий их решения – ситуациями $SI^{(r)}$ (r=1,...,R) и с возможностью изменения испытуемым масштаба времени развития ситуации (выполнения упражнения).

Для n от 1 до N:

Шаг 2.2. Моделируются варианты ситуации $SI^{(r)}$ для соответствующей задачи.

Шаг 2.3. Определяется вариант r, при котором испытуемый начинает изменять (увеличивать) масштаб времени. Это свидетельствует о том, что когнитивных ресурсов не хватает для решения задач в реальном масштабе времени.

Шаг 2.4. Фиксируется интервал времени адаптации к условиям ситуации $SI^{(r)}$: $\Delta\tau_{adp}=t_r - t_m$, где t_r - момент времени, когда испытуемый вернулся к использованию реального масштаба времени при решении задач моделируемой ситуации, t_m - момент времени, когда испытуемый начал увеличивать масштаб времени.

Шаг 2.5. После адаптации к условиям ситуации $SI^{(r)}$ (по достижении испытуемым момента времени t_r) ситуация модифицируется в сторону увеличения требований, относящихся к результату. При попытках изменения масштаба времени упражнения со стороны испытуемого ему в этом отказывается. Фиксируются индикаторы BI, их обнаруживаемые признаки A_{BI} и значения $V(A_{BI})$, а также соответствующий результат решения задачи Rz_{TJ}.

Шаг 2.6. На основе внешнего наблюдения (например, эксперта-инструктора) для k-го испытуемого определяются $BP^-_k=BP_k\cap BP^-_{IRA}$ и $BP^+_k=BP_k\cap BP^+_{IRA}$.

Шаг 2.7. Оценка интегрального показателя ситуационной мотивационной готовности k-го испытуемого при решении n-й задачи $MR_{k,n} = \Phi(\Delta\tau_{adp}, BP^-_k, BP^+_k, Rz_{TJ})$.

Этап 3. Построение ситуационно-мотивационного профиля активного элемента.

Шаг 3.1. В пространстве (MR_k, $SI^{(r)}$, $TJ^{(n)}$) строится индивидуальный профиль ситуационно-мотивационной готовности оператора.

Индивидуальный профиль ситуационно-мотивационной готовности, полученный на этапе 3, характеризует потенциальные возможности оператора и может быть использован как в адаптивных АИУС УДТС в целях интеллектуальной поддержки принятия решений и действий операторов, так и при реализации индивидуально-адаптированного подхода при их обучении.

Заключение

Использование индивидуальных профилей в целях формирования и параметрического представления множеств достижимости для индивидуально-адаптированного подхода предлагалось и ранее, например, при контроле действий летчика [5]. Однако для построения индивидуального профиля летчика требуется база данных о значениях измеряемых параметрах действий летчика. В случае же исследования деятельности операторов УДТС формирование такой базы данных проблематично.

В связи с этим индивидуальный профиль ситуационно-мотивационной готовности оператора УДТС может рассматриваться как соответствующий аналог представления множеств достижимости в целях индивидуально-адаптированного подхода в АИУС УДТС.

Кроме того, использование индивидуальных профилей ситуационно-мотивационной готовности представляет интерес для решения следующих задач, возникающих при организации обучения операторов УДТС:

- исследование индивидуальных различий в уровне активации функционального состояния субъектов в зависимости от предъявляемой ситуации управления;
- комплексная оценка результатов деятельности (уровня подготовки) обучаемых в зависимости от ситуации управления и уровня мотивационной готовности, т.е. в пространстве «результат – ситуация управления – уровень мотивационной готовности»;
- определение кривых обучения и соотношения динамики комплексного показателя качества деятельности с индивидуальными показателями активации функционального состояния субъекта;

- определение индивидуальных различий в соотношении критериев успешности (на уровне частных показателей качества деятельности), ситуации управления и уровня мотивационной готовности;
- разработка системы частных и обобщенных показателей готовности операторов УДТС к предстоящей деятельности.

Список литературы

[1] Теряев Е.Д. Агентные технологии в автоматизированных информационно-управляющих системах. Часть 1. Основы агентного подхода / Е.Д.Теряев, К.В.Петрин, А.Б.Филимонов, Н.Б.Филимонов // Мехатроника, автоматизация, управление. 2010. № 7. С. 11-21.

[2] Теряев Е.Д. Агентные технологии в автоматизированных информационно-управляющих системах. Часть II. Агентные решения в задачах контроля и управления / Е.Д.Теряев, К.В.Петрин, А.Б.Филимонов, Н.Б.Филимонов // Мехатроника, автоматизация, управление. 2010. № 10. С. 11-21.

[3] Федунов, Б.Е. Модель «Этап» для разработки облика бортовых интеллектуальных систем антропоцентрических объектов. / Б.Е. Федунов // Онтология проектирования. - 2012. - №2(4). - С. 36-43..

[4] Abbass H. Brain-Traffic Integration. / H.Abbas, D.Tuček, S.Kirby, M.Ellejmi // Air Traffic Technology International. 2013. P. 34-37.

[5] Евдокименков В.Н. Контроль и интеллектуальная поддержка действий летчика при выполнении типовых полетных режимов на основе индивидуально-адаптированного подхода / В.Н.Евдокименков, М.Н.Красильщиков, Г.Г.Себряков // Мехатроника, автоматизация, управление. 2014. № 8. С. 16-22.

[6] Обознов А.А. Адаптивный интерфейс в эргатической системе: инженерно-психологическая оценка. / А.А.Обознов // Мехатроника, автоматизация, управление. 2013. № 9. С. 37-40.

[7] Крыжановский Г.А. Теоретико-возможностная идентификация доминирующей мотивации диспетчера в целях прогноза действий по управлению воздушным движением / Г.А.Крыжановский, В.В.Купин // Проблемы управления и моделирования в сложных системах: Тр. XIV Междунар. конф. 19-22 июня 2012 / Под ред.: Е.А.Федосова, Н.А.Кузнецова, В.А.Виттиха. – Самара: Самарский научный центр РАН, 2012. – С. 746-752.

[8] Крыжановский Г.А. Подходы к моделированию и оценке доминирующей мотивационной тенденции операторов транспортных систем / Г.А.Крыжановский, В.В.Купин // Проблемы управления и моделирования в сложных системах: Труды XVI Международной конференции / Под ред.: акад. Е.А.Федосова, акад. Н.А.Кузнецова, проф. В.А.Виттиха. – Самара: Самарский научный центр РАН, 2014. – С. 358-364.

[9] Обознов А.А. Психическая регуляции профессиональной (операторской) деятельности / А.А.Обознов // Современная психология: состояние и перспективы исследования. Часть 1. Материалы юбилейной научной конференции Института психологии РАН. - М.: Изд-во «Институт психологии РАН», 2002. – С. 177-189.

Biography

Kryzhanovsky Georgy Alekseevich. Graduated from Leningrad Shipbuilding Institute in 1958. Honored Worker of Science and Engineering of Russia, Dr. of Eng. Sc., Professor, Head of the Department of Organization and control in transport systems at Saint-Petersburg State University of Civil Aviation. He has published over 250 scientific papers including 10 monographs in field of optimization techniques and decision making processes, knowledge management and transport system management. He has been evolving the transport system theory.

Kupin Vladimir Vasilyevich. Graduated from Academy of Civil Aviation (Saint-Petersburg) in 1994. Head of Department of Air Traffic Control at Saint-Petersburg State University of Civil Aviation, Can. Tech. Sci., Associate Professor. He has published over 70 scientific papers including 3 monographs in field of air traffic management, decision making processes in human-machine systems and cooperative decision making.

МНОГОУРОВНЕВЫЙ МОНИТОРИНГ ЖЕСТОВОГО УПРАВЛЕНИЯ МОБИЛЬНЫМ РОБОТОМ ПРИ ВНЕКОРАБЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НА ПОВЕРХНОСТИ ЛУНЫ

Б.И. Крючков [1], А.А. Карпов [2], В.М. Усов [1], В.А. Чертополохов [3]

[1] Научно-исследовательский испытательный центр подготовки космонавтов
имени Ю.А. Гагарина,
1414160 Россия, Звездный городок Московской области
b.kryuchkov@gctc.ru
тел +7 (495) 526-73-78, факс +7 (495) 526-26-12

[2] Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации
Российской академии наук (СПИИРАН), Санкт-Петербург
199178, Россия, Санкт-Петербург,14 линия, дом 39
karpov_a@mail.ru
тел.+7 (812) 328-33-11; факс: +7 (812) 328-44-50

[3] Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова (МГУ)
119991, Россия, Москва, Ленинские горы, д. 1
psvr.msu@gmail.com
тел.+7 (495) 938-25-70; факс: +7 (495) 938-25-70

Ключевые слова: *внекорабельная деятельность (ВнеКД), взаимодействие "человек – робот", режим управления "Follow Me" (ведущий/ведомый), жестовый интерфейс, сигнальный индикатор на скафандре (индикатор предупредительной сигнализации)*

Abstract
This article states a receipt of a safety benefits for astronauts while performing the works at the surface of the Moon using the robot-assistant in the «follow me» mode. This calls for a multi-level system of a monitoring of a robot-assistance's activity both from the Moon-craft controller and from the Moon surface-observer controller one. It offers the gesture recognition moving control system and it's laboratory testing.

Введение

Исследование взаимодействия человека и роботов важно в свете решения проблемы построения человеко-машинного диалога, отвечающего требованиям привычности, доступности и простоты для оператора и рассчитанного на разные модальности восприятия информации человеком [1-4]. Многомодальный интерфейс позволяет использовать при взаимодействии человека с роботом и вербальные, и невербальные формы общения, что привело к появлению социальных роботов [7]. Но решения для известных наземных ассистивных приложений нельзя перенести в экстремальную среду. Для взаимодействия с социальным роботом нужны непосредственная близость коммуникантов, условия прямой видимости, отсутствие помех, хорошо структурированная и изученная среда, где легко решать вопросы позиционирования, дальнометрии и трекинга подвижных объектов. Движение робота осуществляется по готовым маршрутам, диалог маловариативен, контекст заданий прозрачен.

Новый этап развития бесконтактных методов взаимодействия связан с включением роботов-помощников в профессиональную деятельность человека (оператора) в экстремальной среде [2-5]. Благодаря им человек получает более благоприятные режимы для работы в экстремальных и вредных условиях, для него облегчается разведка малоизученной среды. Но проблема обеспечения безопасности труда при совместном функционировании людей и робо-

тов не только остается актуальной, но и выходит на более высокий уровень (необходимость качественного информационного обеспечения) и требует новых технологических подходов.

Вопросы информационного обеспечения космонавтов с учётом ряда ограничений человеческого фактора рассматриваются применительно к жестовому типу управления мобильными роботами в ходе внекорабельной деятельности (ВнеКД) на лунной поверхности [6, 9]. Описана многоуровневая система мониторинга поведенческой активности оператора и робота. Ставится цель моделирования такой системы информационного обеспечения в лабораторных условиях с максимально возможным информационным подобием используемых интерфейсов.

1 Особенности ВнеКД применительно к условиям на лунной поверхности

Организация взаимодействия оператора с мобильными роботами часто производится на бесконтактный основе. Выбор способа коммуникации в числе прочего определяется особенностями восприятия и перекодирования разнородной информации оператором [1]. Важный вопрос – какие средства информационной поддержки в сложных и экстремальных условиях предпочтительны исходя из человеческого фактора. Восприятие информации оператором существенно зависит от формы, в которой предъявляются и отображаются данные, от того, насколько легко происходит опознание и перекодирование сигналов и сообщений. Если информация поступает по разным каналам коммуникации и рассчитана на разные модальности восприятия, важно обеспечить её непротиворечивость и согласованность времени поступления к человеку с реальными событиями[1]. Также безопасность зависит от актуальности данных и синхронизации времени поступления информации ко всем участникам коммуникации [2, 3].

При разработке жестового управления роботами на лунной поверхности необходимо учитывать опыт ВнеКД в орбитальных полетах на МКС в отношении роли и задач всех членов экипажа по обеспечению безопасности и взаимной страховке. ВнеКД относится к наиболее сложным и энергозатратным видам деятельности космонавта. Для неё разработаны жёсткие регламенты безопасности, которые в значительной степени должны учитываться при ВнеКД на лунной поверхности. При высоком уровне автономности работы экипажа мониторинг ВнеКД должен в основном осуществляться самими членами экипажа – как теми, кто работает вне корабля, так и наблюдателями, которые осуществляют руководство ВнеКД из гермообъекта лунного аппарата. Если по практическим соображениям из-за малочисленности экипажа из лунного аппарата на поверхность Луны не могут выйти два космонавта одновременно, то необходим робот-помощник. Он может переносить грузы, проводить рекогносцировку на местности, строить и уточнять электронную карту местности, собирать и передавать по каналам телеметрии данные навигации, состояния бортовых систем и медицинской телеметрии космонавта на централизованный пункт управления ВнеКД и др. Также возможен мониторинг двигательной и поведенческой активности космонавта в скафандре, транспортировка (медицинская эвакуация) оператора в лунный аппарат, в том числе, с мониторингом жизненно важных функций.

В использовании роботов-помощников основной вопрос – это безопасность при совместном передвижении человека и робота по поверхности и предупреждение столкновений человека с роботом или роботов между собой. В условиях ВнеКД рабочее окружение оператора может меняться. Это требует ведения мониторинга ВнеКД из лунного аппарата диспетчером, а значит, крайне важно информационное обеспечение космонавта-диспетчера ВнеКД. Данные диспетчеру поставляют мобильные роботы, оснащенные соответствующими приборами и сенсорами. Особого внимания заслуживает взаимодействие между находящимися на поверхности активными агентами (оператором и роботом-помощником). Рассмотрим ситуацию их взаимодействия в режиме управления «Следуй за мной» с жестовым управлением.

Для обеспечения безопасности и облегчения взаимодействия человека с мобильным роботом в условиях ВнеКД при дистанционном управлении жестами предполагается использо-

вание двух согласованных и синхронизированных в реальном времени компонент информационного обеспечения: 1) для космонавта-диспетчера – индикация текущей обстановки на основе визуального 3D-представления виртуального рабочего окружения в многопортовом режиме по технологии внешнего наблюдателя или на основе многофункционального дисплея, работающего в разных режимах (в том числе прямого наблюдения картины с мониторов компьютерного зрения робота, синтезированной картины распознанных жестов, данных электронной карты, символьного представления команд на перемещение и текущих параметров движения и др.); 2) для оператора – информационное обеспечение поддержки интерфейса жестового управления движением робота. В фокусе исследования должны быть вопросы замыкания обратной визуальной связи. Предполагается использовать сигнальный индикатор, размещенный непосредственно на скафандре, который даёт оператору возможность: а) проконтролировать правильность распознавания роботом жестовых команд, б) убедиться в соблюдении заданной дистанции совместного перемещения, в) получать целеуказания на реперные точки по электронной карте, г) своевременно получить оповещение об опасности в плане предотвращении опасного сближения с окружающими объектами. Построение взаимодействия в описанной сложной организационно-технический системе предполагает применение многокомпонентного интерфейса, существенно ориентированного на информационные потребности всех активных участников ВнеКД.

Рассмотрим возможности принятия решений и информационные потребности участников описанного взаимодействия. Проанализируем, на какое бортовое оснащение мобильного робота необходимо ориентироваться для обеспечения людей необходимой информацией.

2 Информационное обеспечение мобильных роботов при их автономном функционировании и при совместном выполнении ВнеКД

Бортовое оснащение мобильных роботов для выполнения навигации на Луне и обеспечения космонавтов информацией о текущем положении заслуживает отдельного рассмотрения, поскольку высокий уровень сенсорных возможностей и искусственного интеллекта мобильного робота (модель внешнего мира) гарантирует возможность автономной работы, работы в режиме совместного управления движением с оператором и обеспечения безопасности движения.

Предполагается, что в комплекс бортового оборудования робота-помощника будут включены модули связи, позиционирования и навигации, построения электронных карт, датчики управления, обнаружения и слежения за подвижными объектами, и, в контексте бесконтактного взаимодействия, система распознавания жестов и поз верхней части тела. Требования к бортовому оборудованию и сенсорам робота для режима «Следуй за мной» должны обеспечивать следующие функции: поддержание взаимодействия с оператором на основе распознавания жестов и посредством системы трекинга движущихся объектов, поддержание радиосвязи для получения команд группы диспетчеров (руководителя операции) и передачи в режиме телеметрии в лунный аппарат результатов самодиагностики работоспособности бортовых систем, идентификации команд управления, видеомониторинга среды, а так же данных о позиционировании и медицинской телеметрии оператора по данным системы медицинского контроля и системы контроля параметров среды внутри скафандра.

Необходимое для обеспечения функций оборудование – это прежде всего система телеметрии, передающая на центральный пульт информацию о работоспособности робота, навигационных параметрах, результатах обнаружения и трекинга движущихся объектов и др. Для поддержки навигации вычислительная система робота должна обеспечивать космонавтов визуальной обратной связью (фотографии и/или видео), выдавать оперативные данные для построения обратной связи по позиционированию на основе дальнометрии, обнаружения движущихся объектов и их локализации (система «датчики–электронные карты»), и обратную связь для ситуационного реагирования по результатам наблюдения за состоянием работоспо-

собности бортовых систем, учета статуса работы в команде или автономно, статуса ожидания команды, её выполнения или отказа и др. Необходима возможность управления компьютерным зрением робота, датчиками и сенсорами для контроля удалённости от реперных точек и способом обработки сигналов для визуализации, включая выбор системы координат для наиболее удобного представления взаимного положения контролируемых объектов. Искусственный интеллект робота и его система управления должны быть в состоянии поддерживать безопасность робота в автономном режиме. Для этого нужно адекватное реагирование на препятствия, возможность избегать столкновений, предупреждать опрокидывание. Наиболее сложные ситуации могут возникнуть в условиях нарушения связи, при задержках передачи сигнала и когда связь ненадежна. Все такие ситуации должны чётко распознаваться и своевременно доводиться до оператора.

3 Информационное обеспечение диспетчера, ведущего мониторинг текущей ситуации из лунного аппарата

Космонавт-диспетчер должен получать от оператора данные о текущей ситуации. В чрезвычайной ситуации и при неожиданных событиях он должен иметь возможность напрямую вмешиваться в ситуации. Постановка задачи информационного обеспечения диспетчерской группы в общем случае требует описания тактической схемы взаимодействия в команде «группа людей – команда роботов» с учётом условий рабочей среды, способа управления и доступного вида интерфейса, технических и информационных средств поддержки диалога участников, и приемлемости решений с точки зрения безопасности для человека.

Объект изучения при ведении разведки и патрулировании территории — внешняя среда. Оператор собирает информацию о конкретной территориальной зоне для упорядочивания и представления на цифровой карте лунной поверхности искусственных и естественных объектов в пределах контролируемой зоны и уточнения данных о позиционировании как стационарных, так и мобильных объектов. Результатом такой целенаправленной активности будет построение постоянно обновляемой модели цифровой карты, на основе которой в дальнейшем может создаваться и развиваться инфраструктура лунной базы и транспортная инфраструктура.

При автономном функционировании состав бортовых технических средств (систем компьютерного зрения, дальнометрии и контроля параметров движения) должен позволять роботу самостоятельно решать задачи навигации и оперативно передавать необходимые данные для принятия решений о предотвращении инцидентов. Это обеспечивает диспетчера визуализацией текущей ситуации, что облегчает оператору восприятие и перекодирование воспринимаемых данных. Во время движения по поверхности Луны постоянно уточняются данные о позиционировании всех объектов, их ориентации в пространстве, параметрах движения и др., которые поступает с бортовых систем каждого отдельно взятого мобильного робота на централизованный пункт сбора для конечной обработки и индикации диспетчеру.

Навигационная обстановка может отображаться на основе многофункциональных цифровых индикаторов, в которых представлены различные слои информации в разных её видах: видеопотока, электронной карты, проложенных маршрутов, синтезированной обстановки на основе априорных сведений с коррекцией положения подвижных объектов и др.

Задачи информационного обеспечения космонавта-диспетчера могут быть решены при помощи, например, многопортового вывода данных на панорамный монитор и/или многофункциональный командно-информационный прибор с динамической сменой страниц с разнородной информацией. Должна быть возможна прямая видеосвязь с роботом, работа с электронной картой в разных масштабах и с разной детализацией легенды и/или числовых параметров, синтезированных 3D-сцен с разных ракурсов наблюдения и в разных системах координат, таблиц параметров движения, индикации признаков работоспособности и статуса взаимодействия с другими активными агентами.

Такая система перед созданием работающего прототипа должна быть протестирована. Для эксперимента идеально подходит метод виртуального прототипирования с применением расширенного перечня средств объективного контроля качества деятельности и функционального состояния оператора.

4 Наземное моделирование ВнеКД, сравнение возможностей натурного и лабораторного имитационного моделирования

Для оценки работоспособности рассматриваемой схемы взаимодействия людей и роботов и адекватности средств их информационного обеспечения нужно создание моделирующего программно-аппаратного комплекса, реализующего методы захвата и трекинга движущихся объектов, захвата движений рук человека, позирования и навигации роботов и синтеза на индикаторах параметров текущей ситуации в различных формах отображения информации, включая применение панорамой индикации, информационных кадров многофункциональных индикаторов и специфических командных приборов типа носимых сигнальных индикаторов [2, 6, 8].

В лаборатории МОИДС механико-математического факультета МГУ созданы инструментальные средства, позволяющие применять VR-технологии для моделирования и отработки взаимодействия оператора и робота во ВнеКД. Визуальная имитация создается для оператора при помощи шлема виртуальной реальности. На вход системы визуализации приходит информация о текущем состоянии математической модели робота и расположенных вокруг него объектов, что позволяет моделировать лунную миссию в реальном времени.

Одна из особенностей системы визуализации на основе шлема – полное перекрытие поля зрения оператора и замещения реального окружения виртуальным аналогом, что предполагает использование системы отслеживания движений оператора. Распространенные оптические системы захвата движения подходят для выполнения задачи отслеживания в реальном времени, но обладают существенным недостатком – маркеры оптической системы подвержены перекрытиям при движении человека. Это вызывает некорректное отображение тела космонавта в виртуальной среде и существенно мешает взаимодействию с виртуальными объектами. Проблема решается применением технологии гибридного трекинга, когда показания оптических датчиков дополняются показаниями автономных инерциальных датчиков.

В виртуальной реальности можно масштабировать движения человека[11]. Для натурного моделирования нужен полноразмерный полигон, а виртуальный стенд может занимать существенно меньшую площадь. Кроме того, стенд виртуальной реальности предполагает возможность создания экстремальных условий и динамической адаптации экстремальных условий под поведение космонавта. Для этого в лаборатории МОИДС разработана специализированная методика максиминного тестирования, позволяющая сформировать наихудшие экстремальные факторы в моделируемой миссии, а также сравнить реальные действия космонавта с оптимальными по ряду критериев[12]. Методика максиминного тестирования создана как инструмент, предназначенный для помощи инструкторскому составу, и позволяет существенно разнообразить условия выполнения миссии в виртуальной реальности.

В дальнейшем предполагается организация удаленного сетевого взаимодействия в виртуальной среде, в том числе для отработки лунной миссии интернациональным экипажем без необходимости личного присутствия в одном помещении. Другим перспективным вариантом выглядит использование удаленного высокопроизводительного вычислительного комплекса для отработки математической модели всей лунной миссии и вычисления тестирующих стратегий, в то время как на локальной системе виртуальной реальности будет моделироваться только участок в непосредственной близости оператора. Это позволит существенно оптимизировать ресурсы стенда виртуальной реальности, предназначенные для воспроизведения высококачественной визуализации.

Заключение

Проанализирована информационная поддержка взаимодействия во время ВнеКД при передвижении оператора по поверхности Луны в сопровождении робота [2, 5]. Этот тип взаимодействия применён, в частности, в проекте ЕКА «MOONWALK», который находится на этапе натурных испытаний в земных условиях. Новые виды ВнеКД в лунных миссиях требуют рассмотрения режимов применения мобильных роботов одновременно с работой на лунной поверхности космонавтов, одетых в защитное снаряжение (космический скафандр) [2, 3]. Проведению экспериментов в натурных условиях с участием испытателей в скафандрах новых поколений предшествуют многочисленные исследования вопросов построения интерфейса «человек – роботы». Как один из предпочтительных вариантов телеуправления роботом для ВнеКД рассматривается жестовое управление в режиме «Следуй за мной». В работе показано, что управление мобильным роботом жестами может соответствовать требованиям безопасности режима «Следуй за мной» при ВнеКД при определенных условиях информационной поддержки участников. Набор интерфейсных устройств при реализации управления жестами был проанализирован для космонавтов с различными функциями. Так как наибольшему риску подвержен оператор, предпринята попытка описания сигнального устройства контроля правильности исполнения и идентификации роботом управляющих жестов. В лабораторных исследованиях планируется проверять работоспособность предлагаемых решений на имитационном компьютерном стенде, оснащенном инструментарием моделирования условий ВнеКД и информационной поддержки взаимодействия её участников [3, 6, 8]. Также планируется исследовать инструментальные системы захвата движений [10] для изучения психофизиологических возможностей человека при выполнении жестового управления в моделируемом виртуальном окружении [2, 6, 8].

Список литературы

[1] Визуальное представление космонавту перемещений группы автономных мобильных роботов на поверхности Луны для предотвращения их коллизий. / А.А. Ворона, Л.Д. Сыркин, Б.И. Крючков, В.М. Усов // Пилотируемые полеты в космос. 2016 №3 (20). С.41-57.

[2] Проектирование взаимодействия человек–робот в составе единой команды космонавтов и автономных мобильных роботов на поверхности Луны / А.А.Карпов, Б.И. Крючков, А.Л.Ронжин, В.М. Усов // Труды Международной научно-технической конференции «Экстремальная робототехника (ЭР)», 24-26 ноября 2016 г. – СПб, 2016. С.76-80.

[3] Построение взаимодействия «человек-робот» при функционировании в составе единой команды космонавтов и автономных мобильных роботов на поверхности Луны / А.А.Карпов, Б.И. Крючков, А.Л. Ронжин, В.М. Усов // Труды Международной научно-технической конференции «Экстремальная робототехника», 24-25 ноября 2016, СПб, С.71-75 (англ.), С.76-80.

[4] Перспективные подходы к применению сервисных роботов в области пилотируемой космонавтики / Б.И. Крючков, А.А.Карпов, В.М. Усов // Труды СПИИРАН. 2014. Вып. 32. С. 125-151.

[5] Информационная поддержка космонавта при визуальном контроле перемещений мобильного антропоморфного робота в невесомости / Б.И. Крючков, М.В. Михайлюк, В.М. Усов // Материалы 8-ой Всероссийской Мультиконференции по проблемам управления (МКПУ-2015). Конференция «Робототехника и мехатроника» 28 сентября – 3 октября 2015 г., Дивногорское, Геленджик. Т.2. С.248-250.

[6] Burridge, R. and J. Graham, Oct. 2001. “Providing robotic assistant during extra-vehicular activity,” SPIE, Intelligent Systems and Advanced Manufacturing / Mobile Robots XVI.

[7] Damian, I. et al. (2013). "Augmented reality using a 3D motion capturing suit". / I. Damian, M. Obaid, F.Kistler, E.André // 2013 Proceedings of the 4th Augmented Human International Conference (AH 2013), pp.233-234. DOI: 10.1145/2459236.2459277

[8] A survey of socially interactive robots / T. Fong, I. Nourbakhsh, K. Dautenhahn // Robotics and Autonomous Systems. vol. 42, no. 3-4, 2003. PP. 143-166.

[9] An Interactive Astronaut-Robot System with Gesture Control / Jinguo Liu, Yifan Luo, and Zhaojie Ju // Computational Intelligence and Neuroscience. 2016. Article ID 7845102, 11 pages.

[10] Stanton, C. et al. Teleoperation of a humanoid robot using full-body motion capture, example movements, and machine learning // Proceedings of Australasian Conference on Robotics and Automation, 3-5 Dec 2012, Victoria University of Wellington, New Zealand.
[11] Razzaque S., Kohn Z., Whitton M. C. Redirected walking // Proceedings of EUROGRAPHICS. – 2001. – Т. 9. – С. 105-106.
[12] Смешанные стратегии в задаче максиминного тестирования качества робастной стабилизации / В.А. Садовничий, В.В. Александров, А.В. Лебедев, С.С. Лемак // *Дифференциальные уравнения*. — 2009. — Т. 45, № 12. — С. 1787–1793.

ПОДБОР ОПТИМАЛЬНОГО ОПЕРАТОРА НЕЧЕТКОЙ ИМПЛИКАЦИИ ДЛЯ АВТОНОМНОЙ СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА НА СТАНКАХ С ЧПУ

С.А. Кулабухов, А.С. Якушев

Юго-Западный государственный университет
305040, Курск, ул. 50 лет Октября, 94, Россия
alekseyakushev@yandex.ru

Ключевые слова: *нечеткая логика, оператор нечеткой импликации, мягкие арифметические операции, жесткие арифметические операции.*

Abstract
In this work is the choice of the fuzzy implication operator to construct fuzzy-logic control system cooling cutting tools in woodworking CNC machines.

Введение

В производственных процессах различных обрабатывающих станков для большей точности и производительности требуются более высокий уровень автоматизации и интеллектуализации производства. На сегодняшний день применяются следующие интеллектуальные системы: экспертные, расчетно-логические, рефлекторные, гибридные [1]. При использовании данных систем в технологических процессах снижается участие человека в производстве и уменьшается риск получения травмы при контроле обработки материалов на станках с ЧПУ.

Основная часть

Автономная система охлаждения режущего инструмента состоит из: платы управления Arduino Uno, блока питания постоянного напряжения12 В, двух датчиков температуры, элемента Пельтье, полевого транзистора, вентилятора. На рисунке 1 представлена электрическая схема данной системы.

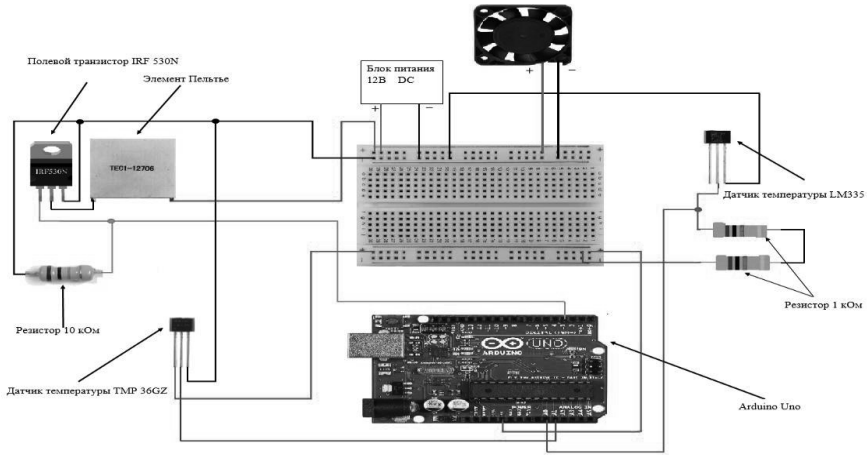


Рисунок 1 – Электрическая схема автономной системы охлаждения режущего инструмента

В охлаждающей системе используется датчик температуры, расположенный в зоне резания. Для охлаждения режущего инструмента используется термоэлемент Пельтье, в котором в зависимости от температуры резца изменяется температура холодной стороны. Тем самым снижая температуру в зоне обработки и непосредственно обрабатывающего инструмента. Охлаждение элемента Пельтье регулируется поданным напряжением на затвор полевого транзистора. Для интеллектуализации процесса охлаждения строится нечетко-логическая SISO система в которой в зависимости от температуры в зоне резания изменяется напряжение на затворе полевого транзистора, т.е. при большей температуре необходимо подать большее напряжение на затвор транзистора [2, 3, 4]. Из выше сказанного формируется SISO система, представленная на рисунке 2, где температура в зоне резания (t) – входная переменная; напряжение на затворе (V) – выходная переменная.

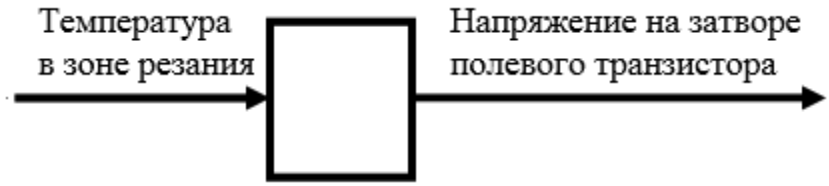


Рисунок 2 – Нечетко-логическая система управления напряжением на затворе полевого транзистора в зависимости от температуры в зоне резания

Рассмотрим нечетко-логическую SISO систему, имеющую одну входную:

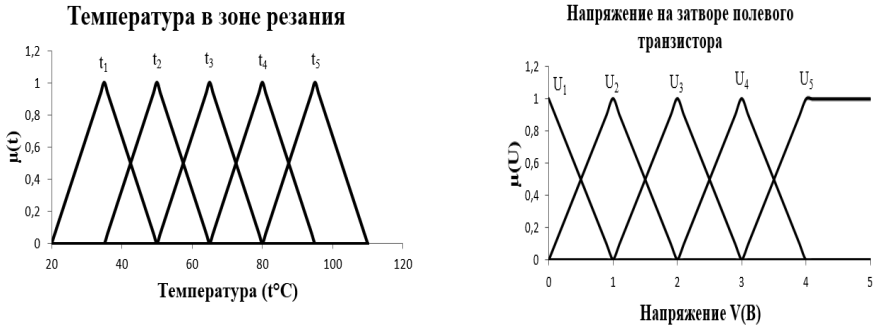
t = {t1}+{t2}+{t3}+{t4}+{t5},

и одну выходную:

U = {U1}+{U2}+{U3}+{U4}+{U5}

переменные, где t1,…,t5 – термы входной переменной нечеткого множества t; U1, …, U5 – термы выходной переменной нечеткого множества U.

Входная и выходная переменные описываются треугольными функциями принадлежности (ФП), графики которых представлены на рисунке 3, где μ(t), μ(U) – функции принадлежности соответственно нечетких множеств t и U.



а) б)

Рисунок 3 – Графики функций принадлежности: а – входная переменная; б – выходная переменная

Диапазон температур в зоне резания 20÷110 °С, а напряжение на затворе полевого транзистора можно изменять в пределах 0÷5 В. Нечеткая база знаний задана нечеткими правилами (НП) и представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Нечеткая база знаний

	НП1	**НП2**	**НП3**	**НП4**	**НП5**
Если	t_1	t_2	t_3	t_4	t_5
ТО	U_1	U_2	U_3	U_4	U_5

При использовании мягких и жестких арифметических операций в структуре нечеткого вывода получены графики результирующей переменной U, представленные на рисунке 4.

Рисунок 4 – Графики зависимости напряжения на затворе полевого транзистора от температуры в зоне резания

Правильность работы нечетко-логической системы зависит от корректного выбора операторов импликации [5]. Подбор необходимого оператора импликации позволяет избежать зон нечувствительности нечетко-логической системы. Авторами в данной работе для реализации нечетко-логического управления системой охлаждения режущего инструмента промоделирована работа следующих операторов нечеткой импликации, представленных в таблице 2.

Таблица 2 – Операторы нечеткой импликации и формулы для их расчета

Оператор нечеткой импликации	**Формула для расчета**
Оператор импликации Мамдани (минимум)	$\mu_{A\cap B}(x) = \mathrm{MIN}(\mu_A(x)\cdot\mu_B(x))$
Произведение (Prod)	$\mu_{A\cap B}(x) = \mu_A(x)\cdot\mu_B(x)$
Произведение Гамахера	$\mu_{A\cap B}(x) = \dfrac{\mu_A(x)\cdot\mu_B(x)}{\mu_A(x)+\mu_B(x)-\mu_A(x)\cdot\mu_B(x)}$
Произведение Эйнштейна	$\mu_{A\cap B}(x) = \dfrac{\mu_A(x)\cdot\mu_B(x)}{2-(\mu_A(x)+\mu_B(x)-\mu_A(x)\cdot\mu_B(x))}$
Усиленное произведение	$\mu_{A\cap B}(x) = \begin{cases}\mathrm{MIN}(\mu_A(x),\mu_B(x)); & \text{для } \mathrm{MAX}(\mu_A,\mu_B)=1\\ 0 & \text{в других случаях}\end{cases}$
Ограниченная разность	$\mu_{A\cap B}(x) = \mathrm{MAX}(0,\mu_A(x)+\mu_B(x)-1)$

В таблице 3 приведены графики зависимости напряжения на затворе полевого транзистора от температуры в зоне резания.

Таблица 3 – Графики различных операторов нечеткой импликации

Оператор нечеткой импликации	**График**
Оператор импликации Мамдани (минимум)	
Произведение (Prod)	
Произведение Эйнштейна	
Усиленное произведение	

Ограниченная разность	

Заключение

В результате численного моделирования с использованием различных операторов нечеткой импликации было получено следующее:

При использовании произведения Гамахера возникают ситуации когда знаменатель равен нулю, что вызывает деление на ноль и формирует зоны нечувствительности нечетко-логической системы. Решает данную проблему произведение Эйнштейна. Измененный знаменатель исключает деление на ноль, тем самым, уменьшается количество зон нечувствительности.

При использовании усиленного произведения и ограниченной разности на графиках видны всплески, которые также отрицательно влияют на систему.

Для реализации нечетко-логического управления автономной системой охлаждения режущего инструмента наиболее подходящий результат получен при использовании мягких арифметических операций, а также при использовании произведения (Prod), Мамдани (Минимум) и произведение Эйнштейна.

Благодарности

Работа выполнена при поддержке гранта Президента РФ МД-707.2017.8 и Госзадания: Соглашение №2.3440.2017/ПЧ.

Список литературы

[1] Игнатьев В.В. Адаптивные гибридные интеллектуальные системы управления // Известия ЮФУ. Технические науки. 2010. № 12 (113). С. 89-94.

[2] Титов В.С., Бобырь М.В., Тевс С.С. Выбор оптимальных параметров управления технологическим процессом методами нечеткой логики // Промышленные АСУ и контроллеры. 2003. № 5. С. 21-23.

[3] Бобырь М.В., Кулабухов С.А., Титов Д.В. Оценка влияния числа обучаемых точек на аддитивность нечетких систем // Промышленные АСУ и контроллеры. 2014. № 10. С. 30-35.

[4] Бобырь М.В., Милостная Н.А. Механизм адаптации нечеткой системы вывода на основе генетического алгоритма // Промышленные АСУ и контроллеры. 2015. № 3. С. 27-32.

[5] Пегат, А. Нечеткое моделирование и управление [Текст] / А.Пегат; пер. с англ. – 2-е изд. – М.:БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013. – 798с.:ил.

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ВАКУУМНОЙ ЦЕМЕНТАЦИИ

М.Ю. Лившиц, М.Ю. Деревянов, Е.А. Якубович

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

Ключевые слова: *вакуумная цементация, математическая модель, идентификация, оптимальное управление, альтернансный метод, распределение углерода, поверхностный слой, буровое долото*

Abstract

The paper deals with the problem of the vacuum carburising process optimisation for strengthening the parts for machine-building purpose. An alternance optimisation method-based the efficient technology of vacuum carburising is proposed. The acquired control algorithms for regulating the carbon potential of the furnace saturating atmosthere allow dramatically reducing carburising process duration to increase the vacuum oven capacity and enhance production quality.

Введение

Проблема повышения эксплуатационной надежности деталей является комплексной и в качестве одной из компонент включает современные методы химико-термической обработки (ХТО). Широко распространенным видом ХТО является цементация. Она осуществляется с целью придания необходимых механических свойств тонкому поверхностному и состоит в диффузионном насыщении этого слоя обрабатываемой детали углеродом при нагреве в углеродосодержащей среде. Профиль распределения углерода по толщине слоя, в основном, определяет его свойства и определяемый ими ресурс работы детали.

Цементация в разреженной науглероживающей атмосфере (вакуумная цементация), по сравнению с другими видами цементации, имеет существенные преимущества:

- эффективная управляемость с регулируемым профилем распределения углерода в цементованном слое;
- пониженное окисление деталей при цементации;
- эффективная диффузия углерода в отверстия, что обеспечивает равномерную цементацию технологических полостей и т.д.

Однако, из опыта эксплуатации вакуумных печей известны существенные недостатки традиционных технологических режимов, снижающие качество цементации и производительность оборудования [1,2]. Затруднения взывает, в частности, определение для последующей реализации температурно-временных параметров технологического процесса цементации.

Для удовлетворения условиям современных конкурентных отношений и требованиям международного стандарта качества ИСО 9000 необходимо автоматизированное и легко перестраиваемое оборудование, обеспечивающее деталей регулируемые в соответствии с эксплуатационными требованиями оптимальные технологические режимы цементации.

Качество цементации в основном определяется профилем $C^*(x)$ распределения концентрации углерода по толщине детали x. Математическая модель, отражающая распределение концентрации углерода по объему обрабатываемой детали относится к классу уравнений параболического типа, а объекты, описываемые уравнениями такого рода, относятся к объектам

с распределенными параметрами (ОРП), причем пространство состояний таких объектов является бесконечномерным [3].

Решению задач оптимизации ОРП посвящены основополагающие исследования [3]. Анализ этих исследований в приложении к конкретным производственным ситуациям обосновывает постановку краевых задач оптимального управления процессом вакуумной цементации как задачу с подвижным правым концом траектории с соответствующими условиями трансверсальности. Существенно, что даже при теоретической фиксации правого конца оптимальной траектории, погрешности измерения, усечение бесконечномерных моделей и т.п. фактически решается задача с подвижным правым концом траектории не позволяют практически решить эту задачу. Однако, при этом из-за некорректной постановки задач происходит существенная потеря по критерию оптимальности. Для корректной формулировки краевых оптимальных задач необходимо сформировать метрику оценки области конечных состояний.

В большинстве известных авторам работ используется среднеквадратичная метрика [3]. Однако, на эксплуатационные свойства изделия, подвергнутого ХТО, влияет величина абсолютного отклонения распределения легирующего элемента от требуемого. Требования технологии большинства видов ХТО не допускают превышения выше допустимого уровня абсолютной величины отклонений полученного профиля распределения концентрации углерода от заданного. Так, при цементации в упрочненном слое допустимая абсолютная погрешность составляет ± (10÷15)%. Поэтому в качестве критерия точности или ограничений используется минимаксная (чебышевская) оценка отклонения.

1 Математическая модель

Первый этап вакуумной цементации заключается во взаимодействии молекул ацетилена между собой и с продуктами предыдущих реакций, а также во взаимодействии молекул ацетилена с поверхностью металла в результате каталитической реакции:

$$(1)\quad C_2H_{2(газ)} \rightarrow C_2H_{2(адс)} \xrightarrow{катализ} \overset{Fe}{\underset{\uparrow}{CH}} + \overset{Fe}{\underset{\uparrow}{CH}} \xrightarrow{катализ} \overset{Fe}{\underset{\uparrow}{C}} + \overset{Fe}{\underset{\uparrow}{C}} + H + H \rightarrow H_2 .$$

На втором этапе атомы углерода активно диффундируют с поверхности вглубь изделия.

Математическая модель диффузии углерода из атмосферы с поверхности детали, согласно второму закону Фика, имеет вид линейного дифференциального уравнения массопереноса. Предполагается, что процесс проходит при постоянной температуре, а коэффициент диффузии $D(C)$ - углерода в сталь незначительно зависит от концентрации:

$$(2)\quad \frac{\partial C(x,\tau)}{\partial \tau} = D \cdot \frac{\partial^2 C(x,\tau)}{\partial x^2},$$

$$(3)\quad -D \cdot \left.\frac{\partial C(x,\tau)}{\partial x}\right|_{x=0} = \beta(\tau) \cdot \left[\varphi(\tau) - C(x,\tau)\big|_{x=0}\right].$$

Незначительная толщина $x = h_{сл}$ диффузионного слоя по сравнению с размерами детали позволяет использовать расчетную модель полубесконечного тела с адиабатическими условиями:

$$(4)\quad \left.\frac{\partial C(x,\tau)}{\partial x}\right|_{x\to\infty} = 0,$$

$$(5)\quad C(x,0) = C_0 = const .$$

Здесь и далее $C(x,\tau)$ - концентрация углерода в детали, $\beta(\tau)$ - коэффициент массопереноса; $\varphi(\tau)$ - углеродный потенциал атмосферы.

На процесс цементации накладываются естественные требования выполнения ограничений на максимум концентрации углерода в металле, предотвращающее излишнее карбидообразование и рядом других условий:

(6) $C(x,\tau) \le C_{\mathbf{max}}, \forall \tau \in [0,t_i], \forall x \in [0,\infty),$

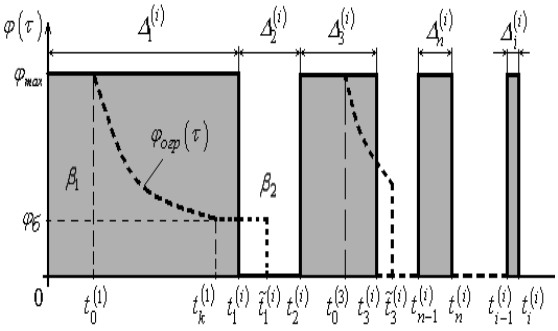


Рисунок 1 - Управляющее воздействие $\varphi(\tau)$

а также ресурсное ограничение на максимальную величину управляющего воздействия $\varphi(\tau)$:

(7) $0 \le \varphi(\tau) \le \varphi_{\mathbf{max}}$,

где $\varphi_{\mathbf{max}}$ - предельно допустимый по технологическим возможностям печи или по условиям сажеобразования ($\varphi_{\mathbf{max}} = \varphi_{огр}(\tau)$) уровень углеродного потенциала атмосферы. Используя метод моментов А.Г.Бутковского и принцип максимума Понтрягина можно показать, что оптимальным по быстродействию или по точности, оцениваемой чебышевской нормой отклонения результирующего профиля $C(x,\tau)$ от заданного, является импульсный режим (рис.1):

(8) $$\varphi(\tau) = \begin{cases} \varphi_{\mathbf{max}}, \tau \in \left(t_{n-1}^{(i)}, t_n^{(i)}\right), \text{ при } n = 1,3,5... \\ 0, \tau \in \left(t_{n-1}^{(i)}, t_n^{(i)}\right), \text{ при } n = 2,4,6... \end{cases}, \; i = 1,2,...,J \; .$$

Приведено решение линейной неоднородной краевой задачи (2) – (5) с помощью метода функций Грина, который, в случае, позволяет учитывать начальное распределение углерода в детали перед каждым последующим интервалом управления. Для многоинтервального управления ($i > 1$) решение краевой задачи примет вид:

(9) $$C^{(i)}(x,\tau) = \int_0^{\infty} C^{(i-1)}(\xi,\tau) \cdot G(x,\xi,\tau)\Big|_{\tau=t} \, d\xi - \int_0^{\tau} g(\tilde{\tau}) \cdot G(x,0,\tau-\tilde{\tau}) d\tilde{\tau} \, ,$$

(10) $$G(x,\xi,\tau) = \frac{1}{2\sqrt{\pi D \tau}} \left\{ e^{\left[-\frac{(x-\xi)}{4D\tau}\right]} + e^{\left[-\frac{(x+\xi)}{4D\tau}\right]} - 2\frac{\beta(\tau)}{D} \cdot \int_0^{\infty} e^{\left[-\frac{(x+\xi+\eta)}{4D\tau} - \frac{\beta(\tau)}{D}\cdot\eta\right]} d\eta \right\},$$

(11) $$g(\tau) = -\frac{\beta(\tau)}{D} \cdot \varphi(\tau).$$

Функция распределения $C^{(i)}(x,\tau)$ в i-ом интервале в (9) формируется свёрткой с функцией Грина $G(x,\xi,\tau)$ (10) при $\tau = t_i^{(i)}$. распределения $C^{(i-1)}(x,\tau)\Big|_{\tau=t}$ в конце предыдущего $i-1$ интервала

2 Идентификация

В ходе идентификации необходимо оценить параметры $\beta(\tau)$, $\varphi(\tau)$, D математической модели (2) – (5). Идентификация углеродного потенциала атмосферы печи $\varphi(\tau)$ производится методом фольговых проб [1], При этом установлено максимально возможное значение углеродного потенциала атмосферы. Для рассматриваемого в дальнейшем примера $\varphi_{\max} = 4.1\%C$.

Идентификация коэффициентов массопереноса $\beta(\tau)$ и диффузии D производится в ходе экспериментальных циклов науглероживания. Установлена необходимость использования в модели (2)-(5) переменного коэффициента $\beta(\tau)$ т. к. его постоянное значение приводит к значительному рассогласованию (для рассматриваемого примера около 20,7%) между экспериментальным и расчетным профилем (рис. 2), что недопустимо.

Это объясняется тем, что в ходе импульсного оптимального режима вакуумной цементации механизмы массопереноса на стадии насыщения $n = 1,3,5,\ldots$ и стадии диффузии $n = 2,4,6,\ldots$, согласно (8), существенно различаются. Насыщение происходит путем взаимодействия молекул ацетилена с поверхностью стали согласно (1), а в ходе диффузии при вакуумной цементации отсутствует науглероживающий потенциал атмосферы и углерод сублимирует с

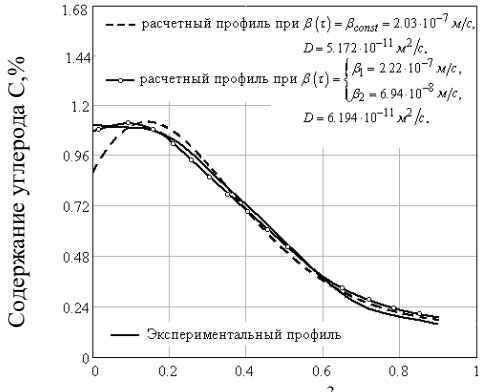


Рисунок 2 – Сравнение экспериментального и расчетных профилей концентрации углерода при $\varphi_{\max} = 4.1\%C$

поверхности детали в атмосферу. Механизмы массообмена атмосферы с поверхностью детали при вакуумной цементации на этапах диффузии и насыщения существенно различаются. Поэтому, при идентификации технологических режимов вакуумной цементации в работе использованы не одинаковые, как принято, например, в газовой цементации [2], а различные значения коэффициентов для четных $\beta(\tau) = \beta_2\big|_{n=2,4,6\ldots}$ и нечетных $\beta(\tau) = \beta_1\big|_{n=1,3,5\ldots}$ интервалов управления:

$$(12)\quad \beta(\tau) = \begin{cases} \beta_1, \tau \in \left(t_n^{(i)}, t_{n+1}^{(i)}\right), при\ n = 0,2,4,\ldots \\ \beta_2, \tau \in \left(t_n^{(i)}, t_{n+1}^{(i)}\right), при\ n = 1,3,5,\ldots \end{cases}$$

Рис. 2 демонстрирует удовлетворительное качество идентификации параметров математической модели при использовании переменных (12) ее коэффициентов $\beta(\tau)$. Абсолютное рассогласование между экспериментальным и расчетным профилем распределения углерода не превышает 5%.

3 Оптимизация

Рассмотрим две краевые параметрические задачи оптимального управления с подвижным правым концом траектории в бесконечномерной негладкой области

$\bar{\Omega} = \left\{ C(x,\tau) : \max\limits_{x\in[0,h]} \left| C(x,t_i) - C^*(x) \right| \le \varepsilon \right\}$ допустимых результирующих состояний для заданной $\varepsilon = \varepsilon_з$ или предельно достижимой $\varepsilon = \varepsilon_{\min}^{(i)}$ точности в области допустимых управлений:

(13) $J_\tau^{onm} = \min\limits_{\varphi(\tau)} t_i \Big|_{C(x,t)\in\bar{\Omega}}$ - задача быстродействия;

(14) $J_\varepsilon^{onm} = \min\limits_{\varphi(\tau)} \max\limits_{x\in[0,h]} \left| C(x,t_i) - C^*(x) \right|$ - задача максимальной точности.

Эти задачи могут быть эффективно решены альтернансным методом оптимизации (АМО), Э.Я.Рапопорта [3]. Этот метод адекватно учитывает неполную управляемость процесса и негладкость априори заданной области $\bar{\Omega}$ конечных состояний $C^*(x)$ и позволяет определить оптимальную траекторию, приводящую внутрь этой области в классе реализуемых управлений. Параметрический характер управления позволяет свести решение задач (13) и (14) к поиску количества i и длительности $\Delta_n^{(i)}$, $n = 1,2,...,i$ интервалов постоянства управления и предельно достижимой в каждом i-ом подмножестве управлений погрешности

(15) $\varepsilon = \varepsilon_{\min}^{(i)} = \max\limits_{\varphi(\Delta)} \left| C\left(x,t_i^{(i)}\right) - C^*(x) \right|$

равномерного приближения результирующего профиля $C\left(x,t_i^{(i)}\right)$ к заданному из условий удовлетворения эксплуатационным требованиям профилю концентраций $C^*(x)$. Неизвестные параметры управления $\Delta_n^{(i)}$, $\varepsilon_{\min}^{(i)}$ в поставленных оптимальных задачах (13) и (14), согласно процедуре АМО, определяются решением системы трансцендентных уравнений:

(16) $\begin{cases} \tilde{\Theta}\left(\ell,\vartheta_i^{(i)}\right)\Big|_{\ell=\ell_r} = \pm\varepsilon, \ m = \overline{1,S} \\ \dfrac{\partial\tilde{\Theta}\left(\ell,\vartheta_i^{(i)}\right)}{\partial\ell}\Big|_{\ell=\ell_r} = 0, \ r = \overline{1,p}, p \le S \end{cases}$,

при $S = i$, если $\varepsilon_{\min}^{(i-1)} > \varepsilon = \varepsilon_з > \varepsilon_{\min}^{(i)}$ и $S = i+1$, если $\varepsilon = \varepsilon_з = \varepsilon_{\min}^{(i)}$. Здесь $\tilde{\Theta}(\ell,\vartheta) = \Theta(\ell,\vartheta) - \Theta^*(\ell)$, $\Theta(\ell,\vartheta) = C(\ell,\vartheta)/\varphi_{\max}$, $\ell = x/x_{\max}$, $\vartheta = (\tau\cdot D)/x_{\max}^2$, $\Theta^*(\ell) = C^*(x)/\varphi_{\max}$, $\ell_э$ - точки экстремума функции $\tilde{\Theta}\left(\ell,\vartheta_i^{(i)}\right)$; $\ell_г = 1,0$ - граничные точки при $\vartheta_i^{(i)} = \sum\limits_{n=1}^{i}\Delta_n^{(i)}$, $x_{\max}$ - максимально допустимая глубина науглероживания.

Решение последовательности задач максимальной точности (14) позволяет сформировать ряд неравенств:

(17) $\varepsilon_{\min}^{(1)} > \varepsilon_{\min}^{(2)} > ... > \varepsilon_{\min}^{(i)} > ... > \varepsilon_{\min}^{(J)} = \varepsilon_{\inf} \ge 0$.

Ряд (17) служит основой для выбора количества *i* интервалов управляющих воздействий т.к. выявляет минимальную достижимую абсолютную погрешность получения результирующего профиля распределения углерода в каждом *i*-м классе оптимального управления.

Существенно при этом не нарушить ограничения по сажеобразованию т.к. наличие осажденной сажи на поверхности обрабатываемого изделия затрудняет адсорбцию атомарного углерода, снижает скорость цементации, повышает ее неравномерность.

Сажа образуется на нечетных интервалах управления, поэтому ограничения управляющего воздействия $\varphi(\tau)$ по сажеобразованию имеет вид (рис. 1) [1]:

$$(18)\quad 1 \geq \varphi(\tau) = \varphi_{огр}(\tau) \geq \varphi_{б},\ \tau \in \left[t_0^{(m)}, t_k^{(m)}\right],\ m = 1,3,5,...,i,$$

$$(19)\quad \varphi_{огр}(\tau) = \sum_{\alpha=0}^{y} A_\alpha \cdot t^\alpha,\ \tau \in \left[t_0^{(m)}, t_k^{(m)}\right],\ m = 1,3,5,...,i,\ y = 1,2,...,\infty.$$

Дополнительные ограничения (18) на управление $\varphi(\tau)$, не изменяет структуру решения задач (13) и (14) т.к для управляющего воздействия $\varphi(\tau)$ в условиях ограничений (19) сохраняется кусочно-непрерывная интервальная форма (рис. 1).

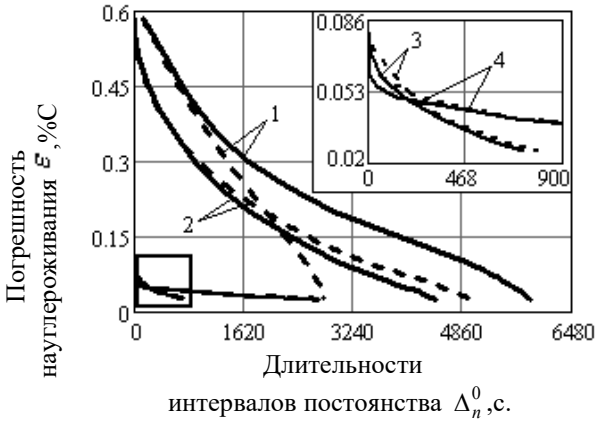


Рисунок 3 - Зависимость длительностей интервалов постоянства Δ_n^0 от погрешности науглероживания ε (1- Δ_1^0; 2- Δ_2^0; 3- $\Delta_3^0 \times 10$, 4- $\Delta_4^0 \times 10$), $n = \overline{1,4}$

Для решения задачи быстродействия по приведённой методике, сначала определяется количество *i* интервалов управления, как ближайшее к большему $\varepsilon_{\min}^{(i)}$ в ряду (17), затем решается соответствующая система (16) трансцендентных уравнений. Для реальной промышленной технологии вакуумной цементации, с помощью разработанной методики, решены поставленные оптимальные задачи (13) – (14) с учётом и без учёта ограничения на сажеобразование (рис. 3). Для автоматизации технологического процесса разработана автоматизированная система оптимального управления (АСОУ). Управление осуществляется путём изменения подачи ацетилена в печь, в соответствии с алгоритмом (8) в условиях ограничений (7) и (18).

Заключение

При сравнении оптимального по быстродействию алгоритма, удовлетворяющим рекомендованной погрешности, с базовым шестиинтервальным управлением, удовлетворяющим допустимой погрешности, выигрыш по времени составил 1,33 ч. Экономия от внедрения оптимальных режимов цементации шарошек буровых долот на промышленном предприятии составила 1,5 млн. руб. за год.

Список литературы

[1] Деревянов М.Ю., Лившиц М.Ю., Федорченко Д.М. Анализ расчетных режимов оптимального управления вакуумной цементацией. Вестник Самарского Государственного Технического Университета №2(26) – 2010г. Серия «Технические науки», стр. 187-196. // СамГТУ 2010г.

[2] M.Yu. Livshitc, E.A.Yakubovich. Optimal Control of Technological Process of Carburization of Automotive Gears. Materals Science Forum, Vol.870, pp.647-653, 2016.

[3] E.Ya.Rapoport, Alternance Method in Applied Optimization Problems, Nauka, Moscow, 2000.

МЕТОДЫ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕМ ЗДАНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГНОЗИРУЮЩИХ МОДЕЛЕЙ

О.Ю. Марьясин

Ярославский государственный технический университет
150023, Ярославль, Московский пр-т., 88, Россия
maryasinou@ystu.ru
тел: +7 (4852) 44-15-30, факс: +7 (4852) 44-15-30

Ключевые слова: *управление тепловым режимом зданий, математическая модель, MPC, Simulink*

Abstract

This article presents the mathematical model of the thermal regime of a multisection building. For optimal thermal management used MPC approach. As a result of comparing different versions of the MPC algorithms, it is established that the hierarchical distributed MPC algorithm provides the best control quality and the greatest energy savings.

Введение

В области теплоснабжения зданий постоянно происходят большие потери тепловой энергии. Основной причиной этого является низкая автоматизация существующих систем теплоснабжения зданий, не позволяющая производить погодозависимое, оптимальное управление теплоснабжением с учетом индивидуальной тепловой инерционности зданий. Особенно это касается больших многоэтажных, многосекционных зданий или зданий, соединенных между собой системой переходов.

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 западных публикациях широко представлены работы, в которых для управления микроклиматом 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 [1]. В западной научной прессе, в последнее время, активно обсуждается подход, использующий прогнозирующие модели для управления тепловым режимом зданий - Model Predictive Control (MPC) [2]. Этот подход уже давно хорошо зарекомендовал себя при применении в других областях, например в нефтехимии [3]. К достоинствам MPC-подхода можно отнести то, что оптимальный регулятор, синтезированный в соответствии с данным подходом, обеспечивает отсутствие в системе статической ошибки, соблюдение ограничений на управляющие и выходные переменные и обеспечивает компромисс между робастностью и качеством регулирования. Однако, как и большинство оптимальных систем, он требует знания модели объекта управления. И здесь достоинством MPC подхода является то, что поскольку он реализует закон управления с обратной связью по состоянию и управление рассматривается и реализуется на очень коротком промежутке времени, то для синтеза управления достаточно использовать лишь приближенные, линейные модели. Кроме

того, прогнозирующие свойства MPC-регулятора позволяют эффективно подавлять контролируемые возмущения, учитываемые в модели.

1 Математическая модель теплового режима многосекционного здания

Рассмотрим задачу теплоснабжения здания, состоящего из множества секций (помещений). Так как секции этого здания имеют общие ограждающие конструкции, то на температурный режим в каждой секции оказывает влияние температура воздуха в соседней секции. Это влияние тем сильнее, чем выше разность температур в соседних секциях, больше площадь общих ограждающих конструкций и выше их коэффициент теплопередачи. Предполагается, что каждая секция этого здания может иметь свой индивидуальный тепловой пункт для управления теплоснабжением соответствующей секции. Более того, в помещениях здания могут быть установлены дополнительные источники тепла и индивидуальные средства регулирования температурного режима помещения, например, электрические обогреватели и конвекторы.

Составим математическую модель теплового режима здания. Для простоты будем рассматривать одномерную модель, при которой секции расположены последовательно друг за другом. Такая модель описывается схемой, показанной на рисунке 1. В общем случае нужно рассматривать трехмерную модель, с учетом всех соседних помещений и помещений, расположенных на смежных этажах здания. Кроме того, будем полагать, что секции имеют одинаковый размер и одинаковый материал внешних стен и перекрытий между секциями. В основу математической модели положены уравнения теплового баланса здания [4]. Динамика температурного режима здания, без учета термической массы ограждающих конструкций (стен, окон, пола, потолка), инфильтрации через ограждающие конструкции, солнечной радиации и бытовых тепловыделений может быть описана системой уравнений

$$c\rho V_1 dT_1(t)/dt = k_{in}F_{in}(T_1(t) - T_2(t)) + k_eF_e(T_E(t) - T_1(t)) + q_1(t),$$

$$(1)\quad c\rho V_i dT_i(t)/dt = k_{in}F_{in}(T_{i-1}(t) - T_i(t)) + k_{in}F_{in}(T_{i+1}(t) - T_i(t)) + k_eF_e(T_E(t) - T_i(t)) + q_i(t),\ i=2,\ldots,N,$$

$$c\rho V_N dT_N(t)/dt = k_{in}F_{in}(T_{i-1}(t) - T_N(t)) + k_eF_e(T_E(t) - T_N(t)) + q_N(t),$$

где c - теплоемкость воздуха, Дж/кг°С; ρ – плотность воздуха, кг/м^3; V_i - объем i-ой секции, i = 1,2,…,N, м^3, T_i - температура i-ой секции, i = 1,2,…,N, °С, t – время, сек, k_{in} – коэффициент теплопередачи ограждающей конструкции между секциями, Вт/м^2°С, F_{in} – площадь ограждающей конструкции между секциями, м^2, k_e – коэффициент теплопередачи внешних ограждающих конструкций i-ой секции, Вт/м^2°С, F_e – площадь внешних ограждающих конструкций i-ой секции, м^2, T_E - температура внешней среды, °С, q_i – тепло, полученное от системы отопления i-ой секции, Вт, i = 1,2,…,N.

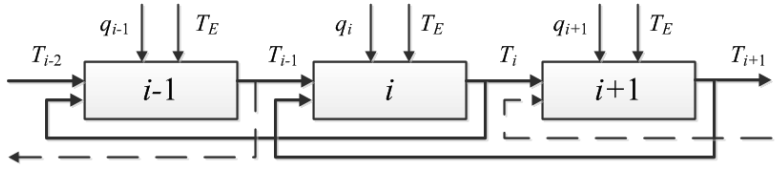


Рисунок 1 – Структура модели теплового режима многосекционного здания

Более точную модель температурного режима здания можно получить, если учесть термическую массу ограждающих конструкций (стен, окон, пола, потолка). В этом случае к системе уравнений (1) добавляются уравнения

$$(2)\quad c_{o\text{г}ij}\rho_{o\text{г}ij}V_{o\text{г}ij}dT_{o\text{г}ij}(t)/dt = \alpha_{o\text{г}ij}F_{o\text{г}ij}(T_i - T_{o\text{г}ij}) - k'_{o\text{г}ij}F_{o\text{г}ij}(T_{o\text{г}ij} - T_{nij}),\ i = 1,2,\ldots,N, j = 1,\ldots,\text{n},$$

где n – число ограждающих конструкций i-ой секции, c_{ozij} – теплоемкость j-ой ограждающей конструкции i-ой секции, Дж/кг°С, ρ_{ozij} – плотность j-ой ограждающей конструкции i-ой секции, кг/м^3, V_{ozij} – объем j-ой ограждающей конструкции i-ой секции, м^3, T_{ozij} – температура внутренней стенки j-ой ограждающей конструкции i-ой секции, °С, α_{ozij} – коэффициент теплоотдачи с внутренней поверхности стены j-ой ограждающей конструкции i-ой секции, Вт/м^2°С, k'_{ozij} – коэффициент теплопередачи j-ой ограждающей конструкции i-ой секции от внутренней поверхности ограждающей конструкции к наружному воздуху, Вт/м^2°С. Коэффициенты теплопередачи k_{in} и k_e в системе уравнений (1) при этом заменяются на коэффициенты теплоотдачи α_{ozij} с внутренней поверхности стены j-ой ограждающей конструкции i-ой секции.

Учет термической массы ограждающих конструкций с одной стороны приводит к повышению достоверности модели, а с другой стороны к значительному увеличению размерности модели, и, следовательно, к увеличению ее сложности.

2 Оптимальное управление тепловым режимом здания

Поставим задачу оптимального управления тепловым режимом здания. В качестве критерия оптимальности будем использовать критерий типа

$$(3)\quad J = \sum_{i=1}^{N} J_i ,$$

где $J_i = \frac{1}{2}\int_{t_0}^{t_1} [[T_i(t) - T_{zi}(t)]^T Q_i [T_i(t) - T_{zi}(t)] + q_i(t)^T R_i q_i(t)]dt$, $i = 1,2,\ldots,N$, $T_{zi}(t)$ – заданная температура в i-ой секции, $q_i(t) = [q_{i1}(t),\ldots, q_{ik}(t),\ldots, q_{iK}(t)]$, $q_{ik}(t)$ – расход k-го вида энергоресурсов, K – число видов энергоресурсов, Q – неотрицательно-определенная матрица, R – положительно-определенная матрица.

Критерий (3) соответствует цели, связанной с поддержанием требуемого теплового режима здания и одновременной минимизацией расхода энергоресурсов с учетом их стоимости. Для простоты примем, что число источников тепла в каждой секции одинаково. Тогда задача управления оптимальным тепловым режимом здания может быть записана в виде

$$(4)\quad J = \sum_{i=1}^{N} J_i \rightarrow \min_{q},$$

при условиях (1),(2) и дополнительных ограничениях

$$(5)\quad T_{imin}(t) \le T_i(t) \le T_{imax}(t),\ i = 1,2,\ldots,N,$$

$$(6)\quad q_{ikmin}(t) \le q_{ik}(t) \le q_{ikmax}(t),\ k = 1,2,\ldots,K,\ i = 1,2,\ldots,N.$$

Для решения задачи, описываемой системой (1),(2),(5),(6) и критерием (4) будем использовать MPC-подход. Этот подход может быть реализован в различной форме: централизованной, децентрализованной и распределенной [5].

Для централизованного MPC-алгоритма (cMPC) поставленная задача оптимального управления рассматривается в целом, как задача управления многомерным объектом. Однако при большом числе секций (помещений), из-за высокой размерности задачи, увеличиваются вычислительные затраты на ее решение, а следовательно увеличивается время на реализацию оптимального управления. Это может привести к снижению качества управления. Кроме того, широкое распространение распределенных систем управления, систем типа “Интеллектуальное здание” и “Умный дом” приводит к тому, что в каждом помещении может работать своя локальная система управления. Поэтому для решения задачи (4) мы будем использовать принцип декомпозиции, в соответствии с которым общая задача разбивается на ряд локальных задач оптимизации (подсистем), размерность каждой из которых значительно меньше размерно-

сти общей задачи. При этом каждая подзадача реализуется с помощью своей локальной подсистемы управления. Локальные подсистемы могут быть автономными или обмениваться информацией между собой и с верхним уровнем управления. В последнем случае может быть построена иерархическая структура управления. Вопрос о рациональном разбиении общей задачи на подзадачи в данной статье не рассматривается.

Рассмотрим так называемую неперекрывающуюся декомпозицию, когда каждой секции здания будет соответствовать своя отдельная подсистема. В этом случае каждая *i*-ая локальная подсистема будет решать задачу оптимального управления:

$$(7) \quad J_i \rightarrow \min_{q_i},$$

с только одним, *i*-ым уравнением из системы (1),(2), $i = 1,2,\ldots,N$ и дополнительными ограничениями (5) и (6).

Если связи между подсистемами игнорируются, т.е. например, для подсистемы *i* значения температур $T_{i-1}(t)$ и $T_{i+1}(t)$ принимаются равными нулю, то в таком случае получается децентрализованная система оптимального управления. Децентрализованная система функционирует как совокупность автономных подсистем. Игнорирование взаимосвязей приводит к ошибкам, которые тем больше, чем сильнее характер связей между подсистемами. Такой системе соответствует децентрализованный MPC-алгоритм (dMPC). Данный вариант управления будет эффективным только тогда, когда температуры в соседних секциях здания постоянно равны или близки по значению.

Если подсистемы могут обмениваться между собой информацией о значениях температур в каждой секции по каналам связи, то тогда возможно построение распределенной системы оптимального управления. В распределенной системе оптимального управления учитываются связи между подсистемами, но локальные задачи оптимизации (7) решаются подсистемами нескоординированно. Это может привести к тому, что минимум суммы локальных критериев оптимальности не будет достигать минимума критерия *J* для централизованной задачи управления. Кроме того, в данном случае, необходимость передачи информации между подсистемами требует организации сети связи между ними. Однако, в настоящее время, ввиду широкого распространения сетевых технологий, это обстоятельство не является ограничивающим фактором. Распределенной системе соответствует распределенный MPC-алгоритм (DMPC). Такой вариант управления может использоваться тогда, когда в целях упрощения, не ставится задача координации локальных подсистем и система управления не разделяется на уровни. Пример использования распределенного MPC-алгоритма для задачи оптимального управления тепловым режимом здания можно найти в работе [6].

Если в распределенной системе оптимального управления учитываются связи между подсистемами и необходима координация решения локальных задач оптимизации (8) с целью достижения минимума глобального критерия *J*, то в этом случае требуется построение иерархической распределенной системы оптимального управления. В такой системе на нижнем уровне будут решаться локальные задачи оптимизации, а на верхнем уровне задача координации. Данному варианту соответствует иерархический, распределенный MPC-алгоритм (HDMPC). Примеры таких MPC-алгоритмов с использованием различных методов иерархической оптимизации приведены в работах [7],[8].

3 Проведение численных экспериментов

Автором были исследованы различные варианты решения задачи оптимального управления тепловым режимом здания. Для реализации математических моделей и выполнения расчетов были разработаны компьютерные модели системы оптимального управления тепловым режимом трехсекционного здания в системе MATLAB/Simulink. Компьютерные модели различались по виду использованного MPC-алгоритма: централизованного, децентрализованного,

распределенного и иерархического распределенного. Пример блок-диаграммы системы для распределенного МРС-алгоритма показана на рисунке 2.

Подсистемы Room, Room1, Room2, содержат блок-диаграмму модели теплового режима *i*-ой секции, i = 1,2,3, соответствующую уравнениям из системы (1),(2), построенную с использованием теплотехнических компонентов Thermal библиотеки Simscape. Выходным сигналом каждой подсистемы является температура воздуха внутри соответствующей секции здания. Подсистема Heating system моделирует систему отопления и передачу тепла от приборов отопления к воздуху внутри помещения для каждой секции. Для регулирования температуры воздуха в каждой секции используется отдельный МРС-регулятор (блок MPC Controller).

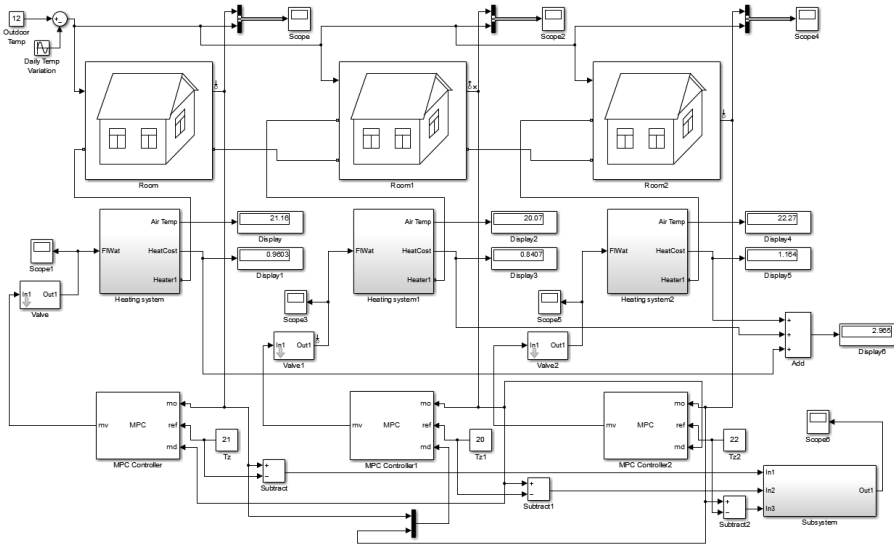


Рисунок 2 – Блок-диаграмма системы для распределенного МРС-алгоритма

В качестве источников тепла рассматривалось центральное водяное отопления и электрическое отопление с возможностью местного регулирования температуры. Значение $T_{imin}(t)$ принималось 20 °С, $T_{imax}(t)$ - 22 °С. Для водяного отопления значение q_{imax} принималось 5 КВт, для электрического отопления q_{imax} – 2 КВт. Цены на энергоносители принимались по текущим тарифам на отопление и электроэнергию. Изменение температуры внешней среды $T_E(t)$ на интервале времени от 0 до 24 ч моделировалось гладкой периодической функцией с амплитудой 3 °С и центральным значением 12 °С. Возмущение по температуре внешней среды учитывается в уравнениях (1) и поэтому будет активно подавляться МРС-регулятором.

Результаты численных экспериментов, полученные в результате проведения нескольких серий экспериментов, для каждого варианта оптимального управления приведены в таблице 1. Наибольшее энергосбережение, достигается при децентрализованном управлении. Это объясняется тем, что в этом варианте подсистемы минимизируют свои затраты без учета существующих связей между подсистемами. Поскольку численные эксперименты проводились только для трех секций здания, то указанные выше недостатки централизованного варианта управления здесь не проявлялись. Поэтому значения критериев для

Таблица 1 – Результаты численных экспериментов

Используемый МРС-алгоритм	Значение критерия *J,* Вт
Централизованный	177841
Децентрализованный	176465
Распределенный	178122
Иерархический распределенный	177850

централизованного и иерархического распределенного варианта практически совпадают. Наименьшее энергосбережение, как и ожидалось, достигается для распределенного варианта.

Для оценки качества работы различных MPC алгоритмов использовалась величина

$$\delta = \frac{1}{3}(\delta T_1^2 + \delta T_2^2 + \delta T_3^2)^{1/2} \quad (8)$$

где $\delta T_1 = T_1 - T_{з1}$, $\delta T_2 = T_2 - T_{з2}$, $\delta T_3 = T_3 - T_{з3}$. Полученные в результате моделирования изменения δ для различных MPC алгоритмов показаны на рисунке 3. На рисунке 3 сплошной линией показано изменения δ для децентрализованного MPC-алгоритма, штрих-пунктирной для распределенного MPC-алгоритма и штриховой для централизованного и иерархического распределенного MPC-алгоритма (графики совпадают). Из полученных графиков видно, что децентрализованный вариант MPC-алгоритм обеспечивает худшее по сравнению с остальными качество регулирования температуры.

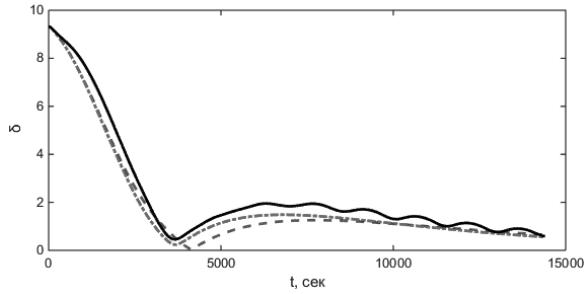


Рисунок 3 – Изменения δ для различных MPC алгоритмов

Заключение

Таким образом, для оптимального управления теплоснабжением сложных многосекционных зданий могут применяться различные варианты MPC-алгоритма. Учитывая общую тенденцию широкого распространения распределенных систем управления, в настоящее время может стать все более перспективным применение распределенного MPC-алгоритма и иерархического распределенного MPC-алгоритма.

Список литературы

[1] Dounis A.I. and Caraiscos C. Advanced control systems engineering for energy and comfort management in a building environment: A review. Renew. Sust. Energ. Rev., 13(7), 2009. 1246–1261 pp.

[2] Freire R.Z., Oliveira G.H., Mendes N. Predictive controllers for thermal comfort optimization and energy savings. Energy and Buildings (40), 2008. 1353–1365 pp.

[3] Morari M. and Lee J. Model predictive control: past, present and future, Computers and Chemical Engineering, vol. 23, 1999. 667–682 pp.

[4] Богословский В.Н., Сканави А.Н. Отопление. – М.: Стройиздат, 1991. – 735 с.

[5] Scattolini R. Architectures for distributed and hierarchical Model Predictive Control – A review. Journal of Process Control, 19, 2009. 723–731 pp.

[6] Morosan P.-D., Bourdais R., Dumur D., Buisson J. Building temperature regulation using a distributed model predictive control. Energy and Buildings (42), 2010. 1445–1452 pp.

[7] Morosan P.-D., Bourdais R., Dumur D., Buisson J. Distributed model predictive control based on Benders' decomposition. in 49th IEEE Conference on Decision and Control, Atlanta, vol. 42(9), 2010, pp. 1445–1452.

[8] Lamoudi M.Y., Alamir M., Bèguery P. Distributed constrained model predictive control based on bundle method for building energy management. in 50th IEEE conference on Decision and Control, Orlando, 2011

УПРАВЛЕНИЕ ПОХОДКОЙ ШАГАЮЩЕГО РОБОТА НА ОСНОВЕ ГИБРИДНОГО АВТОМАТА

В.В. Михайлов[1], Н.М. Иванов[2]

[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, походка, фазы движения конечности, матрица походок, гибридый автомат.*

Abstract
Known descriptions of natural and artificial gaits of walking facilities on the basis matrix representation. However, it remains almost empty layer descriptions relating to specific mathematical models control the limbs of robots in different types of gaits. The article presents one of possible variants of constructing a system. The proposed two-level management system walks walking machine based on the formalism of hybrid automata. The results are to be used in the control system of the walking chassis, developed in AC "Arsenal-207".

Введение

Для шагающих транспортных средств обязательным компонентом системы управления движением является подсистема управления походкой. Роль этой компоненты состоит в координации работы опорных конечностей при движении корпуса и свободных конечностей, выполняющих холостой перенос. Последовательность перестановки ног и смены состояний (фаз) их перемещения могут быть заданы матрицей походки [1, 2]. Такой подход является удобным, однако недостаточным для практической реализации системы управления шагающего устройства, посколькупо своей природе, система управления походкой является гибридной. В данной работе в качестве базового математического инструмента системы управления сменой фаз движения отдельной конечности и координации движения групп конечностей при построении походки выбран формализм гибридного автомата.

1 Походки шестиногой шагающей машины

Походка определяет последовательность смены группы опорных конечностей, задающих перемещение корпусу робота и группы конечностей, выполняющих свободный перенос. В случае шестиногой машины статически устойчивыми будут походки с опорой на 3 ноги (3-3), на 4 (4-2) и на 5 ног (5-1). Походка «тройками» является предельным вариантом статически устойчивых походок. Полный цикл перемещения будет содержать два шага – первый с опорой на конечности (1, 2, 3) и второй с опорой на конечности (2, 4, 6). На следующем шаге происходит смена всех опорных ног. Величина шагаSmравна расстоянию между двумя соседними положениями стопы ноги. Это расстояние будет равно величине перемещения корпуса машины при опоре на ту или другую тройку ног. Для удобства, именно этим показателембудем оценивать величину шага при том или ином типе походки.

Походка 4-2 содержит три шага с опорой на конечности (1, 2, 4, 5), (2, 3, 5, 6), (3, 4. 6,1) при правом закручивании. При левом закручивании второй и третий шаги меняются местами. Каждая из опорных конечностей участвует в реализации двух шагов перемещения корпуса машины. Величина шага здесь равна Sm/2.

Походка 5-1 содержит 6 шагов с опорой на конечности (1,2,3,4,5), (2,3,4,5,6,), (3,4,5,6,1), (4,5,6,1,2), (5,6,1,2,3), (6,1,2,3,4) при правом закручивании и с обращением – при левом. Возможен вариант походки 5-1 с произвольным выбором групп опорных ног в зависимости от условий перемещения машины. Каждая из опорных конечностей участвует в реализации пяти шагов перемещения корпуса, величина шага равна Sm/5.

Площадь многоугольника опор при увеличении числа опорных конечностей возрастает, но не очень сильно. Это соотношение равно, приблизительно, 1:4/3:5/3. Устойчивость машины увеличивается главным образом, за счет размеров шага, которая уменьшается в соотношении 1:1/2:1/5. Соответственно уменьшается диапазон изменения расстояния между центром многоугольника опор и проекцией центра тяжести машины при ее перемещении. Если условно принять эту величину для походки 3-3 равной 1, то для походки 5-1 она уменьшится более, чем в 5 раз.

В энергетическом плане наиболее эффективной является походка 5-1, в которой одновременно при рабочем перемещении используются движители 5 конечностей, при походке 4-2 – движители 4 конечностей, при походке 3-3 – только трех.

Длительность холостого переноса ноги (соответственно и скорость переноса) для непрерывных походок также определяется типом походки. При походке 3-3 время холостого переноса Тх должно быть равно времени рабочего перемещения стопы Тр. Для походки 4-2 время холостого переноса составляет Тр/2, для походки 5-1оно уменьшается до Тр/5.

В дискретном случае движение конечностей походка 3-3 складывается из следующих фаз: подъем холостой тройки ног (2,4,6) и перенос их вперед по ходу движения машины, перемещение корпуса на опорной тройке (1,3,5), опускание холостой тройки ног до касания с поверхностью. Опорными становятся конечности (2,4,6) и фазы движения повторяются. Фазы движения завершаются при достижении стопами ног соответствующих пределов (заданной точки перемещения ног холостой тройки, заданной длины шага, касания стопы с поверхностью, границ рабочего пространства стопы).

Для непрерывной походки фазы движения корпуса на опорных конечностях и фазы переноса-опускания холостой группы совмещаются. Конечность, чья стопа коснулась поверхности, сразу начинает рабочее движение и участвует в перемещении корпуса машины. Но смена рабочей группы ног и перенос холостой тройки происходит после того, как все стопы прежней холостой группы коснулись поверхности.

2 Система управления походкой машины

2.1 Формализм гибридного автомата

В качестве базового инструмента в системе управления походкой машины выбрана модель гибридного автомата. Формализм гибридного автомата широко используется для анализа и представления гибридных систем, а также для построения языков компьютерного моделирования и управления вычислительным экспериментом [4-5]. По [6] гибридным автоматом называется совокупность

$H=(t, G,V,C,P,A,F),$

где:

$G=(S,s_0,E)$ –ориентированный граф, вершинам которого сопоставлено множество дискретных состояний автомата S, , дугам E – множество переходов автомата из одного состояния в другое, состояниеs_o – начальное;t – независимая переменная, определяющая значение непрерывного времени;V– множество переменных (непрерывных или дискретных);C– множество

непрерывных отображений;*P*– множество логических предикатов (входных сигналов автомата);*A* – множество мгновенных действий (выходных сигналов автомата);F–отображения, сопоставляющие множеству состояний графа *G*автомата множество непрерывных отображений C, множеству переходов графа *G* автомата множество предикатов *P*и множество мгновенных действий множество *A*.

Таким образом, состояниям гибридного автомата приписываются некоторые непрерывные действия, которые выполняются, пока данное состояние является текущим. Переход в новое состояние происходит, как только предикат, связанный с данным переходом принимает значение *true*. При этом прекращается выполнение непрерывного действия, переменные сохраняют вычисленное значение и выполняется мгновенное действие, соответствующее данному переходу. Далее снова продвигается непрерывное время и выполняется непрерывное отображение с использованием в качестве начального - запомненное значение переменных.

В системе управления шагающей машиной гибридные автоматы применены на двух уровнях. Во-первых, для управления сменой фаз движения отдельных конечностей, во-вторых, для координации перемещенияконечностей при формировании походки. Автоматы взаимодействуют друг с другом, с сенсорными датчиками и блоком управления конечностями, обеспечивающим перемещением стопы по заданной траектории в рамках той или иной фазы движения. Описание блока управления имеется в работах [2, 3].

2.2 Гибридный автомат управления движением конечности

Таблицы переходов-выходов гибридного автомата управления сменой фаз движенияотдельной конечности (сокращенно - автомат управления движением конечности) при дискретной и непрерывной походке показаны на рисунке 1.

Входные сигналы/состояния	*s1*	*s2*	*s3*
p1	*s1/a1*		
p2	*s2/a2*		
p3		*s2/a3*	
p4		*s3/a4*	
p5			*s3/a5*
p6			*s6/a6*

A

Входные сигналы/состояния	*sn1*	*sn2*
pn1	*sn2/an2*	
pn2		*sn1/an1*

B

Рисунок 1 - Таблица переходов-выходов автомата управления движением конечности машины при дискретной походке – A. при непрерывной походке – B.

Движение конечности машины при дискретной походке состоит из трех фаз: подъема и переноса стопы в некоторую фиксированную точку, опускания стопы до касания с поверхностью, рабочего перемещения стопы.*Отметим, что движение конечностей задаются в системе координат машины. Таким образом, рабочее перемещение стопы – это ее перемещение относительно корпуса машины в сторону, противоположную реальному движению машины в неподвижной системе координат*.

Автомат управления конечностью будет иметь три состояния. Состояние *s1* соответствует фазе подъема и переноса, *s2* – фазе опускания стопы, *s3* – рабочему перемещению стопы. В зависимости от значений входных сигналов (предикатов) автомат может сохранять или изменять свое состояние и генерировать соответствующий выходной сигнал.

Входные сигналы автомата:*p1* – «перенос стопы завершен» (фиксированная точка достигнута), *p2* – «опустить стопу», p3 –«опускание завершено» (произошло касание с поверхностью), *p4*– «выполнить рабочее движение», *p5* – «рабочее движение завершено» (достигнуто

ограничение по длине шага),р6 – «выполнить перенос стопы в фиксированную точку». Сигналы *p1* и *p5*– локальные, генерируются в блоке управления движением стопы по заданной траектории, *p3* –локальный сигнал от датчика касания.Сигналы *p2, p4, p6* – внешние, зависящие от функционирования групп конечностей.

Непрерывное действие, приписанное состояниям автомата – это процесс перемещения стопы, траектория которого зависит от состояния, в которое перешел автомат. При этом конечное положение стопы в текущем состоянии автомата будет начальным для перемещения стопы после перехода автомата в новое состояние. При поступлении сигналов *p1, p3* и *p5* автомат остается в прежнем состоянии, но движение стопы прекращается. При дискретной походке такая остановка происходит после каждой активной фазы движения конечности (переноса, опускания, рабочего движения стопы). При поступлении сигналов *p2, p4, p6* автомат переходит в новое состояние, и стопа начинает двигаться по траектории, соответствующей состоянию перехода.

Выходные сигналы автомата (мгновенные действия): *a1* –«прекратить процесс переноса»,*a2* – «запустить процесс опускания», *a3* – «прекратить процесс опускания», *a4*–«запустить рабочее движение», *a5* – «прекратитьрабочее движение», а6 –«запустить процесс переноса». Сигналы *a1, a3, a6* можно заменить одним общим сигналом *tst* – остановить продвижение локального времени, который остановит процесс движения стопы по соответствующей траектории. По принятому ранее соглашению траектория движения определяется состоянием перехода автомата. Тогда сигналы *a2, a4, a6* могут быть заменены сигналом *tgo* – запустить продвижение локального времени, который включит процесс движения стопы.

В случае непрерывной походки движение конечности состоит из двух фаз: рабочего движения до его завершения и холостого переноса до касания стопы с поверхностью. Соответственно, автомат управления перемещением конечности будет содержать два состояния. Состояние *sn1*, соответствует фазе холостого переноса,*sn2* – фазе рабочего движения. Входные сигналы; *pn1*– «холостой перенос завершен». *pn2* – «рабочее движение завершено»,Оба входных сигнала – локальные. Выходные сигналы: *an1* – «начать рабочее движение», *an2* – «начать холостой перенос».

Здесь также непрерывное действие, приписанное состояниям автомата – это перемещение стопы, траектория которого зависит от состояния перехода. При этом конечное положение стопы в текущем состоянии автомата будет начальным для перемещения стопы после перехода автомата в новое состояние. После касания стопы с поверхностью здесь сразу же начинается ее рабочее перемещение, а при завершении шага – холостой перенос стопы без остановки локального времени.

2.3 Гибридный автомат походок

Рассмотрим матрицу смены фаз движения конечностей (сокращенно – матрицу походок) для дискретных походок. Матрица походки 3х3 показана на рисунке 2.

П	Н	О	Н	Д	Н
Н	Д	Н	П	Н	О
П	Н	О	Н	Д	Н
Н	Д	Н	П	Н	О
П	Н	О	Н	Д	Н
Н	Д	Н	П	Н	О

Рисунок 2 - Матрица дискретной походки 3-3.Строки матрицы соответствуют номерам конечностей машины, столбцы – фазам движения конечностей. Фазы движения: П – перенос стопы в фиксированную точку, О – опускание стопы, Д – рабочее движение, Н – стопа неподвижна.

Движение конечностей при дискретной походке складывается из следующих фаз: П – перенос стопы в фиксированную точку, О – опускание стопы, Д – рабочее движение, Н – стопа неподвижна. Первый столбец соответствует неподвижному положению машины с опорой на 2,4,6 конечности. Конечности 1,3,5 поднимаются и их стопы перемещаются в фиксированную точку. Второй столбец – перемещение корпуса на опорной тройке конечностей. Конечности второй тройки неподвижны относительно корпуса машины. Третий столбец – шаг завершен, машина стоит с опорой на конечности второй тройки. Первая тройка опускается до касания стоп с поверхностью. Опорными становятся конечности первой тройки ног и фазы движения повторяются.

Матрица походок полностью определяет состав состояний и структуру переходов гибридного автомата походок. В случае дискретной походки 3-3 автомат имеет 6 состояний (по числу столбцов матрицы смены фаз). В каждом состоянии автомата все конечности выполняют те действия, которые указаны в столбце матрицы. Так, в первом состоянии 1, 3 и 5 конечности (первая тройка) выполняют перенос в фиксированную точку, 2, 4 и 6 конечности (вторая тройка) - неподвижны.

Тип и источник входного сигнала, тип и получатель выходного сигнала определяются фазами движения конечностей, указанными в соответствующем столбце и логикой формирования сигналов. Сигнал окончания переноса и сигнал опускания стоп генерируется в момент, когда все конечности завершили соответствующую фазу движения. Сигнал завершения рабочего движения генерируется в момент, когда хотя бы одна конечность завершила данную фазу.Для первого состояния автомата входным сигналом P1 будет сигнал завершения переноса стоп 1, 3, 5 конечностей в фиксированную точку от блока управления движением конечностей Аналогично формируются входные и выходные сигналы для других состояний автомата походок.

Непрерывная компонента гибридного автомата походок – вся совокупность конечностей с блоком управления их перемещением по заданным траекториям. При этом конечное значение координат конечности при завершении некоторого состояния автомата является начальным для вычисления траектории ее движения в состоянии перехода.

На рисунке3. представлен фрагмент автоматной системы управления движением конечностей машиныдля дискретной походки 3-3. Фрагмент содержит граф переходов-выходов автомата походок и графы переходов-выходов автоматов управления конечностями из первой и второй тройки ног.

Состояния автомата походок *S1* и *S4* соответствуют переносу ног в фиксированную точку, *S2* и *S5* – выполнению рабочего движения, *S3* и *S6* – опусканию ног. Все – для первой и второй тройки конечностей, соответственно. Входные сигналы формируются по формулам:

P1=FT1&FT3&FT5, P2=MP2VMP4VMP6, P3=KC1&KC3&KC5,

P4=FT2&FT4&FT6, P5=MP1 VMP3VMP5, P6=KC2&KC4&KC6.

Здесь *FTi* – сигнал достижения фиксированной точки, *MPi*–сигнал завершения рабочего движения, *KCi*–сигнал касания стопы с поверхностью для *i*–конечности. Сигналы FTiи MPiпоступают с блока управления движением конечности (непрерывной компоненты гибридного автомата), сигнал *KCi*– с тактильного датчика.

Выходные сигналы автомата походок:*A1, A4* – выполнить рабочее движение второй и первой тройкой ног, *A2, A5* – опустить стопы ног первой и второй тройки. *A3, A6* – выполнить перенос ног второй и первой тройки соответственно. Эти сигналы являются входными для автоматов управления движением конечностей: $p2_1=A2$, $p4_1=A1$,$p6_1=A6$. Аналогично для второго автомата.

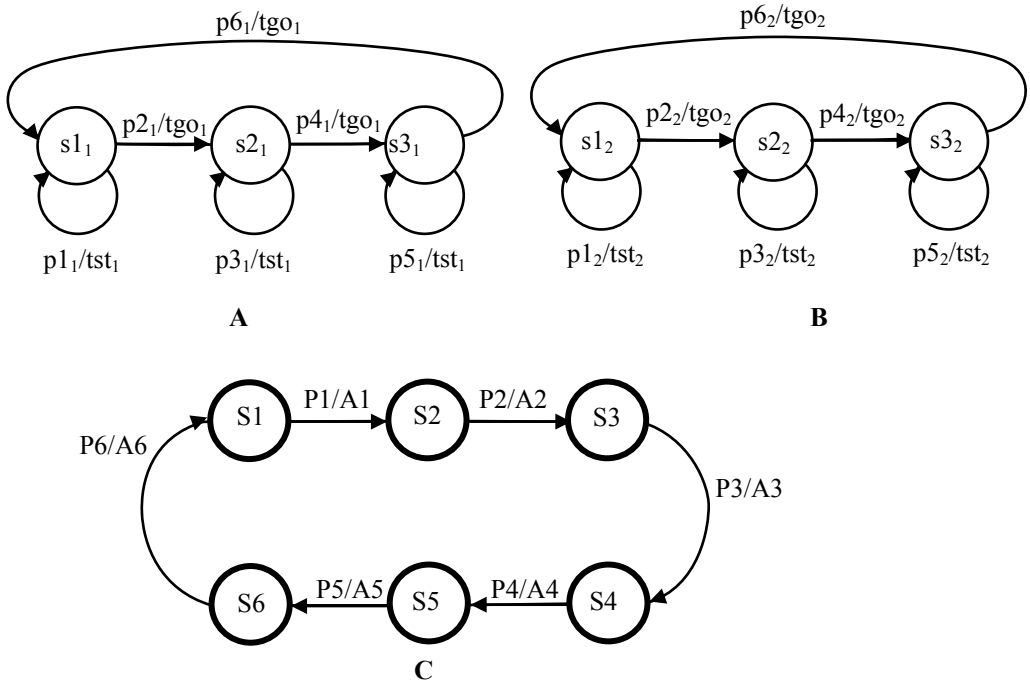


Рисунок 3 - Фрагмент системы управления дискретной походкой 3-3
(А,В – автоматы управления движением конечностей, С – автомат походки)

При переходе автоматов управления движением конечностей в новое состояние формируется выходной сигнал *tgo* (запуск локального времени), который включает процесс движения стопы по траектории, определяемой состоянием перехода автомата, при переходе в тоже состояние формируется сигнал *tst* (остановка локального времени), который останавливает процесс движения. Прекращение процессов переноса и опускания стопы происходит по локальным входным сигналам, прекращение рабочего перемещения – по сигналу автомата походок.

Перейдем к рассмотрению непрерывных походок шагающей машины. При непрерывной походке фазы переноса и опускания конечностей совмещаются, движение происходит без задержки. Матрицы походок шестиногой машины показаны на рисунке 4.

ПО	Д
Д	ПО
ПО	Д
Д	ПО
ПО	Д
Д	ПО

A

ПО	Д	Д
Д	ПО	Д
Д	Д	ПО
ПО	Д	Д
Д	ПО	Д
Д	Д	ПО

B

ПО	Д	Д	Д	Д	Д
Д	ПО	Д	Д	Д	Д
Д	Д	ПО	Д	Д	Д
Д	Д	Д	ПО	Д	Д
Д	Д	Д	Д	ПО	Д
Д	Д	Д	Д	Д	ПО

C

Рисунок 4 - Матрицы непрерывных походок 3-3 (А), 4-2 (В), 5-1 (С). ПО – фаза холостого переноса, Д – фаза рабочего движения конечности

Фрагмент автоматной системы перемещения конечностей для непрерывной походки 3-3 показан на рисунке 5. Автомат походки имеет 2 состояния – *Sn1* соответствующее холостому переносу первой тройки ног и рабочему движению второй и *Sn2* соответствующее холостому переносу второй тройки и рабочему движению первой. Входные сигналы автомата: *Pn1* – «завершенорабочее движения второй тройкой ног», *Pn2* – «завершенорабочего движение первой тройкой ног».Входные сигналы определяются по формулам:

Pn1=MP1VMP3VMP5, Pn2=MP2VMP4VMP6.

Выходные сигналы на переходах: *An1* – «начать холостой перенос первой тройки ног», *An2* – «начать холостой перенос второй тройки ног». Эти сигналы являются входными для автоматов управления конечностями: $pn2_1=An1$, $pn2_2=An2$. Входные сигналы $pn1_1$, $pn1_2$ - локальные и поступают с датчиков касания.

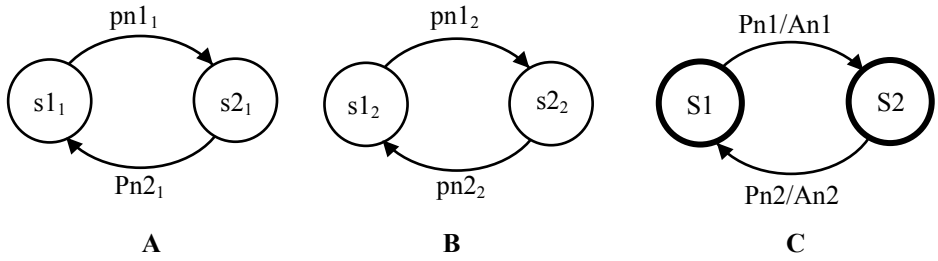


Рисунок 5 - Фрагмент системы управления непрерывной походкой 3-3. A, B – автоматы управления движением конечностей, C – автомат походки

Координация перемещения конечностей обеспечивается в результате одновременного прекращения рабочего движения и запуска холостого переноса всех конечностей той или иной тройки. И эта синхронизация выполняется на каждом шаге движения машины.Переход из фазы холостого переноса в фазу рабочего движения происходит автоматически, на локальном уровне. При касании с поверхностью завершается холостой перенос и начинается рабочее движение стопы по соответствующей траектории.

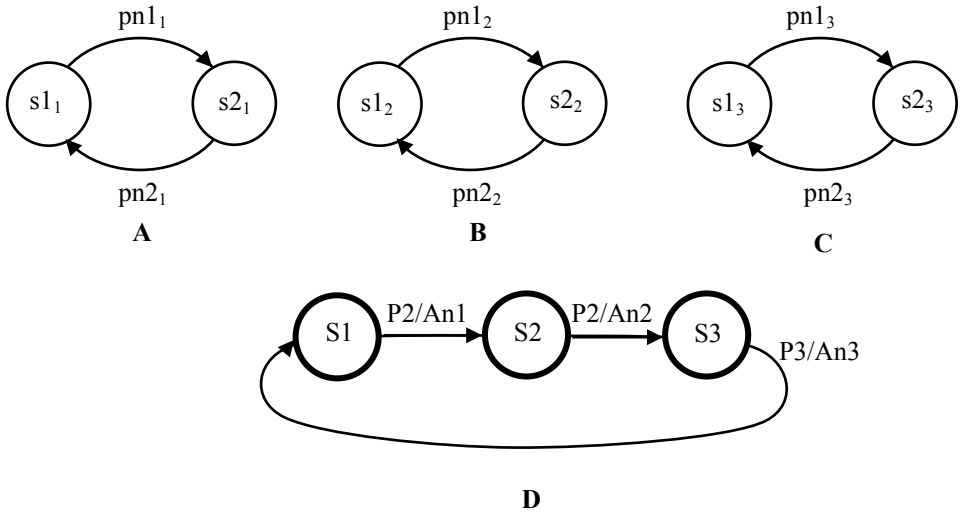


Рисунок 6 - Фрагмент системы управления непрерывной походкой 4-2. A, B, C – автоматы управления движением конечностей, D – автомат походки

Фрагмент автоматной системы перемещения конечностей для непрерывной походки 4-2 показан на рисунке 6. Автомат походки имеет 3 состояния – *Sn1* соответствующее холостому переносу конечностей 1, 4 и рабочему движению остальных, *Sn2* соответствующее холостому переносу конечностей 2, 5 и рабочему движению остальных, *Sn3* соответствующее холостому переносу конечностей 3, 6 и рабочему движению остальных. Входные сигналы автомата: *Pn1*,*Pn2, Pn3* – завершено рабочее движения первой, второй и третьей пары ног, соответственно. Входные сигналы определяются по формулам:

Pn1=MP1VMP4, P2=MP2VMP5, P3=MP3VMP6.

Выходные сигналы на переходах: *An1* – начать холостой перенос второй пары, *An2* – начать холостой перенос третей пары, *An3* – начать холостой перенос первой пары ног. Координация перемещения конечностей обеспечивается в результате одновременного прекращения рабочего движения и запуска холостого переноса всех конечностей той или иной пары ног на каждом шаге. Переход из фазы холостого переноса в фазу рабочего движения происходит автоматически, на локальном уровне. При касании с поверхностью завершается холостой перенос и начинается рабочее движение стопы по соответствующей траектории.

Таким же образом может быть построены автоматные модели управления перемещением конечностями для других типов походок и шагающих машин с различным числом конечностей.

Благодарность

Исследования, выполненные по данной тематике, проводились при поддержке гранта РНФ №16-19-00199 «Методы синтеза интеллектуальной информационной технологии мониторинга, прогноза и управления ресурсами и реконфигурацией многофункциональных группировок динамических объектов наземного и космического базирования», в рамках Госзадания№0073–2014–0009 «Методология и технологии интеграции существующих и перспективных государственных и коммерческих информационно-управляющих и телекоммуникационных систем и сетей на различных этапах их жизненного цикла».

Список литературы

[1] Лапшин В.В. Механика и управление движением шагающих машин. - М.: Изд. МГТУ им Н.Э.Баумана, 2012. - 199 с.

[2] Михайлов В.В., Соловьева Т.Н., Кузьмин Д.В. Моделирование перемещения шагающего робота по неровной поверхности. //Проблемы управления и моделирования в сложных системах. Труды XVIII Международной конференции 20-25 сентября 2016. Самара, Россия. - Самара: Изд. Офорт. - С. 421-429.

[3] Михайлов В.В., Соловьева Т.Н., Попов В.П. Моделирование кинематики шагающего робота. // Информационно-управляющие системы, 6, 2015. - С. 34-40.

[4] Kesten Y., Pnueli A. Tmed and hybrid statecharts and their textual representation. //Lec. Notes in Comp. Sci. - Springer-Verlag, 1992.-hh. 591-620,

[5] Maller o., Mannu Z., Pnueli A. From timed in hybrid systems. //Proccidings of the REXworkshop “Real Time. Theory in Practice. LNCS. -Springer-Verlag.New-York. 1992.

[6] Колесов Ю.Б. Объектно-ориентированное моделирование сложных динамических систем. - СПб: Изд. СПБГПУ, 2004. - 238 с.

РАЗРАБОТКА И МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКИМИ ПРИВОДАМИ ШАГАЮЩЕГО ШАССИ

Михайлов В.В., Кузьмин Д.В., Потрясаев С.А.

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

***Ключевые слова**: шагающая машина, модель гидропривода, нагрузка на штоки, программное управление приводом*

Abstract

The article presents the model of the hydraulic drive and the results of computer simulation control of the hydraulic drive with variable load. Also given are the simulation results of the control limb as a whole, including software unit that calculates quantities of movement of the rods of the hydraulic actuators, loads on the rods taking into account the existing chassis forces, models of the hydraulic drives. The system is designed to control the movement of a working model of the walking chassis, developed in AO "Arsenal-207".

Введение

В цикле работ мы последовательно проводили исследования по построению и моделированию компонент системы управления шагающей машиной. В статьях [1-3] представлена кинематическая модель шагающей машины, с помощью которой рассчитываются углы разворота звеньев ног, обеспечивающие те или иные типы перемещения корпуса машины. Разработаны подсистемаформирования походки для передвижения машины по неровной поверхности сконтролемустойчивости. Для проверки работоспособности системы проводится с использованием анимированной модели машины. При этом предполагалось, что управление движителями конечностей осуществляется в режиме следящего гидропривода. Данная статья посвящена построению модели гидропривода и имитации работы системы управления машиной в комплексе «кинематическая модель машины-гидроприводы конечностей». Работа выполнялась совместно СПИИРАН и АО «Арсенал-207» с использованием действующего макета шестиногой шагающей машины.

1 Модель гидропривода

1.1 Силовые гидроцилиндры

Силовым гидравлическим цилиндром называется объемный гидродвигатель с возвратно-поступательным движением выходного звена[3]. По направлению действия рабочей жидкости все гидроцилиндры подразделяют на две группы: одностороннего и двухстороннего действия. Перемещение рабочего органа гидроцилиндра двухстороннего действия в обоих направлениях обеспечивается за счет рабочей жидкости (рисунок 1). В таких гидроцилиндрах жидкость подводится как в левую полость, так и в правую. Причем разность полной S и кольцевой $S^{/}$ площадей поршня в этом случае приводит к тому, что при движении поршня слева направо развивается большее усилие, а при обратном ходе – большая скорость перемещения поршня.

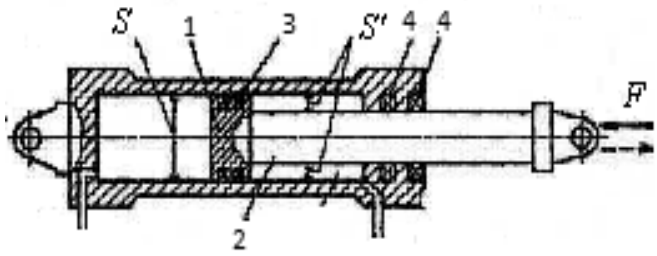


Рисунок 1 - Схема гидроцилиндра двухстороннего действия 1 – поршень;2 – шток; 3 – внутреннее уплотнение; 4 – наружное уплотнение S – полная площадь поршня; S' – кольцевая площадь поршня

1.2 Дросселирующие гидрораспределители

Дросселирующим называется гидрораспределитель, обеспечивающий изменение какнаправления движения жидкости в нескольких гидролиниях одновременно, так и расхода в них в соответствии с внешним управляющим воздействием [4].

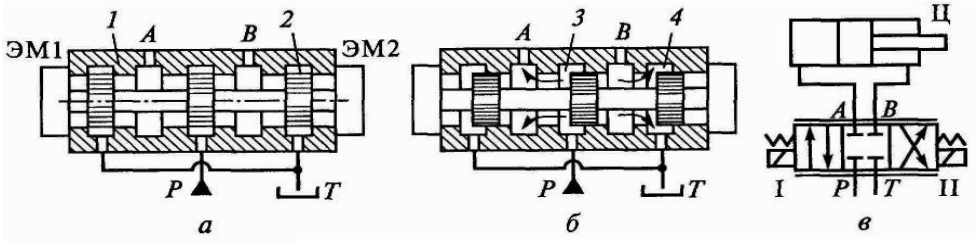


Рисунок - 2 Дросселирующий гидрораспределитель. *1*–корпус, *2*– золотник, *3, 4*–дросселирующие щели, *а*– в исходной (нейтральной) позиции, *б*–в позиции I, *в*–условное обозначение гидрораспределителя с последовательно подключенным гидроцилиндром, ЭМ1,ЭМ2 –электромагниты, А, Б - подключения к распределителю потребителя жидкости, Р – напор, Т – слив, Ц – гидроцилиндр.

На рисунке 2 показана конструкционная схема дросселирующего золотникового гидрораспределителя с цилиндрическим золотником *2*, подключенным последовательно к гидроцилиндру *в*. Положение золотника относительно корпуса *1* может изменяться в зависимости от мощности электрического сигнала управления, поступающего на два электромагнита ЭМ1 и ЭМ2. В корпусе *1* распределителя имеются пять цилиндрических расточек с острыми кромками. Эти расточки внутренними каналами соединены по схеме: центральная – с напорной гидролинией *Р*, две крайние – со сливом *Т*. Две рабочие расточки *А* и *В* предназначены для подключения к распределителю потребителя жидкости, например гидроцилиндра. Золотник *2* имеет три цилиндрических пояска и расположен внутри корпуса *1* с радиальным зазором от 4 до10 мкм. Рабочие проходные сечения (дросселирующие щели) в распределителе возникают (при осевом перемещении золотника) между кромками цилиндрических расточек корпуса *1* и кромками цилиндрических поясков золотника *2*.

При отсутствии сигнала на электромагнитах золотник *2* распределителя находится в исходной (нейтральной) позиции. При этом все проходные сечения в распределителе перекрыты. При подаче управляющего сигнала на один из электромагнитов, например ЭМ1, золотник перемещается вправо в позицию I (рисунок 2 - *б*), и рабочая жидкость поступает из гидролинии *Р* в гидролинию *А* через дросселирующую щель *3,* расход рабочей жидкости через которую зависит от мощности поданного управляющего сигнала. От гидрораспределителя жидкость направляется в левую полость гидроцилиндра *Ц*, а жидкость, вытесняемая из правой полости гидроцилиндра *Ц*, поступает по гидролинии *В* в гидрораспределитель. Здесь она проходит через вторую дросселирующую щель *4* и поступает через гидролинию на слив *Т*. Аналогично

работает гидрораспределитель и при условии подачи управляющего сигнала на электромагнит ЭМ2.

Так как гидродроссель и гидроцилиндр включены последовательно, то расход жидкости в гидроцилиндре Q_g равен расходу жидкости, проходящей через регулируемый гидродроссель $Q_{др}$:

$$Q_г = Q_{др},$$

где $Q_н$ – подача насоса.

Расход $Q_{др}$ при коэффициенте расхода μ определяется из формулы:

$$Q_{др} = \mu \cdot S_{др} \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho}} \Delta p_{др},$$

где $\Delta p_{др}$ – перепад давления на гидродросселе:

$$\Delta p_{др} = p_н - \Delta p_г = p_н - \frac{F}{S_п},$$

где $p_н$ – давление насоса.

Следовательно, скорость движения поршня (штока) гидроцилиндра

$$\upsilon = \frac{Q_г}{S_п} = \mu \frac{S_{др}}{S_п} \sqrt{\frac{2}{\rho}} \left(p_н - \frac{F}{S_п} \right).$$

Из полученной формулы видно, что скорость движения выходного звена в таком гидроприводе будет меняться при изменении нагрузки на шток F и площади проходного сечения регулируемого гидродросселя $S_{др}$

В следящем режиме работы гидропривода управляющий сигнал $S_{др}$, задающий площадь проходного сечения регулируемого гидродросселя формируется из разницы требуемого L_t и реального $L_п$ положения штока и коэффициента K регулировки золотника:

$$S_{др} = K \cdot (L_t - L_п).$$

2 Формирование сигналов управления гидроприводом

Как показано в предыдущем разделе , скорость перемещения штока гидропривода зависит от двух факторов – величины управляющего сигнала (сигнала рассогласования заданного и фактического положения штока) и внешней силыF, действующей на шток. На рисунке 3 показана кинематическая схема размещения на конечности шагающей машины гидроприводов голени и бедра. Размеры элементов схемы соответствуют реальным параметрам механического макета машины. : *L1=48, L2=60, L3=3.2, L4=30, L5=32, L6=3.5* (размеры в см)..Угол подъема бедра a1 изменяется от 70 до -20 градусов, угол разворота голени *a1* - от 50 до 170 градусов, угол $a2 = a4\text{-}90^o\text{-}a1$, угол $a5=7.7^o$. *G1* и *G2* – переменные величины, равные длине гидроприводов бедра и голени с учетом выдвижения штоков, hG1 и *hG2* плечи моментов уравновешивающих сил.

На основе кинематической схемы (рисунок 3) могут быть составлены формулы для определения *G1* и *G2* в зависимости от углов разворота звеньев конечности *a1* и *a4*:

G1=(L3^2+L42-2*L3*L4*cos(a6))^0.5, G2=(L5^2+L6^2-2*L5*L6*cos(a8)^0.5.

Здесь a6=180^{o} –a4-a5, a8=90^{o}-a1+a6+a7.

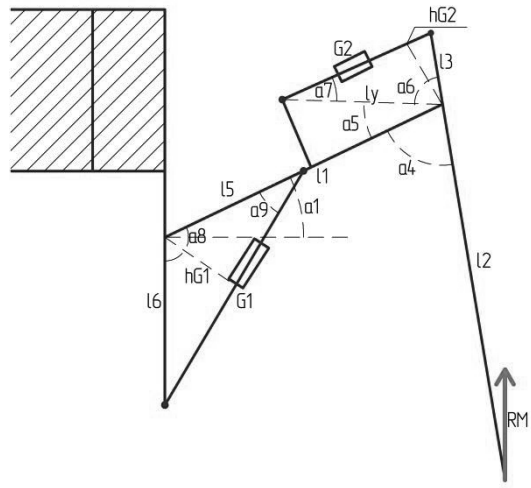


Рисунок 3 - Кинематическая схема расположения гидроприводов конечности машины.

При расчете действующих на штоки сил будем исходить из равенства по модулю моментов силы реакции опоры *RN* и уравновешивающей силы *F*, создаваемой гидроприводом. Для гидропривода голени момент силы реакции опоры равен *M1=RN*L2*sin(a2),* противодействующий момент гидропривода *M2=FG*L4*sin(a7).* Угол *a7* может быть определен по известным величинам L3, L4 и *G1* по теореме косинусов для любого положения голени. В соответствие с этим формула для определения уравновешивающей силы *FG*, развиваемой гидроприводом голени, имеет вид:

FG=RN*L2*sin(a2)/(L4*sin(arcos(G1^{2}+L4^{2}-L3^{2})/(2*G1*L4)).

Аналогичным образом может быть построена формула для расчета уравновешивающей силы FB гидропривода бедра:

FB=RN*(L1*cos(a1)+L2*sin(a2))/(L5*sin(arcos(G2^{2}+L5^{2}-L6^{2})/(2*L5*G2)).

3 Результаты компьютерных экспериментов

Эксперименты проводились на модели изолированной конечности, стопа которой перемещается в горизонтальной плоскости по оси *X.* На рисунке 4 приведены результаты модельных расчетов положения стопы и колена (по оси *X*), величиныплеч моментов уравновешивающей силы для гидроприводовголени и бедра, величины самой уравновешивающей силы. Расчеты выполнены для различных положений стопы в пределах допустимой области. Вес корпуса машины *PM* взят равным 100 кг, реакция опоры *RN* - постоянной и равной *PM/3.* Таким образом, результаты характеризуют нагрузки на гидроприводы в состоянии покоя при симметричном расположении стоп ног машины, но при различном их удалении от проекции центра тяжести корпуса на опорную поверхность. На рисунке 5 приведены результаты расчетов для переменной величины реакции опоры, имитирующих перемещениекорпуса машины в пределах опорного треугольника

Как видно из рисунков, нагрузка на штоки зависят как от положения стопы, так и от плеча приложения силы гидропривода. Для гидропривода голени длина плеча изменяется почти в 5 раз – от 0.8 до 2.4 см. В случае, когда величина реакции опоры постоянна (рисунок 4), то при разгибании колена величина уравновешивающей силы увеличивается и ее максимальная величина достигает1600 кг. При поджимании колена сила уменьшается до нуля, затем изменяет

знак. Предельное значение силы равно -100 кг. Плечо гидропривода бедра изменяется только в 1.1 раз, и величина уравновешивающей силы лежит в пределах 400-800 кг.

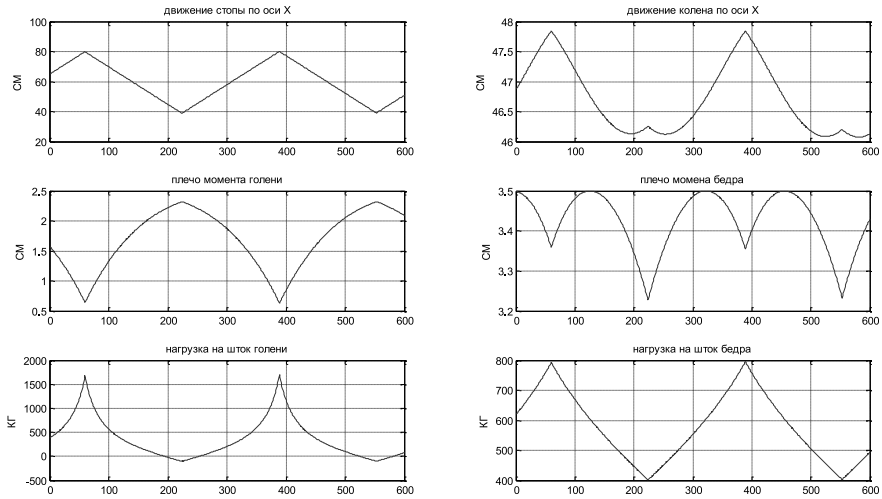


Рисунок 4 - Изменение нагрузки на штоки гидроприводов при различном расположении стоп ног относительно корпуса и постоянной величине реакции опоры.

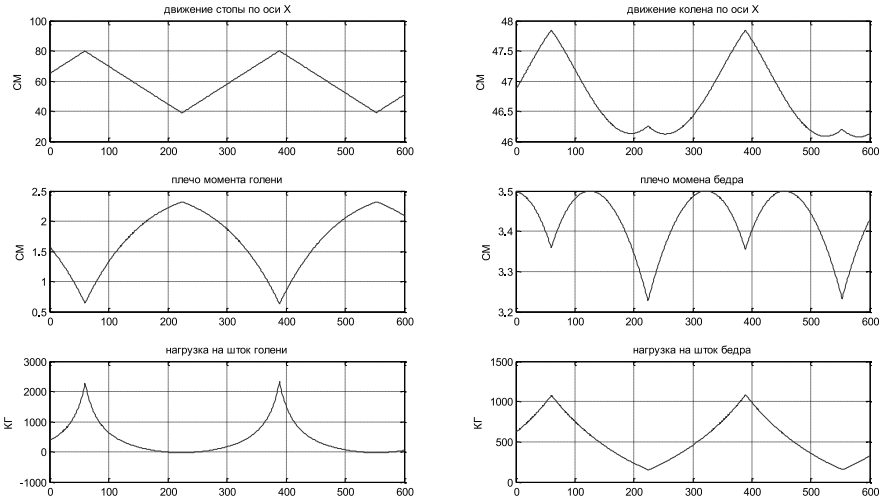


Рисунок 5 - Изменение нагрузки на штоки гидроприводов при перемещении корпуса машины и соответствующем изменении величины реакции опоры.

Результаты моделирования конечности с гидроприводами, работающими в следящем режиме, показаны на рисунках 6 и 7.

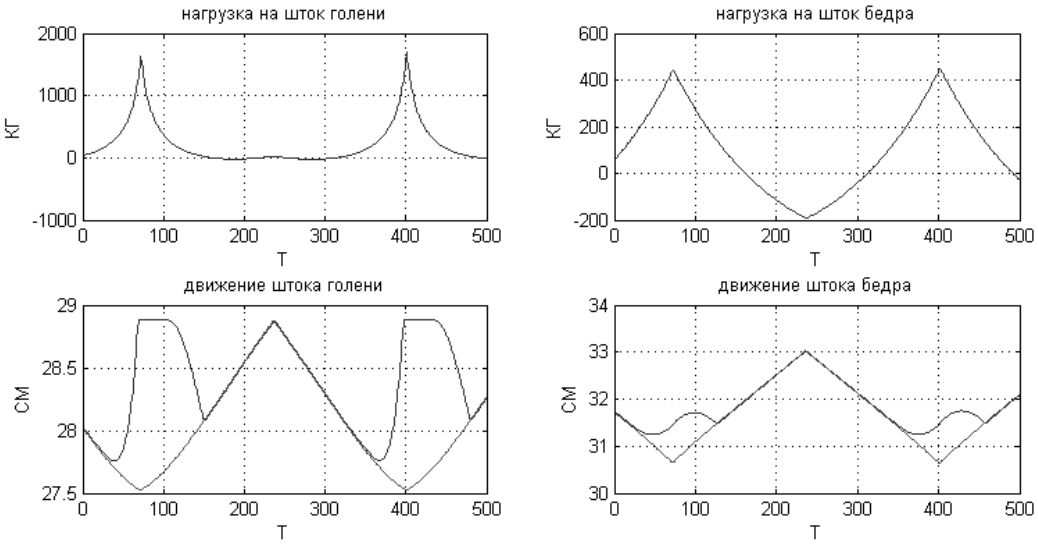


Рисунок 6 - Результаты моделирования конечности с гидроприводами без введения ограничений на величину внешних воздействий на штоки гидроприводов.

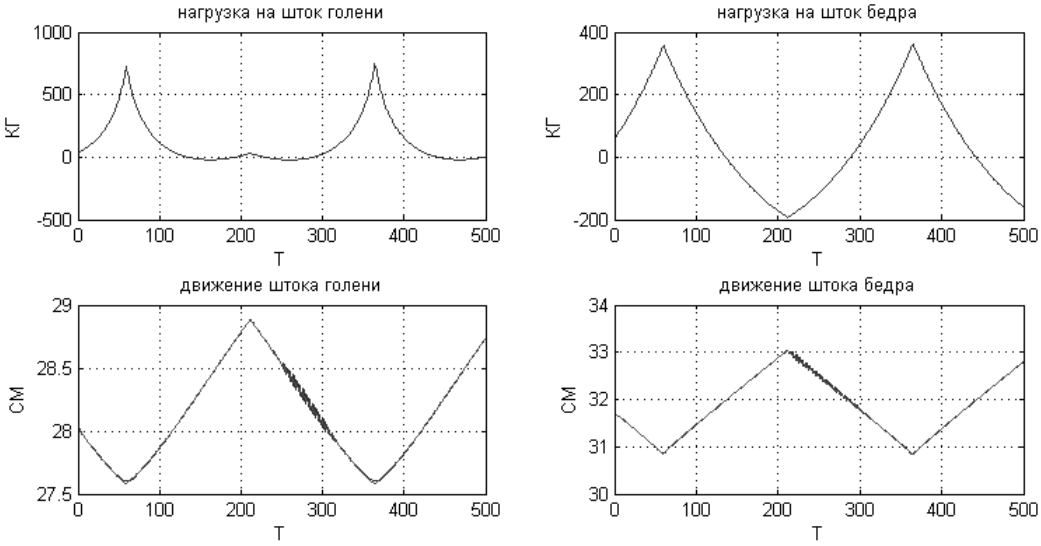


Рисунок 7 - Результаты моделирования конечности с гидроприводами при ограничении на угол разворота бедра и повышении давления в гидросистеме.

Результаты моделирования показывают, что нагрузка на штоки больше чем возможности используемых гидроприводов (Рисунок 6). Максимально допустимая внешняя нагрузка на шток $F = \Delta p_г * S_n$, при давлении на поршень в гидроцилиндре 40 кг/см^2 будет приблизительно 300 кг. Как видно на рисунке 6, на небольшом отрезке перемещения конечности внешняя нагрузка на шток гидропривода бедра доходит до 600 кг, а для гидропривода голени до 1600 кг, что существенно превышает допустимые значения. Это приводит к рассогласованию требуемого и фактического положения штоков гидроприводов. Для того что бы убрать рассогласования требуется ограничить углы разворота звеньев конечности и поднять давление

жидкости, подаваемой в гидроприводы. На рисунке 7 приведены результаты моделирования при увеличении давления на поршень в гидроцилиндре до 100 кг и ограничении угла подъема бедра a1 (рисунок 3) на 20 градусов. В результате получим снижение внешней нагрузки на шток голени во время движения конечности до 600 кг, а на шток бедра до 500 кг. В свою очередь предел допустимой нагрузки на шток гидропривода увеличится до 700кг. На графиках (рисунок 7) так же видно, что при повышении давления в системе появляется нестабильность в управлении регулятора гидропривода. Подобная проблема возникала при разработке робота HyQ [5, 6]. Ее решение потребовало разработки регулятора с контролем сопротивления, позволяющего системе управления гидроприводом подстраиваться под высокие и низкие нагрузки с повышенным давлением в гидроприводах.

Заключение

Результаты проведенных на модели исследований подтвердили возможность и эффективность программного управления передвижением шагающей машины в режиме следящего гидропривода. Путем моделирования были определены ограничения в использовании рабочего пространства конечностей машины, вызванные воздействием внешних нагрузок на штоки гидроприводов. По результатам компьютерных экспериментов и без дорогостоящих и длительных натурных реконструкций и испытаний были сделаны предложения о корректировке параметров звеньев конечностей машины и режимов работы гидроприводов.

Благодарность

Исследования, выполненные по данной тематике, проводились при финансовой поддержке Университета ИТМО (субсидия **074–U01**)«Биоинформатика, машинное обучение, технологии программирования, теория кодирования, проактивные системы», госзадания Министерства образования и науки РФ **№2.3135.2017/К**, в рамках бюджетных тем **№№0073–2014–0009** «Методология и технологии интеграции существующих и перспективных государственных и коммерческих информационно-управляющих и телекоммуникационных систем и сетей на различных этапах их жизненного цикла», **0073–2015–0007**«Фундаментальные основы проектирования и использования социо-киберфизических систем на основе технологий повсеместных вычислений, коммуникаций и многомодальных пользовательских интерфейсов».

Список литературы

[1] Михайлов В.В., Соловьева Т.Н., Попов В.П. Моделирование кинематики шагающего робота. // Информационно-управляющие системы, 6, 2015. - С. 34-40

[2] Михайлов В.В., Соловьева Т.Н., Кузьмин Д.В. Моделирование перемещения шагающего робота по неровной поверхности. //Проблемы управления и моделирования в сложных системах. Труды XVIII Международной конференции 20-25 сентября 2016, Самара, Россия. - Самара: Изд. Офорт. - С. 421-429.

[3] Росляков,А.И. Гидравлика, гидромашины и гидроприводы:в 2 ч. Ч. 2: Гидромашины и гидроприводы. Курс лекций для студентов механических специальностей. Алтайский гос. техн. ун-т, БТИ. - Бийск: Изд-во Алтайского.гос. техн. ун-та, 2007.

[4] Андреев А.Ф., Артемьев П.П., Бартош П.Р, Барташевич Л.В., Богдан Н.В., Королькевич А.В., Метлюк Н.Ф. Гидропневмоавтоматика и гидропривод мобильных машин. Средства гидропневмоавтоматики. – Мн.: ВУЗ-ЮНИТИ БГПА – ИСН, 1998.

[5] C. Semini, N. G. Tsagarakis, E. Guglielmino, M. Focchi, F. Cannella, and D. G. Caldwell. Design of HyQ—A hydraulically and electrically actuated quadruped robo.,IMechE Part I: //J. Syst. Control Eng., vol. 225, no. 6, 2011. Pp. 831–849.

[6] ThiagoBoaventura, Jonas Buchli, Claudio Semini, and Darwin G. Caldwell, Model-Based Hydraulic Impedance Control for Dynamic Robots. // IEEE Transactions On Robotics, Vol. 31, No. 6, 2015. Pp. 1324-1336.

АКТОР-КРИТИК МЕТОД В ЗАДАЧАХ УПРАВЛЕНИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩИМИ МОБИЛЬНЫМИ КИБЕРФИЗИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ

М.Л. Паткин

Самарский государственный технический университет
443100, Самара, ул. Молодогвардейская, 244, Россия
auts@samgtu.ru
тел: +7 (846) 337-07-00

Ключевые слова: *обучение с подкреплением, Актор-Критик метод, мультиагентные системы, машина Дубинса, искусственные нейронные сети, киберфизические системы*

Abstract
This clause establishes rules of preparation of papers on conference “Complex Systems: Control and Modeling Problems". The instruction represents an editing pattern The synthesis procedure of the neural network agents stable to stochastic changes in the environment and realizing control and interaction in pursuit problems for mobile cyberphysical systems in the form of the Dubins Car is considered. It is suggested to carry out the synthesis of the agents by means of training the neural network using the "Actor-Critic" method. A computer model for training and testing of the agent for various parameters of the Dubins Car and the environment, as well as for various variants of agent interaction, is built. The comparison between the proposed method and the control method based on the greedy algorithm for different behaviors of the victim and for various parameters the Dubins Car is made for creation the concrete paper and guarantees performance of all formal requirements on its preparation.

Введение

К современным подходам к управлению мобильными киберфизическими системами предъявляются высокие требования по качеству управления и гибкости в условиях сильной изменчивости среды действия. Сложность управления драматически увеличивается в случаях взаимодействия нескольких агентов, трудящихся над выполнением одной задачи.

Искусственные нейронные сети и обучение с подкреплением предоставляют гибкий инструментарий для решения задачи управления взаимодействующими мобильными киберфизическими системами.

В задачах, когда необходимо взаимодействие или присутствует конкуренция между агентами, сложность поведения агентов определяется не столько средой, сколько уровнем самих агентов – точных копий самих себя. Такие подходы открывают возможности безграничного усложнения поведения, так как присутствует давление со стороны конкурентов или партнеров.

1 Описание подхода

Метод Актор-Критик [1, 2] широко известен и часто используется в обучении с подкреплением. Идея метода – в структурной независимости блока, отвечающего за выбор управляющего воздействия (Актор), и блока, призванного оценивать успешность действия Актора – Критик (Рисунок 1). Для задачи взаимодействия агентов была разработана схема, при которой Актор состоит из двух блоков: Актор действий и Актор коммуникации (рисунок 2). Актор действий отвечает за управление роботом, а Актор коммуникации – за выбор наиболее подходящего слова, которое отправляется партнеру. Актор действий и Актор коммуникаций действуют независимо. Слова, которые передают друг другу агенты выступают в роли одной из составляющих состояний среды, слово $w1_{t-1}$ будет подаваться на вход второго агента на шаге t.

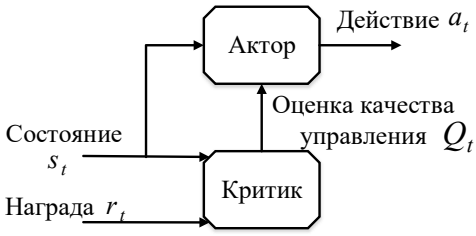


Рисунок 1 – Блок-схема работы АК метода

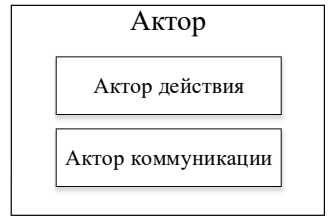


Рисунок 2 – Структура Актора

Критик представляет собой трехслойную рекуррентную ИНС, состоящую из двух слоев LSTM (Long-short term memory) [3] и одного полносвязного слоя. Актор представляет собой систему из двух ИНС: одна для выработки управляющего воздействия, другая для коммуникации между агентами. Параметры нейронных сетей приведены в таблице 1.

Таблица 1. Структуры Актора и Критика.

	Структура Актора		*Структура Критика*
	Актор действия	*Актор коммуникации*	
1	Полносвязный слой: 256 нейрона	Полносвязный слой: 1024 нейрона	LSTM 16 нейронов, входная длина последовательности 4
2	Регуляризация Дропаут: 20%	Регуляризация Дропаут: 10%	LSTM 16 нейронов
3	Активационный слой: РЕЛУ [4]	Активационный слой: РЕЛУ	Полносвязный слой: 1 нейрон
4	Полносвязный слой: 256 нейрона	Полносвязный слой: 1024 нейрона	
5	Регуляризация Дропаут: 20%	Регуляризация Дропаут: 10%	
6	Активационный слой: РЕЛУ	Активационный слой: РЕЛУ	
7	Полносвязный слой: 3 нейрона	Полносвязный слой: 3 нейрона	

В таблице 1 Дропаут (Dropout) – слой, в котором в процессе обучения случайно обнуляется заданное количество выходных значений. РЕЛУ (ReLU – Rectified Linear Unit) – слой нелинейности по функции $f(x) = \mathbf{max}(0, x)$.

ИНС Критика является рекуррентной для выявления зависимостей, которые возникают во времени. Выбор LSTM для критика обусловлен способностью данной ИНС «запоминать» зависимости в достаточно длинных последовательностях и «забывать» малозначимые локальные корреляции [3]. В результате экспериментов была подобрана длина последовательности равная 4.

Первый и второй робот находятся под управлением одного и того же агента, то есть оба робота являются идентичными по поведению. Схема взаимодействия роботов представлена на рисунке 4, процесс обучения такой системы показан в блок-схеме на рисунке 5.

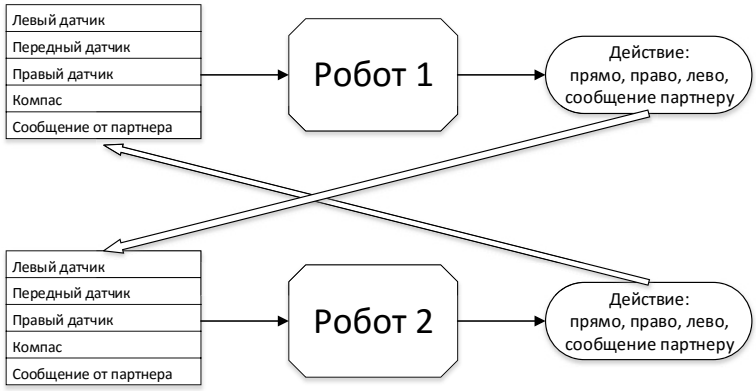


Рисунок 4 – Схема взаимодействия агентов

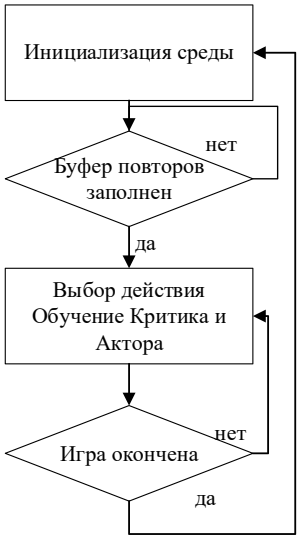


Рисунок 5 – Блок-схема, иллюстрирующая процесс обучения агента

Обучение Критика

Задачей Критика является аппроксимация *Q*-функции – функции полезности управления. ИНН Критика обучается с использованием градиентов, которые происходят от TD-ошибки (ошибки временной разности между оценками полезности на предыдущем и текущем шаге [5]) (1)

(1) $$y_i = r_i + \gamma Q'\left(s_{i+1}, \mu'(s_{i+1}|\theta^{\mu'})|\theta^{Q'}\right)$$

где r - награда среды, s - состояние среды, γ - весовой коэффициент, μ'-функция Актора, $\theta^{\mu'}$ - веса нейронной сети Актора, $\theta^{Q'}$ - веса нейронной сети критика. Веса нейронной сети критика обучаются с помощью градиентов, полученных от среднеквадратичной функции потерь L (2)

(2) $$L = \frac{1}{N}\sum_i \left(y_i - Q\left(s_i, a_i \middle| \theta^{Q'}\right)^2 \right)$$

где N – размер минибатча данных. Как видно из (2), L является среднеквадратичной функцией потерь.

Обучение Актора

Обучение Актора осуществляется по методу DDPG (deep deterministic policy gradient – глубокий градиентный метод). В [5] показано, что функцию DPG можно свести к SPG (stochastic policy gradient – стохастический градиентный метод). Функция DPG рассчитывается как (3)

(3) $$\nabla_{Q^\mu} \mu \approx \mathrm{E}_{\mu'}\left[\nabla_a Q\left(s, a \middle| \theta^Q\right)_{s=s_t, a=\mu(s_t)} \nabla_{Q^\mu} \mu\left(s \middle| \theta^\mu\right)_{s=s_t}\right]$$

где $\mathrm{E}_{\mu'}$ - отношение между наградой, полученной Актором и предсказанной наградой. Актор действия и Актор коммуникации обучаются по одинаковой схеме. В качестве алгоритма оптимизации, и в случае Актора, и в случае Критика был выбран RMSProp [6,7].

2 Описание среды

Среда представляет собой поле 1000 на 1000 пикселей (рисунок 6), в которой действуют два мобильных робота. Цель роботов – перехватить две жертвы, причем так, чтобы каждый робот перехватил одну из жертв. Жертва считается захваченной, если робот приблизился к ее центру не дальше, чем 80 пикселей. На мобильных роботах установлено: 3 сонара, каждый из которых способен измерять расстояние до препятствия и его свойство – цвет, а также устройство, показывающее относительный угол до каждой из жертв. Кинематические свойства роботов описываются системой уравнения для машины Дубинса [8] (4).

(4) $$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = v * \mathbf{cos}(\varphi) \\ \frac{dy}{dt} = v * \mathbf{sin}(\varphi) \\ \frac{d\varphi}{dt} = \frac{\pi}{2}(u_{rm} - u_{lm}) \\ v = 0.5(u_{rm} + u_{lm}) \end{cases} \text{ где } \begin{cases} u_{rm} = [0,1] \\ u_{lm} = [0,1] \end{cases}$$

Робот также способен «слышать» то, что ему говорит партнер. Управление роботом осуществляется с помощью выбора одной из трех команд: «налево», «прямо», «направо». Помимо управления движением возможно использование информационного канала между агентами, которое реализовано в виде обмена словами, которых в данной среде доступно 3. Выбор размера пространства слов равным 3 обусловлено предположением, что вполне достаточно для выполнения данной задачи 3 вида сообщений {«Я выбрал или настиг цель 1», «Я выбрал или настиг цель 2», «Я еще не определился с целью»}

Расчет награды r происходит по следующим правилам:

1) Если угол между роботом и целью меньше 15° и эту цель не захватил другой робот, то r= 0.8
2) Если робот захватил цель, то r= *0.8*
3) Если оба робота захватили обе цели, то r= 1 – победа
4) Если робот врезается в партнера или в границу среды, то r= -1 – поражение
5) Во всех остальных случаях r= -0.1

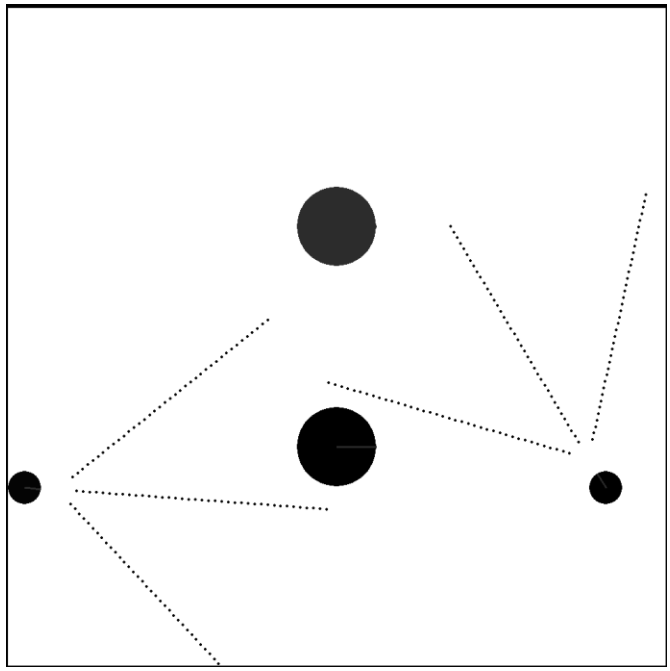


Рисунок 6 – Визуализация среды, объекты: маленькие кружки - роботы, черные точки - линии действия сонаров, большие кружки – цели.

3 Результаты

Сравнение обученного агента производилось с жадным алгоритмом в нескольких режимах функционирования среды: со статической жертвой, со случайно двигающейся жертвой, а также с разным минимальным радиусом разворота робота – машины Дубинса. Качество оценивалось долей успешный запусков относительно общего количества, для каждого эксперимента было произведено по 500 запусков.

Как видно из таблицы 2 качество работы обученного агента сопоставимо с качеством жадного алгоритма. Результаты в таблице 3 показывают, что коммуницирующие роботы решают задачу лучше, чем некоммуницирующие, из чего можно сделать вывод, что данный подход к обучению коммуникации между роботами имеет место быть. Так же в [9,10] представлены результаты похожих работ, что показывает перспективность подобного подхода.

Таблица 2. Доли успешных запусков для жадного алгоритма и модели Актор-Критик

	Жадный алгоритм	**Актор-Критик**
Статическая цель/Минимальный радиус 50	*0,61*	*0,59*
Статическая цель/Минимальный радиус 100	*0,55*	*0,58*
Динамическая цель/Минимальный радиус 50	*0,60*	*0,60*
Динамическая цель/Минимальный радиус 100	*0,60*	*0,60*

Таблица 3. Сравнение коммуницирующих и некоммуницирующих роботов

Всегда передается одно и тоже слово	*0,41*
Передается случайное слово	*0,51*
Актор коммуникации	*0,59*

Заключение

Предложена вариация Актор-Критик метода задач, в которых требуется взаимодействие агентов. В дальнейшем планируются работы над улучшением качества алгоритма и по совершенствованию данного метода.

Благодарности

Автор выражает благодарность коллеге Соколову Денису, высказывавшему замечания и предлагавшему рекомендации по улучшению описанного подхода.

Список литературы

[1] Konda V. R., Tsitsiklis J. N. Actor-Critic Algorithms //NIPS. – 1999. – Т. 13. – С. 1008-1014.
[2] Bhatnagar S. et al. Natural actor-critic algorithms //Automatica. – 2009. – Т. 45. – №. 11.
[3] Gers F. A., Schmidhuber J., Cummins F. Learning to forget: Continual prediction with LSTM. – 1999.
[4] Nair V., Hinton G. E. Rectified linear units improve restricted boltzmann machines //Proceedings of the 27th international conference on machine learning (ICML-10). – 2010. – С. 807-814.
[5] Silver D. et al. Deterministic Policy Gradient Algorithms //Proceedings of The 31st International Conference on Machine Learning. – 2014. – С. 387-395.Witten I. H. et al. Data Mining: Practical machine learning tools and techniques. – Morgan Kaufmann, 2016.
[6] Tieleman T., Hinton G. Lecture 6.5-RMSProp, COURSERA: Neural networks for machine learning //University of Toronto, Tech. Rep. – 2012.
[7] Sarel A. et al. Vectorial representation of spatial goals in the hippocampus of bats //Science. – 2017. – Т. 355. – №. 6321. – С. 176-180.
[8] Reeds J., Shepp L. Optimal paths for a car that goes both forwards and backwards //Pacific journal of mathematics. – 1990. – Т. 145. – №. 2. – С. 367-393.
[9] Gupta J. K., Egorov M., Kochenderfer M. Cooperative Multi-Agent Control Using Deep Reinforcement Learning.
[10] Lowe R. et al. Multi-Agent Actor-Critic for Mixed Cooperative-Competitive Environments //arXiv preprint arXiv:1706.02275. – 2017.

ВЕКТОРНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ 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: *система с распределенными параметрами, оптимальное управление, многокритериальная оптимизация, множество Парето, альтернансный метод*

Abstract

The method of solving multicriteria optimization problem for the processes of control of technical objects with distributed parameters is suggested. Minimax convolution of the particular efficiency criteria is used, The ctriteria are normalised apriori in the form of relative equivalent estimations. Developed approach is based on the transition to the equivalent form of optimal control problem with restrictions. The solution of this problem can be certainly considered as Pareto-effective. The subsequent procedure of preliminary parameterization of control actions provides the reduction to the special problem of semi-infinite programming which solution can be found by alternance method based on Chebyshev' properties of sought-for extremals and fundamental regularities of the application domain.

Введение

В реальных условиях оценки эффективности функционирования сложных систем управления техническими объектами по целому ряду конфликтующих друг с другом различных показателей качества возникает актуальная проблема выбора стратегий управления в подобных задачах многокритериальной (векторной) оптимизации (МЗУ) [1-7].

Типовые методы решения МЗУ сводятся к отысканию на множестве параметризуемых управляющих воздействий Парето-эффективных решений ее однокритериальных версий, которые представляются в форме специальных задач математического программирования (ЗМП), учитывающих все ограничения в исходной постановке МЗУ [4-6]. Реализация данного подхода принципиально усложняется применительно к бесконечномерным моделям объектов с распределенными параметрами (ОРП), для которых формируемая в итоге ЗМП принимает вид задачи полубесконечной оптимизации (ЗПО) с бесконечным числом ограничений в типичных для приложений условиях их оценки в равномерной метрике [8-10].

В настоящей работе предлагается конструктивная технология решения многокритериальных задач оптимального управления достаточно широким классом технических ОРП, базирующаяся на альтернансных свойствах экстремалей ЗПО и существенном использовании закономерностей предметной области [8-10].

1 Математическая модель объекта управления

Применительно к достаточно широкому классу технических ОРП управляемая функция состояния $Q(X,t), X \in V; X = (x_i), i = \overline{1,m}, 1 \le m \le 3; t \in (0,t^*)$ описывается на всем протяжении процесса управления длительностью t^* в пределах области $V \in E^m$ изменения пространственных переменных X с границей S линейным неоднородным уравнением в частных произ-

водных параболического типа с типовыми краевыми условиями второго или третьего рода и внутренним $u_V(t)$ или граничным $u_S(t)$ сосредоточенным управляющим воздействием.

Эквивалентной формой модели такого ОРП является ее представление бесконечной системой дифференциальных уравнений относительно временных мод $\overline{Q}_n(t), n = 1,2,\ldots$, разложения $Q(X,t)$ в сходящийся в среднем ряд по ортонормированной системе собственных функций $\varphi_n(X)$ [11]

$$(1)\quad \frac{d\overline{Q}_n}{dt} = -\mu_n^2\overline{Q}_n + K_{Vn}u_V(t) + K_{Sn}u_S(t),\ Q_n(0) = Q_n^0,\ n = 1,2,\ldots$$

$$(2)\quad Q(X,t) = \sum_{n=1}^{\infty} \overline{Q}_n(t)\varphi_n(X)$$

Здесь μ_n^2 - собственные числа и K_V, K_S - известные коэффициенты

2 Векторная задача оптимального управления

Пусть качество процесса управления оценивается совокупностью различных критериев оптимальности $I_p(u), p = \overline{1,q},\ q > 1,\ u \in \{u_V(t), u_S(t)\}$, представляемых в стандартной форме интегральных функционалов качества

$$(3)\quad I_p(u) = \int_0^{t^*} f_{0p}(\overline{Q},u)\,dt \to \min_{u\in\Omega_p},\ p = \overline{1,q};\ \overline{Q} = (\overline{Q}_n(t))$$

с известными подынтегральными функциями своих аргументов.

Рассматривается следующая задача оптимального управления объектом (1), (2).

Требуется найти управляющие воздействия, стесняемые условиями

$$(4)\quad u_{\min} \le u(t) \le u_{\max},\ t \in (0,t^*)$$

с известными предельно допустимыми значениями $u_{\min}$ и $u_{\max}$, которые обеспечивают минимизацию всех $I_p(u)$ на множествах $\Omega_p = \{u : \Phi_p(u) \le \varepsilon_{0p};\ u \in [u_{\min}, u_{\max}]\}$ в (3) с учетом для каждого $p \in \{\overline{1,q}\}$ заданных достижимых на Ω_p ограничений на величину ε_{0p} допустимых погрешностей $\Phi_p(u)$ отклонения конечных состояний $Q_p(X,t^*), X \in V$, от требуемого $Q_C = \text{const}$

$$(5)\quad \Phi_p(u) = \max_{X\in V}\left|Q_p(X,t^*) - Q_C\right| = \max_{x\in V}\left|\sum_{n=1}^{\infty} \overline{Q}_{pn}(t^*)\varphi_n(X) - Q_C\right| \le \varepsilon_{0p}.$$

Здесь значения ε_{0p} оцениваются в равномерной метрике применительно к представляющим наибольший интерес ситуациям в прикладных задачах [8-10].

В итоге формулируется многокритериальная задача

$$(6)\quad \begin{aligned} &I_\Sigma \to \min_{u\in\Omega_\Sigma};\ I_\Sigma = (I_p(u)),\ p = \overline{1,q};\\ &\Omega_\Sigma = \{u : \Phi_\Sigma(u) \le \varepsilon_0;\ u \in [u_{\min}, u_{\max}]\};\\ &\Phi_\Sigma(u) = \max_{X\in V}\left|Q(X,t^*) - Q_C\right| = \max_{X\in V}\left|\sum_{n=1}^{\infty} \overline{Q}_n(t^*)\varphi_n(X) - Q_C\right|, \end{aligned}$$

где допустимая погрешность ε_0 фиксируется по условиям выполнения неравенств $\varepsilon_0 \le \varepsilon_{0p}\ \forall p = \overline{1,q}.$

3 Однокритериальная версия задачи векторной оптимизации

Известные методы векторной оптимизации используют различные способы свертывания к однокритериальной форме предварительно приводимых к соизмеримому виду (нормализуемых) показателей эффективности I_p в (3) [4-6]. В частности, переход от I_p к относительным равнозначным оценкам [4,5]

$$(7)\quad \lambda_p(u) = \frac{I_p(u) - I_p^*}{I_p^0 - I_p^*};\ 0 \le \lambda_p(u) \le 1,\ p = \overline{1,q}$$

приводит (в отличие от типовой формы с весовыми коэффициентами) к минимаксной свертке МЗУ(6)

$$(8)\quad \lambda(u) = \max_{p\in\{1,q\}} \lambda_p(u) \to \min_{u\in\Omega_\Sigma},$$

точка оптимума которой

$$(9)\quad u^{**} = \arg\min_{u\in\Omega_\Sigma}\left[\max_{p\in\{1,q\}} \lambda_p(u)\right]$$

заведомо принадлежит множеству Парето исходной МЗУ и может рассматриваться в качестве искомого оптимального управления в задаче (6) [4,5].

Здесь в (7) I_p^* - минимальная величина I_p, достигаемая при управлении u_p^* в условиях (5):

$$(10)\quad I_p^* = \min_{u\in\Omega_p} I_p(u);\ u_p^* = \arg\min_{u\in\Omega_p} I_p(u);\ \lambda_p(u_p^*) = 0,$$

и I_p^0 - «наихудшее» значение $I_p(u)$ на множестве Ω_p.

Минимаксная задача (8) эквивалентна обычной однокритериальной задаче с интегральным функционалом качества

$$(11)\quad I = \frac{1}{t^*}\int_0^{t^*} \lambda^0\, dt = \lambda^0 \to \min_{u\in\Omega_\Sigma};\ \lambda^0 = \text{const}$$

с ограничениями на величину $\lambda_p(u)$

$$(12)\quad \lambda_p(u) \le \lambda^0,\ p = \overline{1,q}$$

и минимизируемым параметром λ^0, вводимым согласно уравнению

$$(13)\quad \frac{d\lambda^0}{dt} = 0.$$

Ввод дополнительных переменных $z_p(u),\ p = \overline{1,q}$, согласно уравнениям

$$(14)\quad \frac{dz_p}{dt} = f_{0p};\ z_p(t^*) = I_p(u),\ p = \overline{1,q}$$

приводит к следующей эквивалентной форме задачи (11)-(13).

Необходимо определить стесняемое условиями (4) управляющее воздействие $u^{**}(t)$, которое переводит бесконечномерный объект управления (1), (13), (14) в требуемое согласно (6) конечное состояние при минимальном значении критерия оптимальности (11) с учетом дополнительных ограничений на конечные значения $z_p(t^*)$, $p=\overline{1,q}$, в соответствии с (7), (12), (14):

$$(15)\quad \frac{z_p(t^*)-I_p^*}{I_p^0-I_p^*}\le \lambda^0,\ p=\overline{1,q}.$$

Распространяемая на такую задачу стандартная процедура принципа максимума Понтрягина, как правило, позволяет найти $u^{**}(t)$ в форме явной функции $u^{**}(\overline{Q}^{**}(t),\overline{\Psi}^{**}(t))$ от соответствующих оптимальному процессу векторов $\overline{Q}^{**}$ и $\overline{\Psi}^{**}$ модальных и сопряженных переменных независимо от ограничений на $Q(X,t^*)$ и $z_p(t^*)$ в (6) и (15) [9,12].

4 Редукция к задаче полубесконечной оптимизации

Полученные указанным образом зависимости $u^{**}(\overline{Q}^{**},\overline{\Psi}^{**})$ во многих случаях непосредственно устанавливают структуру искомых оптимальных алгоритмов $u^{**}(t)$ (и аналогичным образом $u_p^*(t)$ в задаче (10)) в форме их параметрического описания с точностью до вектора $\Delta^{(N)}=(\Delta_i^{(N)}),\ i=\overline{1,N}$, упорядоченной последовательности конечного числа N параметров $\Delta_1^{(N)},\Delta_2^{(N)},...,\Delta_N^{(N)}$, непосредственно характеризующих поведение $u^{**}(t)$, $u_p^*(t)$ в пространственно-временной области их определения [8-10].

Интегрирование уравнений объекта (1) с параметризованным управлением $u(\Delta^{(N)},t)$ приводит в таких случаях к представлению критериев оптимальности I_p в (3), λ_p в (7) и конечных состояний $Q_p(X,t^*)$, $Q(X,t^*)$ в (5), (6) в виде явных достаточно гладких зависимостей, соответственно, $I_p(\Delta^{(N)})$, $\lambda_p(\Delta^{(N)})$, $Q_p(X,\Delta^{(N)})$ и $Q(X,\Delta^{(N)})$ от $\Delta^{(N)}$, если считать известными значения I_p^* и I_p^0 в (7).

Размерность N вектора $\Delta^{(N)}$ устанавливается по известным правилам в зависимости от значения ε_0 в (6), либо априори фиксируется возможностями технической реализации $\Delta^{(N)}$-параметризуемых управляющих воздействий [8-10].

В результате производится точная редукция задачи (11)-(15) оптимального управления объектом (1), (13), (14) к задаче минимизации целевой функции

$$(16)\quad I=\lambda^0(\Delta^{(N)})\to \min_{\Delta^{(N)}\in G_N}$$

конечного числа N переменных $\Delta_i^{(N)},\ i=\overline{1,N}$ на допустимом множестве G_N э $\Delta^{(N)}$ их изменения с бесконечным числом ограничений

$$(17)\quad \Phi_\Sigma(\Delta^{(N)})=\max_{X\in V}\left|Q(X,\Delta^{(N)})-Q_C\right|\le\varepsilon_0,$$

диктуемых согласно (17) требованиями (6) для всех $X\in V$ и дополняемых в соответствии с (12), (15) неравенствами

(18) $\lambda_p(\Delta^{(N)}) = \dfrac{I_p(\Delta^{(N)}) - I_p^*}{I_p^0 - I_p^*} \le \lambda^0,\ p = \overline{1,q}$

(задача полубесконечной оптимизации [8,9].)

5 Вычислительные алгоритмы альтернансного метода

Ограничимся далее наиболее характерным для приложений случаем

(19) $\varepsilon_0 = \min \varepsilon(\Delta^{(N)}) = \min\limits_{\Delta^{(N)} \in G_N} \left[\max\limits_{X \in V} \left| Q(X, \Delta^{(N)}) - Q_C \right| \right]$

в (17) с минимально достижимой величиной ε_0 в классе $\Delta^{(N)}$-параметризуемых управлений.

В таком случае задача (16)-(19) сводится [8] независимо от условий (18) к минимаксной задаче

(20) $\Phi_\Sigma(\Delta^{(N)}) \to \min\limits_{\Delta^{(N)} \in G_N}$.

Ее решение $\overline{\Delta}^{(N)}$ обладает обладает альтернансными свойствами [8-10], согласно которым выполняются равенства

(21) $\left| Q(X_j^0, \overline{\Delta}^{(N)}) - Q_C \right| = \min \varepsilon(\Delta^{(N)}),\ j = \overline{1,R};\ R = N+1$

в некоторых точках $X_j^0 \in V,\ j = \overline{1,R}$. Число R этих точек оказывается равным числу $N+1$ всех неизвестных в (20), включая все компоненты $\overline{\Delta}_i^{(N)},\ i = \overline{1,N}$, искомого вектора $\overline{\Delta}^{(N)}$ и априори неизвестную величину минимакса $\min \varepsilon(\Delta^{(N)})$. При наличии дополнительной информации из предметной области о конфигурации зависимостей $Q(X, \overline{\Delta}^{(N)})$ от $X \in V$, позволяющей идентифицировать значения X_j^0 и знаки разностей $Q(X_j^0, \overline{\Delta}^{(N)}) - Q_C$, равенства (21) вместе с условиями существования экстремума функции $Q(X, \overline{\Delta}^{(N)})$ в точках $X_{jv}^0 \in \operatorname{int} V,\ v = \overline{1,R_1},\ R_1 \le R$

(22) $\dfrac{\partial}{\partial X} Q(X_{jv}^0, \overline{\Delta}^{(N)}) = 0,\ v = \overline{1,R_1}$

трансформируются к замкнутой системе $N + R_1 + 1$ уравнений, решение которой (как правило единственное) относительно всех искомых величин $\overline{\Delta}_i^{(N)},\ i = \overline{1,N}, \min \varepsilon(\Delta^{(N)})$, и промежуточных неизвестных $X_{jv}^0,\ v = \overline{1,R_1}$, находится известными численными методами.

По найденному указанным способом вектору $\overline{\Delta}^{(N)}$ и известным зависимостям $\lambda_p(\Delta^{(N)})$ вычисляется достигаемое в условиях (19) минимальное значение $\lambda_{\min}^0$ целевой функции (16):

(23) $\lambda_{\min}^0 = \min\limits_{\Delta^{(N)} \in G_N} \lambda^0(\Delta^{(N)}) = \lambda^0(\overline{\Delta}^{(N)}) = \max\limits_{p \in \{\overline{1,q}\}} \lambda_p(\overline{\Delta}^{(N)})$,

“автоматически” обеспечивая тем самым выполнение условий (18) и завершая тем самым решение задачи (16)-(19).

Для определения $\lambda_{\min}^0$ в (23) необходимо предварительно найти I_p^* и I_p^0 для всех $p = \overline{1,q}$ в (7).

Однокритериальные задачи оптимизации (3), (5) после параметризации искомых управлений приводятся, подобно (16), (17), к ЗПО следующего вида:

$$(24)\quad \begin{aligned} & I_p([\Delta^{(N)}]_p) \to \min_{[\Delta^{(N)}]_p}; \\ & \Phi_p([\Delta^{(N)}]_p) = \max_{X\in V}\left|Q(X,[\Delta^{(N)}]_p) - Q_C\right| \le \varepsilon_{0p}, \end{aligned}$$

где $[\Delta^{(N)}]_p$ - элементы подмножества $\{[\Delta^{(N)}]_p\} \subset \{\Delta^{(N)} \in G_N\}$ значений $\Delta^{(N)}$ в p-ой задаче (24), и ε_{0p} выбираются далее подобно (19)

$$(25)\quad \varepsilon_{0p} = \min \varepsilon\left(\left[\Delta^{(N)}\right]_p\right) = \min_{\left[\Delta^{(N)}\right]_p}\left[\max_{X\in V}\left|Q\left(X,\left[\Delta^{(N)}\right]_p\right) - Q_C\right|\right].$$

Отсюда следует, в частности, согласно (19), (25), что

$$(26)\quad \varepsilon_0 \le \varepsilon_{0p},\ p=\overline{1,q},\ \text{в условиях}\ \left\{[\Delta^{(N)}]_p\right\} \subset \left\{\Delta^{(N)} \in G_N\right\},$$

и, следовательно, все ограничения (24), (25) заведомо выполняются в условиях (17), (19), (20), (26).

На решениях $\Delta^{[p]}$ задач (24) по описанной схеме альтернансного метода определяются величины I_p^* в (7)

$$(27)\quad I_p^* = I_p(\Delta^{[p]}),\ p=\overline{1,q}.$$

Максимально возможные значения I_p^0 критерия I_p формально определяются зависимостями

$$(28)\quad I_p^0 = I_p(\tilde{\Delta}^{[p]});\ \tilde{\Delta}^{[p]} = \arg\max_{[\Delta^{(N)}]_p} I_p\left([\Delta^{(N)}]_p\right): \Phi_p\left([\Delta^{(N)}]_p\right) \le \min\varepsilon\left([\Delta^{(N)}]_p\right),$$

однако, величины $I_p^0,\ p=\overline{1,q}$ могут быть установлены проще, например, по следующему алгоритму:

$$(29)\quad I_k^0 = \max_{\substack{p\in\{\overline{1,q}\}\\ p\ne k}} I_k\left(\Delta^{[p]}\right),\ k=\overline{1,q}$$

или исходя из физических соображений в каждой конкретной задаче.

В итоге решение по описанной схеме альтернансного метода задач полубесконечной оптимизации (24) и (16)-(19) с вычислением $\lambda_{\min}^0$, I_p^* и I_p^0 согласно (23), (27) и (28) (или (29)) исчерпывает решение исходной МЗУ (8).

Заключение

В докладе будет приведен самостоятельный интерес пример решения предлагаемым методом задачи векторной оптимизации температурных режимов индукционного нагрева металлических полуфабрикатов перед последующими операциями пластического деформирования в технологических комплексах обработки металла давлением.

В качестве частных критериев оптимальности I_p в (3) рассматриваются базовые технико-экономические показатели нагревательной установки: расход энергии на нагрев, потери металла на термохимические взаимодействия (потери в окалину) и оцениваемая в равномерной метрике точность приближения конечных температурных кондиций к требуемым.

Список литературы

[1] Моисеев Н.Н. Математические задачи системного анализа. М.: Наука, 1981. 488 с
[2] Гермейер Ю.Б. Введение в теорию исследования операций. М.: Наука, 1971. 383 с.
[3] Гермейер Ю.Б. Игры с непротивоположными интересами. М.: Наука, 1976. 316 с.
[4] Машунин Ю.К. Методы и модели векторной оптимизации. М.: Наука, 1986. 141 с.
[5] Машунин Ю.К. Теоретические основы и методы векторной оптимизации в управлении экономическими системами. М.: Логос, 2001. 247 с
[6] Корнеенко В.П. Методы оптимизации. М.: Высшая школа, 2007. 664.
[7] Токарев В.В. Методы оптимальных решений. Т. 2. Многокритериальность. Динамика. Неопределенность. М.: Физматлит, 2011. 416 с.
[8] Рапопорт Э.Я. Альтернансный метод в прикладных задачах оптимизации. М.: Наука, 2000. 336 с.
[9] Рапопорт Э.Я. Оптимальное управление в системах с распределенными параметрами. М.: Высшая школа, 2009.
[10] Рапопорт, Э.Я. Технология оптимального проектирования сложно-структурированных систем с распределёнными параметрами: программные стратегии принятия решений / Э.Я. Рапопорт, Ю.Э. Плешивцева // Онтология проектирования. – 2017. – Т. 7, №2(24). - С. 172-190. – DOI: 10.18287/2223-9537-2017-7-2-172-190.
[11] Рапопорт Э.Я. Программная управляемость линейных многомерных систем с распределенными параметрами // Изв. РАН. Теория и системы управления. 2015. №2. С. 22-39.
[12] Понтрягин Л.С., Болтянский В.Г., Гамкрелидзе Р.В., Мищенко Е.Ф. Математическая теория оптимальных процессов. М.: Наука, 1969. 384 с.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДВИЖЕНИЯ БОЛЬШЕГРУЗНОГО АВТОМОБИЛЯ С КОЛЕСНОЙ ФОРМУЛОЙ 6x4 В ЗАДАЧЕ РАЗРАБОТКИ АЛГОРИТМА ПРОТИВОПРОБУКСОВОЧНОЙ СИСТЕМЫ С ИДЕНТИФИКАЦИЕЙ ПРОБУКСОВКИ НА КАЖДОМ КОЛЕСЕ

Я.К. Рунков, А.З. Асанов

Московский технологический университет (МИРЭА)
119454, г. Москва, пр. Вернадского, 78
yaroslav.rynkov@gmail.com
тел: +7 (926) 914-92-90

Ключевые слова: *большегрузный автомобиль, противобуксовочная система, математическое моделирование.*

Abstract

The traction control system is a very important component of a complex of means of ensuring of road safety and increase in operation of modern motor transport. Besides performance of the direct functions, the traction control systems often are often a part of a road-holding ability systems of the movement of the car. Design and use of traction control systems of heavy-load cars (HLA) demands the accounting of features of HLA (big dimensions of the car, including base, big weight and significant differences in loadings on axes, essential distinctions in contact areas "wheel-road" on a lobby and back axes, etc.). In this work the HLA mathematical model with the wheel formula 6x4 intended for use at synthesis of control algorithms of the HLA traction control system is presented.

Введение

При старте или резком ускорении возможно возникновение пробуксовки ведущих колес автомобиля. Подобное явление способно вызвать серьёзные последствия в виду потери управления автомобилем. Именно поэтому противобуксовочная система является одной из важнейших при решении задач автомобильной безопасности. Кроме того, противобуксовочная система является важной частью системы курсовой устойчивости автомобиля.

Особенности большегрузных автомобилей (БГА) заключается в больших габаритах, возможном и существенном смещении центра масс в зависимости от загрузки автомобиля, сдвоенности колес на ведущих осях автомобиля, широкий диапазон нагрузок на оси в зависимости от загрузки автомобиля и т.д. Противобуксовочная система БГА, естественно, должна учитывать эти особенности.

Работа посвящена созданию математической модели движения БГА – основополагающего элемента при построении алгоритмов управления противобуксовочной системы.

1 Постановка задачи

Математическая модель должна описывать движение по траектории, обусловленной заданными параметрами, такими как крутящий момент, передаваемый на дифференциал заднего моста автомобиля, угол поворота колес и целого ряда других. В модели должен быть отражен параметр, по которому идентифицируется пробуксовка. Таким параметром является отношение линейной скорости автомобиля к скорости вращения колеса. Так же должен быть учтен коэффициент трения\скольжения колес о дорогу на каждом колесе независимо.

В качестве входных параметров модели должны быть заданы габариты и масса автомобиля, продольные и поперечные коэффициенты жесткости колес. В качестве параметров также используются расстояния от центра масс до осей, а также ширина колесной базы БГА.

В основе математической модели лежат уравнения кинематики и динамики, применяемые к БГА. На основе этих уравнений рассчитывается скорость вращения каждого колеса и линейная скорость автомобиля. В модель должно быть заложено и функционирование дифференциала автомобиля при пробуксовке колес.

2 Математическая модель движения

Кинематические уравнения движения определяются следующими соотношениями:

(1) $\dot{X} = V\,\mathbf{cos}(\psi + \beta)$

(2) $\dot{Y} = V\,\mathbf{sin}(\psi + \beta)$

где ψ – угол ориентации БГА по отношению к горизонтальной оси, β – угол скольжения БГА, V – скорость движения автомобиля.

Расчет угла скольжения β производится по формуле:

(3) $$\beta = \mathbf{tan}^{-1}\left(\frac{l_f\,\mathbf{tan}\,\delta_r + l_r\,\mathbf{tan}\,\delta_f}{l_f + l_r}\right)$$

где l_f, l_r – расстояние от центра масс до передней и задней полуосей соответственно, δ_f, δ_r – угол поворота передних и задних колес соответственно.

Угол ориентации можно рассчитать, используя уравнения динамики автомобиля [2]. В состав этих уравнений входит расчет продольной и поперечной динамики. Уравнение продольной динамики, из которого можно определить значения ускорения автомобиля, имеет вид:

(4) $$m\ddot{x} = \left(F_{xfl} + F_{xfr}\right)\mathbf{cos}\left(\delta\right) + F_{xrl} + F_{xrr} - \left(F_{yfl} + F_{yfr}\right)\mathbf{sin}\left(\delta\right) + m\dot{\psi}\dot{y}\,.$$

Для определения поперечной динамики используется уравнение:

(5) $$m\ddot{y} = F_{yrl} + F_{yrr} + \left(F_{xfl} + F_{xfr}\right)\mathbf{sin}\left(\delta\right) + \left(F_{yfl} + F_{yfr}\right)\mathbf{cos}\left(\delta\right) - m\dot{\psi}\dot{x}\,,$$

где $F_{xfl}, F_{xfr}, F_{xrl}, F_{xrr}$ - продольные силы для передних и задних колес, $F_{yfl}, F_{yfr}, F_{yrl}, F_{yrr}$ – поперечные силы передних и задних колес, m – масса БГА.

Уравнение для нахождения угла ориентации колес:

(6) $$\begin{aligned} I_z\ddot{\psi} = {} & l_f\left(F_{xfl} + F_{xfr}\right)\mathbf{sin}\left(\delta\right) + l_f\left(F_{yfl} + F_{yfr}\right)\mathbf{cos}\left(\delta\right) - l_r\left(F_{yrl} + F_{yrr}\right) + \frac{l_w}{2}\left(F_{xfr} - F_{xfl}\right)\mathbf{cos}\left(\delta\right) + \\ & + \frac{l_w}{2}\left(F_{xrr} - F_{xrl}\right) + \frac{l_w}{2}\left(F_{yfl} - F_{yfr}\right)\mathbf{sin}\left(\delta\right), \end{aligned}$$

где $\frac{l_w}{2}$ – половина ширины колесной базы БГА.

Как видно из соотношений, уравнения динамики составлены с учетом продольных и поперечных сил колеса. В свою очередь, продольные силы колеса зависят от продольного коэффициента скольжения, параметра сноса колеса (табличное значение) и функции модели колеса используемой в [1].

(7) $$F_x = C_\sigma \frac{\sigma}{1+\sigma} f\left(\lambda\right)$$

Для определения продольного коэффициента скольжения используется следующее отношение:

(8) $\sigma_x = \dfrac{r_{eff}\omega_w - \dot{x}}{r_{eff}\omega_w}$

где r_{eff} - эффективный радиус колеса, для модели БГА, в данном случае используется табличное значение; ω_w - скорость вращения колеса, для модели рассчитывается каждое колесо отдельно; $\dot{x}$ - продольная скорость БГА, определяется из соотношения (4).

Для исходной модели параметр продольного коэффициента скольжения является ключевым, так как на основе этого параметра идентифицируется пробуксовка и вырабатывается сигнал в систему регулирования. Функция $f(\lambda)$ определяется соотношениями:

(9) $f(\lambda) = (2-\lambda)\lambda$ при $\lambda < 1$

(10) $f(\lambda) = 1$ при $\lambda \geq 1$

Для определения λ применяется соотношение:

(11) $\lambda = \dfrac{\mu F_z (1+\sigma)}{2\sqrt{\left\{(C_\sigma \sigma)^2 + (C_\alpha \tan(\alpha))^2\right\}}}$

здесь μ - коэффициент сцепления колеса с дорогой, F_z - вертикальная сила действующая на колесо, α - угол скольжения колеса, C_σ - параметр продольного сноса (табличное значение), C_α - параметр углового сноса (табличное значение).

По коэффициенту μ можно задать уровень устойчивости конкретного колеса. В данном случае, коэффициент для каждого колеса будет задан независимо. Вертикальная сила отражает силу тяжести, действующую на каждое колесо, варьируется от степени загруженности автомобиля, и распределения веса внутри БГА. Вертикальная сила в модели используется как константы на каждом колесе.

Для определения поперечной силы колеса используется соотношение

(12) $F_y = C_\alpha \dfrac{\tan(\alpha)}{1+\sigma} f(\lambda)$

Углы скольжения для передних и задних колес определяются из уравнений:

(13) $\alpha_r = -\dfrac{\dot{y} - l_r\dot{\psi}}{\dot{x}}$

(14) $\alpha_f = \delta - \dfrac{\dot{y} + l_f\dot{\psi}}{\dot{x}}$

Угол скольжения колеса для передних колес определяется из соотношения (14), для задних колес – из соотношения (13). Из формул видно, что на поперечные силы оказывают значительное влияние все динамические составляющие БГА.

Уравнения для передних (ведомых) колес имеют вид:

(15) $J_w\dot{\omega}_{fl} = -r_{eff}F_{xfl}$;

(16) $J_w\dot{\omega}_{fr} = -r_{eff}F_{xfr}$;

где J_w - момент инерции колеса, определяемый как табличное значение.

Как видно из формул скорость вращения ведомых колес зависит от продольных сил, воздействующих на эти колеса.

Описание ведущих колес в модели представимо следующим образом:

(17) $J_w\dot{\omega}_{rl} = T_{rl} - r_{eff}F_{xrl}$ - для левого колеса;

(18) $J_w\dot{\omega}_{rr} = T_{rr} - r_{eff}F_{xrr}$ -для правого колеса;

где T_{rl} -момент подводимый к левому колесу, T_{rr} - момент подводимый к правому колесу.

В соотношениях (15), (16), (17), (18) рассчитываются скорости вращения всех четырех колес. БГА в нашем случае имеет привод на задние колеса, соответственно будет учитываться момент, подводимый к заднему мосту T_d .

Отличия моментов, подводимых к мосту и колесам автомобиля, зависят от работы дифференциала. В нормальных условиях и при движении прямо момент тяги подаваемый на дифференциал равномерно распределяется на каждое колесо, поэтому $T_{rl} = T_{rr} = \frac{1}{2}T_d$.

На работу дифференциала влияет два фактора: первый фактор – это зависимость от угла поворота колес. Второй фактор – коэффициент сцепления колеса и дороги. Для модели, применяемой для разработки противобуксовочной системы первым фактором можно пренебречь, так как система исследуется либо при движении прямо, либо при небольших углах поворота колес. Второй фактор имеет значительно большее влияние, а, следовательно, ему будет уделено особое внимание. В модели используется коэффициент блокировки дифференциала $k_{\text{п}}$, определяемый соотношением [3]:

(19) $k_{\text{п}} = \frac{F_{xlb}}{F_{xrb}}$,

где F_{xlb} , F_{xrb} - продольная сила заднего левого и правого колеса соответственно.

При прямолинейном движении по однородной поверхности, когда все колеса находятся в равных условиях, эти силы равны между собой. Однако, при различном коэффициенте сцепления колес с дорогой они существенно разнятся, что приводит либо к увеличению, либо к уменьшению коэффициента $k_{\text{п}}$. Далее, с учетом этого коэффициента производится расчет и распределение крутящего момента, передаваемого с дифференциала на колеса:

(20) $T_{lb} = \frac{T_d}{k_{\text{п}} + 1}$,

(21) $T_{rb} = \frac{k_{\text{п}}T_d}{k_{\text{п}} + 1}$.

Таким образом, в работе модели дифференциала учитывается сцепление каждого ведущего колеса с дорогой.

Моделирование движения БГА производилось с параметрами, значения которых приведены в таблице 1. В процессе исследования применялись различные значения крутящего момента, передаваемого на колеса и различные коэффициенты трения колес с поверхностью дороги.

Параметры продольного и поперечного сноса колеса представлены из следующего источника [1]. Для определения момента колеса и эффективного радиуса использовался материал, представленный в источнике [4].

3 Результаты тестирования модели

В качестве результатов тестирования представлены траектория движения БГА под воздействием продольных и поперечных сил (рис. 1), сравнение траекторий при большом и малом значениях коэффициента трения (рис. 2), а также график изменения коэффициента скольжения при подаче высокого коэффициента скольжения (рис 3).

Таблица 1 – Параметры модели

Параметр	Значение
I_z	98,4
l_f	2,37
l_r	2,37
$\frac{l_w}{2}$	1,02
m	9000
r_{eff}	0.61021
$C_{\alpha r}$	57000
$C_{\alpha f}$	57000
$C_{\sigma r}$	57000
$C_{\sigma f}$	57000
J_w	98.4
δ_f	$\pi/24$
δ_r	0

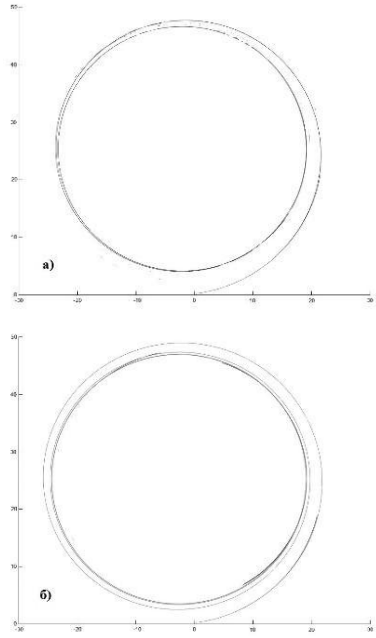


Рисунок 1 – Описание траектории движения БГА под воздействием продольных и поперечных сил

На рисунке 1 представлено описание траектории движения БГА под воздействием продольных и поперечных сил при скорости $V = 5 \text{м}/c$ (рис. 1а) и скорости $V = 7 \text{м}/c$ (рис. 1б). Как видно из рисунка, при увеличении скорости движения увеличивается радиус описываемой автомобилем окружности.

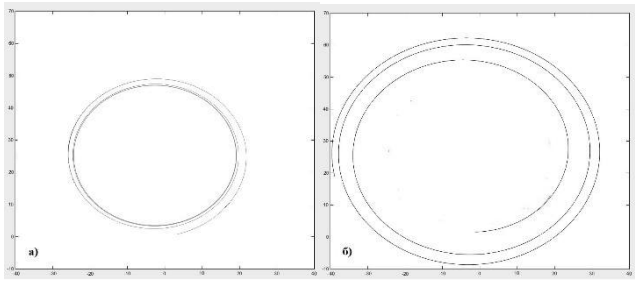


Рисунок 2 – Сравнение траекторий при различных сцеплениях колес БГА с дорогой

Рисунок 2 представляет сравнение траектории при малом значении коэффициента сцепления автомобиля с дорогой $\mu = 0.3$ (рис. 2а), и большом значении коэффициента $\mu = 0.8$ (рис. 2б). Из рисунка следует, что при лучшем сцеплении обеспечивается меньший радиус.

На рисунке 3 продемонстрированы изменения продольного коэффициента скольжения, который является индикатором наличия пробуксовки. На рисунке видно, что при подаче высокого крутящего момента, значения данного коэффициента скольжения высоки, что демонстрирует пробуксовку. Далее значения коэффициента падают, что обусловлено тем, что возрастает линейная скорость при установившейся скорости вращения колеса, и при пересечении показателя 0.1 пробуксовка устраняется и колесо стабилизируется.

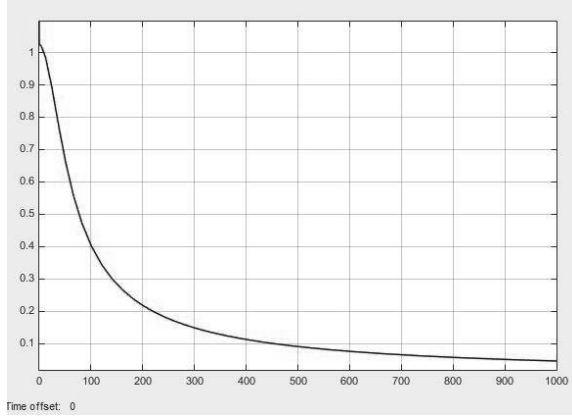


Рисунок 3 – Продольный коэффициент скольжения ведущего колеса

Заключение

В данной работе представлена математическая модель БГА, которая отражает поведение системы под воздействием динамических сил, включает в себя параметры колеса, сцепления с дорогой.

В процессе тестирование была продемонстрирована работоспособность системы. Модель может быть применить для синтеза и дальнейшего исследования алгоритмов управления противобуксовочной системы.

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант 17-08-00516).

Список литературы

[1] Dugoff H., Fancher P.S., Segal L. Tyre performance charecteristics affecting vehicle response to steering and braking control inputs. – US National Bureau of Standards, 1969.
[2] Rajamani R. Vehicle dynamics and control. – Springer, 2011.
[3] Смирнов Г.А. Теория движения колесных машин. – Москва: Машиностроение, 1990.
[4] Хусаинов А.Ш. ТЕОРИЯ АВТОМОБИЛЯ Конспект лекций. – Ульяновск: УлГТУ – МАМИ, 2008.

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕОРИИ ГРАФОВ ДЛЯ ОПЕРАТИВНОГО КОНТРОЛЯ ПРИ УПРАВЛЕНИИ ПОЛЁТОМ ПИЛОТИРУЕМЫХ КОРАБЛЕЙ

Соловьев С.В., Мишурова Н.В.

ОАО РКК "Энергия" им. С.П. Королёва
Моск. обл., г. Королёв, ул. Ленина, д.4а, 141070,
post@rsce.ru

Ключевые слова: *управление, оперативный контроль, пилотируемый корабль, граф, алгоритм, интеллектуальный анализ.*

Abstract
In the article it is told about the application of graph theory in the control of a manned spacecraft. The ability to use graphs theory to control the property reduces the time for finding the optimal solution of problems in flight.

Управление полетом пилотируемых кораблей (ПК) является сложным процессом, который осуществляется человеко-машинной системой. Неотъемлемым элементом данного процесса является контроль. Под этим понятием будем понимать процедуры наблюдения за поведением ПК с целью оптимального выполнения программы полета при безусловном выполнении требовании по безопасности экипажа ПК. То есть контроль играет роль обратной связи, с помощью которой оценивается состояние ПК и выполняемая программа полета и в целом обеспечивается процесс управления полетом.

Контроль при управлении полётом ПК представляет собой непрерывно повторяющийся процесс, т.к. интегральная оценка состояния контролируемых параметров должна гарантировать в каждый момент времени достоверный ответ на следующие вопросы:

- способен ли ПК выполнить поставленные перед ним задачи, находится ли он в текущей готовности к выполнению намеченной программы с соблюдением предъявляемых требований по безопасности экипажа и работоспособности бортовых систем.
- адекватны ли реакции систем ПК на формируемые управляющие воздействия;
- в состоянии ли наземный и бортовой средства управления обеспечить требуемый информационный обмен;
- насколько состояние ПК и наземных средств управления в целом соответствует задачам реализации программы полета.

Оценке подлежат все основные процессы, происходящие на борту ПК при управлении его полётом. Оценка состояния и работы систем ПК является основной функцией для обеспечения безопасности полёта экипажа, работоспособности ПК, рационального использования его ресурсов, требуемого характера управляемого движения, требуемых параметров внутренней физической обстановки ПК, выполнения им полётных операций, научно-исследовательской программы и плана полета в целом.

В общем случае процесс контроля можно описать следующим образом:

- ТМИ от ПК проходит первичную обработку и отображается на рабочих местах операторов службы управления;
- автоматизированно проводится проверка соответствия значений ТМИ допустимому диапазону;

- оператором проводится проверка, находится ли ТМИ в ожидаемом диапазоне, в соответствии с внешнетраекторными данными и элементом полётной операции;
- проводится проверка, находится ли ТМИ в диапазоне значений, получаемых решением функций взаимовлияния параметров систем (в соответствии с их назначением, расположением и др.).

На рисунке 1 представлена блок-схема процесса контроля в общем виде, где S - состояние ПК, P - параметр ТМИ, l - текущая операция, g - внешнетраекторная оценка текущего положения ПК, F - функция взаимного влияния параметров, t - время.

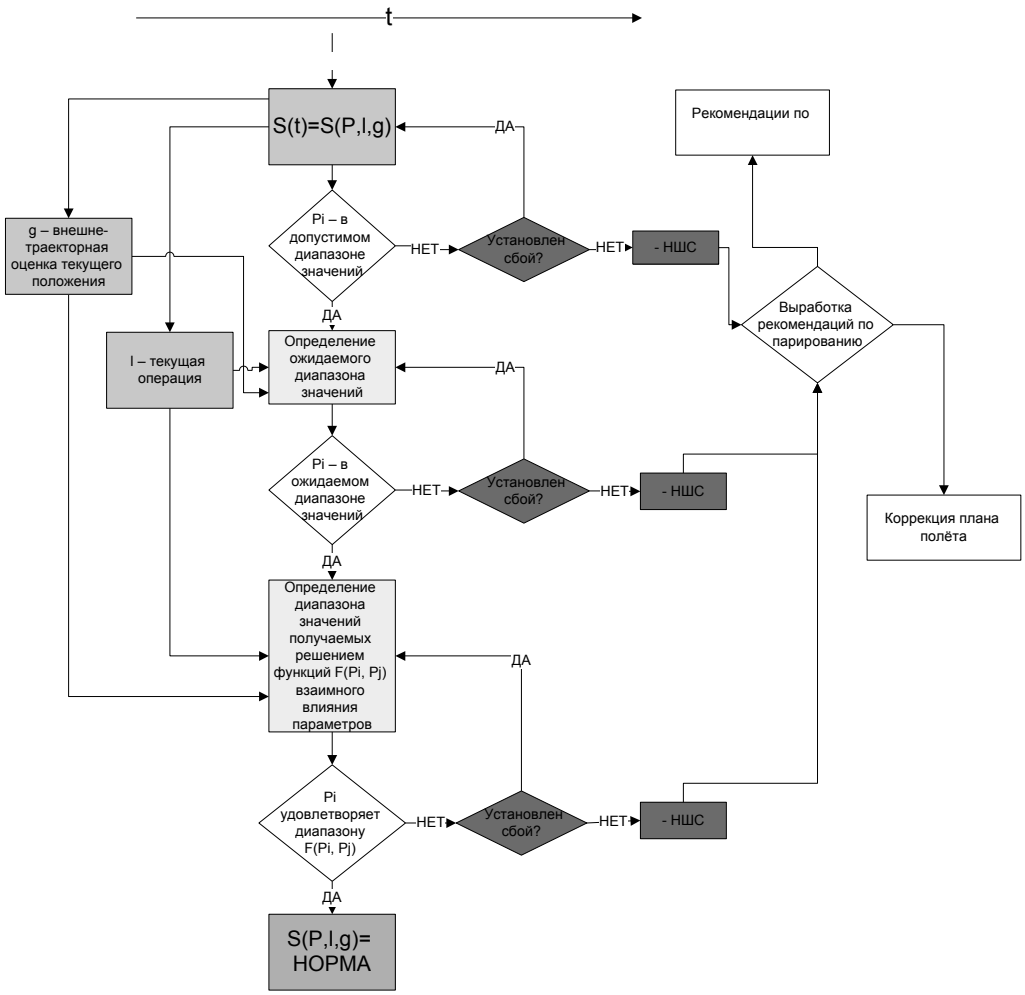


Рисунок 1 – Общий вид контроля ПК

В процессе орбитального полета ПК выполняет определенную последовательность действий в соответствии с планом полета с целью достижений целей полета. При этом состояние ПК последовательно изменяется. Все изменения инициируются посредством команд управления. Под командой здесь и далее понимается кратковременное управляющее воздействие, вызывающее изменение состояния ПК.

Одной из функциональных задач контроля является оценка исполнения команд управления выданных на бортовые системы ПК. В большинстве случаях изменение состояния ПК требует исполнение некоторой последовательности команд.

Команды управления бортовыми системами ПК подразделяются на категории по источникам их выдачи:

- выдаваемые с земли по командным радиолиниям (КРЛ),
- выдаваемые с пульта космонавтов и из блоков ручного управления спускаемого аппарата и бытового отсека,
- выдаваемые из бортового цифрового вычислительного комплекса (БЦВК),
- выдаваемые из бортовых систем (команды взаимного управления).

Для автоматизации оценки состояния и функционирования бортовых систем ПК необходимо учитывать располагаемые возможности организованной (неслучайной) выдачи команды на состояние ПК. Часть команд обычно исполняется безусловно, а другая только при наличии определённых условий (так называемых логических «признаков»). Физически «признак» это элемент памяти коммутационного прибора с двумя устойчивыми состояниями, нахождение которого в том или ином состоянии создает необходимое условие для исполнения команды. В программном обеспечении БЦВК «признак» может представлять собой особое кодовое слово или отдельную подпрограмму.

Управляющая взаимосвязь между бортовыми системами корабля осуществляется с помощью команд взаимного управления (КВУ), т.е. команд, выдаваемых автоматикой отдельных бортовых систем для управления другими бортовыми системами ПК. Команды взаимного управления от бортовых систем транслируются для выполнения другими системами через коммутацию в системе управления бортовым комплексом (СУБК) или через БЦВК.

СУБК ПК «Союз» в настоящее время принимает и обрабатывает:

- 214 команд КРЛ;
- 20 команд от управляющих программ БЦВК;
- 254 команд управления с пультов экипажа;
- 210 команд взаимного управления.

При этом формируются 220 параметров ТМИ, отражающих воздействия указанных команд на бортовые системы.

Выдача любой команды требует от специалиста группы контроля проверки её выполнения.

В СУБК корабля «Союз» реализован принцип приоритета команд, выдаваемых по КРЛ, над командами, выдаваемыми с пульта космонавтов. При одновременном поступлении команд по КРЛ и с пульта космонавтов в матричном коммутаторе формируется только команда по КРЛ. При поступлении каждой команды КРЛ на борт ПК формируется сигнал, который блокирует прохождение команд с пульта космонавтов на время прохождения команды с КРЛ. Ввиду этого в ходе анализа информации одновременное прохождение команд из двух и более источников не рассматривается. Последовательность команд, в результате которой изменяется состояние ПК и осуществляется реализация программы полета, может содержать различные команды. Также может отличаться очередность выдачи команд.

Для полноценного контроля состояния ПК или выявления его отклонения от нормы или от ожидаемого значения, при контроле необходимо использовать возможное организованное влияние исполнения команд на бортовые системы ПК. В настоящее время сложилась определенная практика выполнения данных операций контроля. Основная роль при этом отводиться операторам управления. Учитывая большой объем информации, которую необходимо отслеживать и понятные возможности человека, пусть и высококвалифицированного, в составе смены управления требуется задействовать большое число специалистов. С другой стороны данные процедуры можно четко и однозначно описать

формальным математическим языком. Такое описание позволит автоматизировать процесс контроля команд управления.

Наиболее удобным способом для решения указанной задачи является формирование таблиц и графов выполнения команд. С их помощью решаются следующие задачи:

- верификация последовательности команд;
- проверка совместимости команд;
- определение оптимальной (кратчайшего пути) последовательности команд;
- определение состояния ПК после выдачи команд;
- идентификации возникшего не ожидаемого состояния ПК при возможной несанкционированной выдаче команд.

Процесс автоматизации оценки состояния и функционирования ПК существенно упрощается при наличии базы данных команд, максимально полно определяющего порядок действий при их выполнении. При формировании базы данных команд можно использовать уже имеющиеся бумажные носители информации.

В процессе контроля прохождения команд требуется оценить какое состояния будет сформировано каждой бортовой системы ПК, при выдачи определённой команды, для этого проведём анализ состояния, которое будет получено в результате выдачи команд, при известном начальное состояние S0.

В сеанса связи предполагается выдача команды К1, содержащейся в базе данных. Известно, что в базе данных, содержащих команды, для команды К1 состояние ПК при наличии внутреннего признака, чаще всего программного, команда изменит состояние ПК на состояния S1 – наличие признака pr1, для состояния S2 – признак pr2 и для состояния S3 признак pr3, при отсутствии признака полученное состояние ПК будет S4. При этом, согласно базе данных, из состояния S1 при выдачи команд К2 и К5 можно перевести состояние ПК в состояние S4, а выдав последовательно команды К3 и К4 состояние ПК из состояния S2 обратится в S1 (рис 2). Эта информация позволит гибко подходить к оценке состояния ПК при выдаче команд.

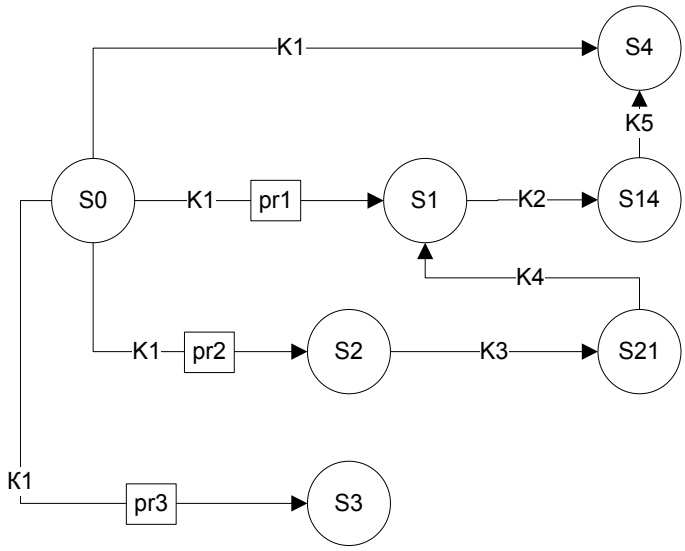


Рис 2 – Орграф перевода состояния ПК S0 при наличии признаков в различные состояния

На рисунке 2, с точки зрения теории графов, мы получаем орграф с заданным количеством вершин и дуг. Применим раздел дискретной математики, который позволит

сократить временны́е затраты при автоматизации процесса оценки прохождения команд на борт ПК. Используя теорию графов при оценке последовательности выдачи ряда команд, решим в общем виде задачу нахождения кратчайшего пути. Т.е. когда потенциалы вершин устанавливаются, кратчайший путь определяется методом обратного хода от выхода к входу, т.е. кратчайшим является путь, в общем виде описанный в формуле (1), такой что (2

(1) $\mu = (0; i_1; i_2; \dots; i_{n-1}; n)$

(2) $l_{i_{n-1}n} = \lambda_n - \lambda_{n-1}$

Первоначально заменяем названия вершин порядковыми номерами, обозначаем lij длиной дуги (i;j). Это применимо для пути, имеющего правильную, т.е. последовательную нумерацию. λn – индекс выхода.

Применение вышеописанного принципа позволит быстрее оценить состояние ПК при выдаче последовательного ряда команд и снизить риск возникновения ошибки в результате отсутствия времени для оценки состояния между выдачей команд в таком режиме.

Рассмотрим пример, КР-Ш13 – команда, выдаваемая по КРЛ, название «Выбор уставки дельта VT2». Согласно ТО, по СУБК команда имеет следующие условия исполнения (см.табл. 1), изменяя тем самым выполняемую операцию. В данном случае, признак +4.7 выдаётся по команде ОК-46 и является не снимаемым признаком с момента выдачи команды (снятие происходит по команде разделения ОК-52). Но при программной аномалии может быть снят системой (для оценки ОГУ параметр ПШУ, контролируемый всё время полёта ПКА). В этой команде подтверждается наличие питания в общей шине уставок (рис 3).

Таблица 1

Команда			Выполняемая операция	
Обозначение	Название	Условие исполнения	Индекс	Название
КР-Ш13	Выбор уставки дельта VT2		+4.32	Команда в СУС выбор уставки «дельта VT1»
		+4.7	+4.55	Команда в СУС общая шина уставок

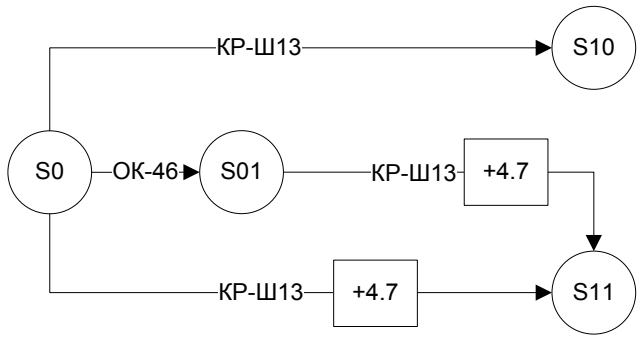


Рис. 3 – Орграф перевода ПКА из состояния S0 с использованием команды КР-Ш13 и ОК-46

В случае некорректного снятия питания параметра ПШУ, признак пропадает и его возобновление возможно по команде ОК-46. Представляя процесс прохождения команд с помощью графов, можно сделать его наглядней для специалистов группы контроля.

Контроль состояния ПК проводится оперативной группой управления (ОГУ) на протяжении всего полёта после контакта отделения космического аппарата от ракетоносителя. Контроль, как элемент управления ПК, является начальным этапом для выработки

рекомендаций по дальнейшей работе и заключительной проверкой перед выдачей команд на борт ПК. Для контроля состояния ПК необходимо учитывать внешнетраекторную оценку текущего положения ПК. Для части параметров систем ПК внешнетраекторная оценка определяет ожидаемый диапазон значений и оказывает влияние на решение функции взаимного влияния параметров. Например, для оценивания температур солнечных батарей необходимо учитывать время до захода ПКА в тень либо время выхода из тени.

Рассмотренный подход позволяет заблаговременно оценить возможное влияние на ПК, уточнить время, которое будет необходимо для выполнения поставленной задачи. В оперативной работе время, конечно, не всегда является главным критерием, и встречаются ситуации, когда решение поставленных задач в полёте осуществляется сразу по совокупности ряда критериев. Несмотря на это, описанный способ является неотъемлемым в решении подавляющего большинства задач возникающих в полёте.

Список литературы

[1] Кравец В.Г., Любинский В.Е. Основы управления космическими полётами, М.: Машиностроение, 1983. 256с.

[2] Соловьёв В.А., Лысенко Л.Н., Любинский В.Е. Управление космическими полётами, Т.1,2, М.: МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2009. 426с.

[3] Muggleton, S.; De Raedt, L. (1994). "Inductive Logic Programming: Theory and methods". The Journal of Logic Programming. 19-20: 629–679

[4] А.А. Барсегян, М.С. Куприянов, В.В. Степаненко, И.И. Холод Методы и модели анализа данных: OLAP и Data Mining

[5] В. В. Деревянко. Применение Data Mining в космических приложениях. Исследования наукограда. №1 2012.

[6] Соловьев С.В., Мишурова Н.В. Анализ текущего состояния процесса контроля при управлении полётом космических аппаратов, "Инженерный журнал: наука и инновации", №3, 2016г., М.: МГТУ им. Баумана.

МЕТОД ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СОСТОЯНИЯ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ НА ОСНОВЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО АНАЛИЗА ДАННЫХ

С.В. Соловьев[1], К.И. Хаиров[2]

1ПАО РКК «Энергия» им. С.П. Королева
141070 г. Королев Московской области, ул. Ленина, 4-а
post@rsce.ru
тел: +7 (495) 513-86-55, факс: +7 (495) 513-88-70

2МГТУ им Н.Э. Баумана
105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1
bauman@bmstu.ru
тел: +7 (499) 263-63-91, факс: +7 (499) 267-48-44

Ключевые слова: *прогнозирование, космический аппарат, контроль, анализ данных, кластерный анализ, техническое состояние, телеметрическая информация, аномалия*

Abstract

The article considers the method of forecasting the state satellites based on the data-mining. The feature of the forecasting problem in flight control is shown. The advantages of intellectual analysis are compared with the method used in practice. A separate example describes the algorithm and method for evaluating the results of the analysis.

Введение

Прогнозирование технического состояния космических аппаратов (КА) является процессом специализированных математических действий, направленный на определение технических и ресурсных параметров, а также характеристик КА в планируемом будущем времени. Источником информации для этого, служат данные о состоянии КА полученные в течении его орбитального полета за предшествующее время, известных внешние и внутренние связи КА и его составных частей, а также произошедшие изменения параметров состояния и режимов работы составных частей КА, приборов и агрегатов.

Непосредственное перенесение методов принятых для решения задач контроля на задачи прогнозирования затруднительно из-за различия моделей, с которыми приходится работать. При контроле моделью обычно является описание КА и его составных частей, в то время как при прогнозировании необходима модель процесса эволюции технических характеристик КА во времени. Важно также, что в результате контроля при управлении полетом КА каждый раз определяется не более чем одна «точка» состояния КА для текущего момента (интервала) времени. Тем не менее, правильно организованные процедуры контроля КА с хранением всех предшествующих результатов диагностирования может дать полезную и объективную информацию, представляющую собой предысторию (динамику) развития процесса изменения технических характеристик КА в прошлом, что может быть использовано для систематической коррекции прогноза и повышения его достоверности.

В настоящее время при управлении полетом КА прогнозирование технического состояния КА осуществляется частично, в основном на базе оценочных расчетов по мере необходимости. В этих расчетах используются значения отдельных параметров состояния получаемых с борта КА в течение сеансов связи, за прошедшие периоды времени и получившиеся тенденции в изменении параметров переносятся на последующие временные интервалы. Подобный алгоритм позволяет оценить изменение состояния КА в ограниченной перспективе, но существуют множество причин, которые приводят к разбросу значения

прогнозируемой величины. Наиболее существенной причиной этого является возможность появления аномалий и отклонений в работе КА и его составных частей, которые не идентифицируются традиционными способами контроля. То-есть, значения параметров состояния КА находятся в допустимом диапазоне, но есть отличия, аномалии или отклонения в поведении взаимосвязанных параметров и тенденций в изменении совокупностей параметров описывающих состояние КА.

Перспективным методом прогнозирования, повышающий вероятность обнаружения аномалий и отклонений на ранних стадиях, является интеллектуальный анализ данных, или иначе говоря, дополнительный математический аппарат не входящий в состав традиционных средств обеспечивающих контроль технического состояния КА.

1 Сущность метода интеллектуального анализа

Целью интеллектуального анализа данных является обнаружение неявных закономерностей в наборах данных. Для задачи прогнозирования состояния КА такими данными служить телеметрическая информация (ТМИ) поступающая от КА и принимаемая наземными средствами управления.

Распространение технологий автоматизированной обработки информации и накоплением в компьютерных системах больших объемов данных активно развивается в последние 20-30 лет. И хотя существующие ранее технологии позволяли, например, быстро найти в базе данных нужную информацию, этого во многих случаях было уже недостаточно. Возникла потребность поиска взаимосвязей между отдельными событиями среди больших объемов данных, для чего понадобились методы математической статистики, теории баз данных, теории искусственного интеллекта и ряда специализированный математических теорий.

В настоящее время наибольшие успехи применения интеллектуального анализа достигнуты в решении экономических, биологический и химических задач, а также в задачах по формированию и принятию решений при управлении сложными структурами.

Для целей контроля при управлении полетом КА и решения задач прогнозирования состояния, основными преимуществами интеллектуального анализа по сравнению с традиционными алгоритмическими моделями, можно назвать следующие:

- отсутствие необходимости в предварительно заданных параметрах о состоянии КА и алгоритма анализа его работы;
- высокая скорость реакции на появление аномалии, отклонений или отличий, фактически в темпе поступления ТМИ;
- устанавливает и отслеживает взаимосвязь между всеми возможными телеметрическими параметрами, содержащимися в ТМИ КА;
- универсальность в части контроля состояния различных составных частей КА или конструктивно различных КА;
- учитывает поступающие данные о нормальном или ожидаемом состоянии КА и его составных частей и обновляет ранее построенную модель поведения.

В данной работе будет описан метод прогнозирования на основе кластерного анализа данных, что обусловлено наличием больших объемов архивной ТМИ о функционировании той или иной составной части КА. Основной целью данного анализа является поиск аномалий или отклонений от номинального состояния, которые могут быть предвестниками нештатного поведения составных частей КА в будущем.

2 Кластерный анализ данных

Кластерный анализ данных (кластеризация) – это автоматическое разбиение элементов некоторого множества на группы в зависимости от их схожести. Элементами множества может быть что угодно, например, данные или векторы. Эти группы называются кластерами.

Внутри каждой группы должны оказаться «похожие» элементы, а элементы разных группы должны быть как можно более различны. Главной особенностью кластеризации является то, что перечень групп четко не задан и определяется в процессе работы алгоритма.

Кластер имеет следующие математические характеристики:

- центр кластера (центроид) - это среднее геометрическое место точек в пространстве данных;
- дисперсия кластера - это мера рассеяния точек в пространстве относительно центра кластера;
- среднеквадратичное отклонение (СКО) объектов относительно центра кластера;
- радиус кластера - максимальное расстояние точек от центроида кластера;
- спорный объект - это объект, который по мере сходства может быть отнесен к нескольким кластерам.

Размер кластера может быть определен либо по радиусу кластера, либо по среднеквадратичному отклонению объектов для этого кластера, либо по границам граничных параметров. Данные относится к кластеру, если расстояние от данных до центра кластера меньше радиуса кластера. Если это условие выполняется для двух и более кластеров, объект является спорным.

Данные, которые передаются в составе ТМИ КА содержат в числе прочего, и параметры состояния КА. Эти параметры измеряются датчиками, входящими в состав системы бортовых измерений и необходимы для осуществления управления полетом КА как средствами бортового комплекса управления КА, так и наземными средствами управления. Поскольку указанные параметры передаются на землю «порционно» в составе телеметрического кадра или пакета, то будем их использовать для создания кластеров и последующего прогнозирования. При этом значения параметров, извлеченные из одного телеметрического кадра, будут образовывать многомерный вектор состояния. Процедурам кластеризации мы будем подвергать получаемые вектора.

Так как задачу кластеризации можно ставить как задачу дискретной оптимизации, для этого необходимо провести поиск с учетом следующих условий:

1) Среднее внутрикластерное расстояние должно быть как можно меньше,

$$r = \frac{\sum_{i=1}^{n} \rho(k_i, k_{\text{ц}})}{n} \to min$$

где i – номер вектора

2) Сумма средних внутрикластерных расстояний должна быть как можно меньше

$$R = \sum_{m=1}^{l} \rho\left(k_{\text{ц}m}\right) \to min$$

где i – номер вектора, m – номер кластера

3) Среднее межкластерное расстояние должно быть как можно больше

$$r = \sum_{\text{ц}=1}^{l} \frac{1}{K_{\text{ц}}} \sum_{i=1}^{n} \rho(k_i, k_{\text{ц}}) \to max$$

где i – номер вектора, m – номер кластера

Для метода прогнозирования состояния КА применим наиболее популярный метод кластеризации, именуемый метод К-средних. Алгоритм анализа данных, построенный на основе данного метода кластеризации, предпочтителен в силу его простоты реализации и высокой скорости вычислительного процесса, что важно при обработке телеметрической информации с борта КА в режиме реального времени.

Принцип кластеризации методом К-средних включает в себя следующие последовательные действия:

1) Задаются m начальных центроидов, которые могут быть выбраны из имеющихся k векторов, либо подобраны случайно.
2) Вход в цикл, который продолжается до тех пор, пока центроиды кластеров не перестанут изменять свое положение.
3) Обход каждого вектора и определение ближайшего центроида.
4) Привязка вектора к кластеру этого центроида.
5) После перебора всех векторов высчитываются новые координаты центроидов кластеров.
6) Проверяются координаты новых центроидов. Если они соответственно равны предыдущим центроидам – выходим из цикла, если нет возвращаемся к пункту 3.

Метод автоматизированного прогнозирования состояния КА продемонстрируем на гипотетическом примере.

В нашем примере будем использовать двумерные векторы ввиду того, что такие векторы наиболее наглядно отображаются графически на плоскости. Наглядность позволяет понять принцип предлагаемого интеллектуального метода анализа и визуализировать результаты работы данного анализа. Кроме того, двумерным вектором могут быть описаны состояния многих реальных составных частей КА. Например, состояния системы электропитания в части солнечных и аккумуляторных батарей КА описываются током и напряжением, а состояние системы хранения двигательной установки КА или топливных баков определяется давлением и температурой. Основная цель данного примера пояснить математический аппарат, положенный в основу метода, который представляет собой кластерный анализ данных.

Следует отметить, что приводимый математический аппарат и алгоритм анализа планируется распространить для прогнозирования состояния транспортных пилотируемых кораблей (ТПК) типа «Союз» без изменений, за исключением размерности векторов состояния.

Первое действие - создадим 54 двумерных вектора, соответствующих номинальной работе системы. При этом, «x» это, например, значение давления, а «y» значение температуры.

x	8	11	15	17	17	20	20	21	22	24	24	11	25	13	26	27	12	30
y	78	71	80	65	69	67	69	83	70	83	76	83	66	83	84	79	78	82
x	31	32	34	75	44	69	45	45	73	47	47	49	49	53	53	55	59	60
y	75	73	73	82	78	74	62	89	93	72	66	75	91	85	71	91	69	91
x	62	65	65	65	67	68	71	72	73	74	74	75	75	76	77	77	79	80
y	76	79	75	67	79	62	75	81	69	79	71	66	73	62	76	87	69	73

Второе действие - составление кластеров при помощи алгоритма k-средних. Для расчета расстояния будем использовать Евклидово расстояние, которое представляет собой геометрическое расстояние в многомерном пространстве и для нашего примера выражается как:

$$\rho(k_i, k_{\text{ц}}) = \sqrt{(x_i - x_{\text{ц}})^2 + (y_i - y_{\text{ц}})^2}$$

Далее осуществляем процедуру кластеризации как показано на блок-схеме алгоритма k-средних рисунок 1.

В результате получаем два кластера и их конечные центроиды, как показано на рисунке 2. Полученная кластерная база данных описывает номинальное поведение анализируемой составной части КА.

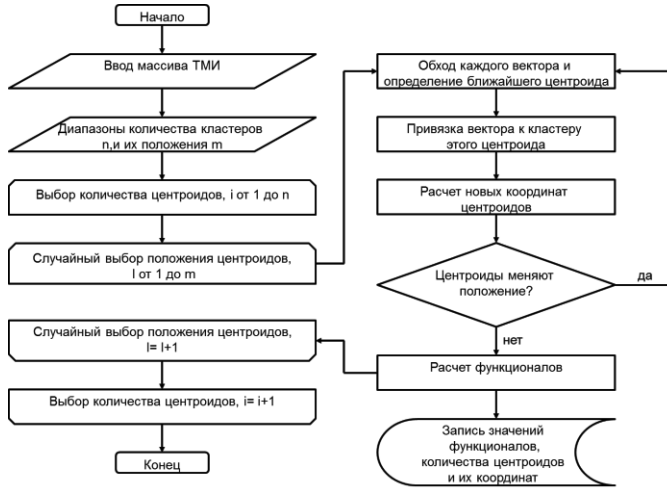


Рисунок 1 – Блок-схема алгоритма k-средних

Теперь произведем соотнесение новых векторов, которые получены от вновь полученных с борта КА параметров «x» «y» (45;57) и (50;94). Приведенные значения укладываются в допустимый диапазон изменения параметров «x» «y» на борту КА, который приводиться в технической документации.

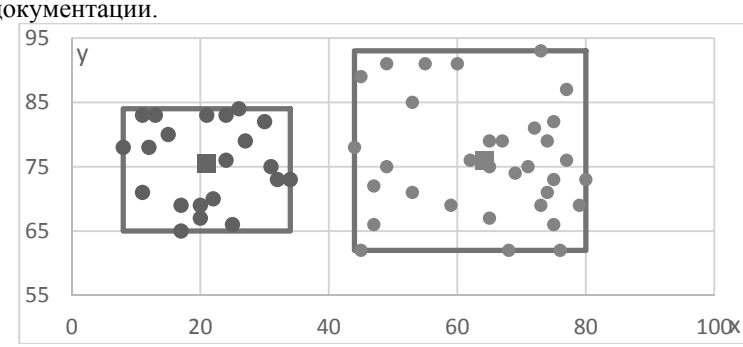


Рисунок 2 – Сформированные кластеры и их конечные центроиды

Для поиска ближайшего кластера найдем минимальное расстояние до их центроидов с помощью Евклидова расстояния, аналогично приведенному выше. Визуализация соотнесения новых векторов представлена на рисунке 3.

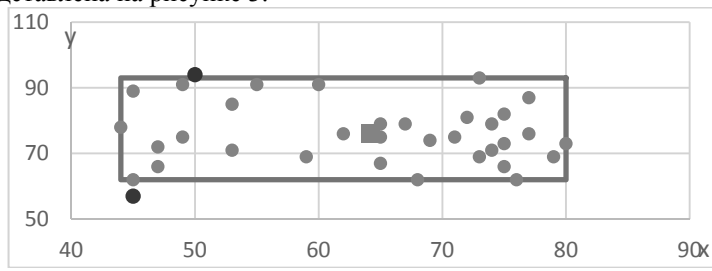


Рисунок 3 – Соотнесение новых векторов с кластером

Как видно, оба вектора соотносятся с правым кластером. Необходимо выяснить, будут ли соответствовать входящие кластеры номинальной работе системы, либо же нет. В этих целях

необходимо задать максимальное отклонение от центроида кластера Δ, соответствующее номинальной работе системы. Зададим Δ=10%. При этом Δ будет рассчитываться по следующей формуле:

$$\Delta = \left(\frac{|x_в - x_ц|}{(x_{max} - x_ц)(x_ц - x_{min})} + \frac{|y_в - y_ц|}{(y_{max} - y_ц)(y_ц - y_{min})} - 1 \right) * 100\%$$

где:
в – координата вектора;
мах – верхняя граница кластера;
min – нижняя граница кластера;
ц – центроид кластера.

Физического смысла у определяемого отклонения Δ не имеется, оно является искусственной величиной, применяемой для оценки результатов анализа.

Рассмотрим данный кластер номинальной работы, включающий себя двумерные вектора с параметрами «x» и «y».

1) Вектор (50, 94) Отклонение Δ до кластера: -2,54%
2) Вектор (45, 57) Отклонение Δ до кластера: 14,57%

Отрицательное значение показывает, что одна или несколько компонентов вектора принадлежат рассматриваемому кластеру.

Так как отклонение Δ для вектора (50;94) невелико и не превышает 10%, что можно считать нормальным для состояния анализируемой составной части КА. Отклонение Δ для вектора (45;57) превышает допустимые10%, что сигнализирует об отклонении или аномалии в состоянии анализируемой составной части КА. Качественное улучшение результатов анализа представляется достижимым с увеличением количества разнородных параметров для формирования многомерного вектора и количества векторов. Так, например, для КА типа «Союз» при оценке состояния двигательной установки используются 146 аналоговых параметров формируемых телеметрической системой. То есть в пределе речь идет о 146-мерном векторе. В этом случае можно предположить, что отклонение Δ будет фиксировать возникающие отклонения или аномалии в состоянии двигательной установки на самых ранних стадиях. Понимание момента зарождения отклонений и аномалий в техническом состоянии увеличивает располагаемое время на принятие мер предупреждающих переход КА в нештатное состояние.

Заключение

Современные методы интеллектуального анализа данных позволяют значительно расширить возможности прогнозирования технического состояния КА, особенно учитывая очевидные тенденции по конструктивному усложнению КА, увеличению функциональных возможностей и существенно возросшим срокам эксплуатации КА на орбите.

Список литературы

[1] Барсегян А.А., Куприянов М.С., Степаненко В.В., Холод И.И. Технологии анализа данных. Data Mining, Visual Mining, Text Mining, OLAP (2-е издание) 2007 год
[2] Мандель И.Д. Кластерный анализ, М.: Финансы и статистика, 1988. 176 с.
[3] David L. Iverson. Data Mining Applications for Space Mission Operations System Health Monitoring. Proceedings of the SpaceOps 2008 Conference, ESA, EUMETSAT, AIAA, Heidelberg, Germany, May 2008.AIAA 2008-3212
[4] David L. Iverson, Rodney Martin, Mark Schwabacher, Lilly Spirkovska, William Taylor. General Purpose Data-Driven System Monitoring for Space Operations AIAA 2009-1909
[5] Christopher Teubert, Scott Poll. Application of Inductive Monitoring System to Plug Load Anomaly Detection Annual Conference of the Prognostics and Health Management Society 2012.

ЭФФЕКТИВНАЯ РАЗРАБОТКА МНЕМОСХЕМ ПРИ КОНТРОЛЕ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ

П.А. Степанов, М.Ю. Охтилев

Государственный Университет аэрокосмического приборостроения
190000, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 67, Россия
pavel@stepanoff.info oxt@mail.ru

Ключевые слова: *вычислительная модель Тыугу, мнемосхема, контроль технического состояния, анализ телеметрической информации*

Abstract

The paper defines a simple way to create mnemonic schemes, used defining and for tracking status of aerospace equipment. Although such schemes are crucial for success of all processes, from design to launch, their development is a separate task, taking software developers effort. It is important to provide a method to create mnemonic scheme without traditional programming. This paper proposes usage of modified Tyugu's computational models for this purpose.

Введение

Контроль технического состояния является важнейшей задачей при обеспечении надежности ракетно-космической техники. Он осуществляется, в том числе, путем анализа информации, передаваемой изделием в центр управления (телеметрической информации). Во многих случаях оперативный анализ этой информации осуществляется путем ее визуализации на графических схемах автоматизированных рабочих мест, иначе называемых мнемосхемами.

Разрабатывать мнемосхемы путем их непосредственного программирования слишком трудоемко и дорого, так как требует навыков программирования от исполнителей. Данная работа посвящена способу быстрой разработки таких мнемосхем и их сопряжению с источником телеметрической информации, не требующей от персонала навыков программирования.

1 Контроль технического состояния ракетно-космической техники

Каждый запуск космического аппарата является технически сложной, длительной и дорогостоящей процедурой. При этом ракетно-космическая техника, будучи однажды введенной в эксплуатацию, с большим трудом может поддаваться ремонту и сервисному обслуживанию. Поэтому крайне важно обеспечить полную исправность изделия в момент запуска.

Контроль технического состояния ракетно-космической техники осуществляется различными способами, но все они основаны на получении информации от датчиков, расположенных в ключевых узлах контролируемого объекта. Эта информация, называемая телеметрической, передается по каналам связи в системы ее анализа, расположенные, например, в центре управления полетом. Например, если это телеметрическая информация ракеты-носителя, то с ее помощью можно быстро ответить на вопрос – прошла ли та или иная команда, правильно ли выполняется программа полета, а также в целом оценить - готова ли ракета к выводу полезной нагрузки на орбиту[1,2].

Телеметрическая информация может анализироваться автоматически, с помощью автоматов или программного обеспечения. Например, автоматика может отменить запуск ракеты-носителя, если ее техническое состояние не совпадает с расчетным. Однако во многих случаях конечные решения принимает человек, в виду чего поток данных должен быть представлен в дружественном оператору виде, например, в виде таблиц или графиков. Еще одним важным

видом представления информации являются схематические изображения узлов и агрегатов изделия, на которых непосредственно отображается их состояние в виде числовых значений и/или цветовых индикаторов. Такие схематические изображения называются мнемосхемами.

Использование мнемосхем при оценивании технического состояния сразу ставит ряд технических вопросов, в частности, необходимо обеспечить простой способ разработки мнемосхем узлов и агрегатов, число которых в составе изделия измеряется тысячами, а также обеспечить связывание разработанной мнемосхемы с источником телеметрической информации.

2 Способы разработки мнемосхем

Простейшим способом реализации мнемосхемы является ее представление в виде статического изображения. Однако, так как представляемый ею объект имеет структуру, то такой подход имеет целый ряд недостатков - в частности, сложность изменения, невозможность повторного использования части изображения, необходимость программирования отображения телеметрической информации. С другой стороны, так как мнемосхемы обладают определенным визуальным синтаксисом, их можно считать “изображениями” на определенном “визуальном языке”. Соответственно возникает задача определения этого визуального языка[3].

Существующие методы определения визуальных языков отличаются большим разнообразием. Можно отметить целый ряд решений на основе формализмов грамматик[4,5], адаптированных для графов[6,7], теории категорий[8], лямбда-исчисления[9,10], искусственного интеллекта[11] и других. Тем не менее, у этих подходов есть общий недостаток – высокая сложность, предъявляющая высокие требования к знаниям и навыкам инженеров, занимающихся разработкой таких языков. С другой стороны, во всех случаях, когда разработка визуального языка является вспомогательной задачей для решения какой-либо другой технической проблемы (в данном случае – контроля технического состояния ракетно-космической техники) желательно сосредоточить силы и средства именно на основной проблеме. Таким образом, целесообразно максимально упростить используемые для реализации визуального языка формализмы, при этом сохранив выразительную мощь.

3 Вычислительная модель визуального языка

Одним из простейших способов описания внешнего вида и поведения объектов относительно друг друга является представление зависимости координат визуальных элементов, из которых они составлены, как функций относительно их атрибутов. Например, если объект представляет собой прямоугольник на плоскости, то координаты всех вершин могут быть вычислены по четырем атрибутам – координаты верхнего левого угла, ширина и высота. Аналогичным образом можно задавать и позиции объектов друг относительно друга.

Наиболее близкой математической моделью, описывающей подобную систему, является вычислительная модель Тыугу[12]. Этот формализм описывает множество атрибутов и заданных на них отношений.

В работе[13] Тыугу рассматривал геометрические задачи, сходные с теми, которые возникают при описании мнемосхем. Однако вычислительные модели Тыугу имеют существенный недостаток – они не гарантируют, что решение не зависит от пути вычислений. Сам Тыугу писал, что введение такого ограничения слишком бы ограничило возможности модели [13]. Тем не менее, при работе с интерфейсом пользователя недетерминированное вычисление невозможно, в противном случае степень удобства пользователя существенно снизится. Поэтому вычислительная модель Тыугу была дополнена алгоритмом, обеспечивающим единственность пути выполнения, а также визуальными расширениями, позволяющими рассматривать графические элементы как часть модели[14]. Получившаяся модель получила название вычислительной модели визуального языка.

В основе модели лежит множество атрибутов и множество правил вида (условие:отношение), где отношение определяет зависимость одного атрибута от других. Кроме того, выделяется множество пар {атрибут, значение}, которое называется *воздействием* на модель и представляют внесенные в модель изменения. Все изменения выполняются в рамках транзакции, в начале которой происходит воздействие, а затем выполняются все применимые правила. При этом правило применимо, если выполняются три требования:

- В правой части отношения есть изменившиеся в ходе транзакции атрибуты.
- В левой части находится атрибут, который не был изменен в ходе текущей транзакции.
- Условие, заданное в правиле, истинно.

Можно показать, что всегда можно построить такой набор условий, чтобы модель была стационарной.

Описанные выше атрибуты сопоставлены с атрибутами визуальных примитивов (элементарных изображений), такими как координаты, цвет, текст и прочие. Из набора примитивных изображений складывается собственно конечное изображение на экране. Наконец, для того, чтобы оперировать с частями модели как с объектами, вносится специальный тип атрибутов – объекты, которым могут принадлежать другие атрибуты. С помощью этой модели были решены различные прикладные задачи, в частности, разработан редактор одного из популярных визуальных языков проектирования [15] и мнемосхема одной из подсистем одной из ракетносителей.

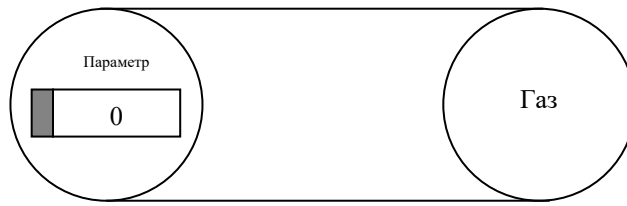
4 Передача телеметрической информации в модель

Отдельной проблемой является передача телеметрической информации в мнемосхему. Учитывая специфику модели наиболее простым способом является представление телеметрируемых параметров в виде атрибутов этой модели, что является несомненным преимуществом вычислительной модели Тыугу. Таким образом, некоторый внешний источник информации формирует *воздействие* на модель, которое в рамках транзакции преобразует ее остальные атрибуты и, соответственно, потенциально меняет внешний вид. Такое воздействие может приниматься по сети, например, через технологию сокетов, что делает возможным разделение источника телеметрии и мнемосхемы.

Способы визуализации телеметрической информации при этом ограничены исключительно возможностями набора визуальных примитивов.

5 Пример описания мнемосхемы

Рассмотрим в качестве примера простой фрагмент условной мнемосхемы ракеты. На фрагменте изображен топливный бак с датчиком телеметрии, показывающим его состояние (Рисунок 1).



Телеметрируемый параметр представлен своим числовым значением и автоматической оценкой (зеленый индикатор).

Рисунок 1 – Мнемосхема топливного бака

Фрагмент мнемосхемы состоит из двух окружностей O_1 и O_2, двух отрезков прямых L_1 и L_2, прямоугольника B, имеющего атрибут “цвет” (C), и трех текстовых полей T_1 , T_2 и T_3, одно

из которых имеет рамку и параметр “значение” (V). Эти восемь элементов обладают атрибутами, а именно:

O_1 и O_2 содержат множество атрибутов $\{X, Y, R\}$, где X - абсцисса и H - ордината центра, а R –радиус;

L_1 и L_2 содержат множество атрибутов $\{X_1,Y_1, X_2,Y_2\}$, где X_1 и Y_1 - абсцисса и ордината начала отрезка прямой, а X_2,Y_2 – абсцисса и ордината конца отрезка прямой

T_1 ,T_2 и T_3 – содержат множество атрибутов $\{X,Y, W,H,V\}$, где X и Y - абсцисса и ордината левого верхнего угла, а W и H – ширина и высота. Атрибут V представляет текст, используется только в T_1.

B – содержит множество атрибутов $\{X,Y, W,H,C\}$, где X и Y - абсцисса и ордината левого верхнего угла, а W и H – ширина и высота. Атрибут C представляет цвет.

Коэффициенты *0.7, 1.2* и *1.4* выбран произвольно и определяют взаимное расположение графического изображения датчика телеметрии относительно бака (сдвиг на 0.7, 1.2 или 1.4 радиуса окружности).

Указанные объекты составляют набор визуальных примитивов, каждый из которых имеет атрибуты, на которых установлены отношения, а именно:

(1) $L_1.Y_1=O_1.Y- O_1.R$

(2) $B.X=O_1.X- O_1.R*0.7$

(3) $O_2.X=L_1.X_1- O_2.R*4$

(4) $L_2.Y_1=O_2.Y+ O_2.R$

(5) $B.Y=O_1.Y- O_1.R*0.7$

(6) $T_2.Y=O_1.Y- O_1.R*0,7$

(7) $B.W= O_1.R*0,2$

(8) $B.H= O_1.R*0,7$

(9) $T_1.X=O_1.X- O_1.R*0,7$

(10) $T_3.X=O_2.X- O_1.R*0,7$

(11) $T_2.W= O_2.R*1,4$

(12) $T_2.W= O_2.R*1,4$

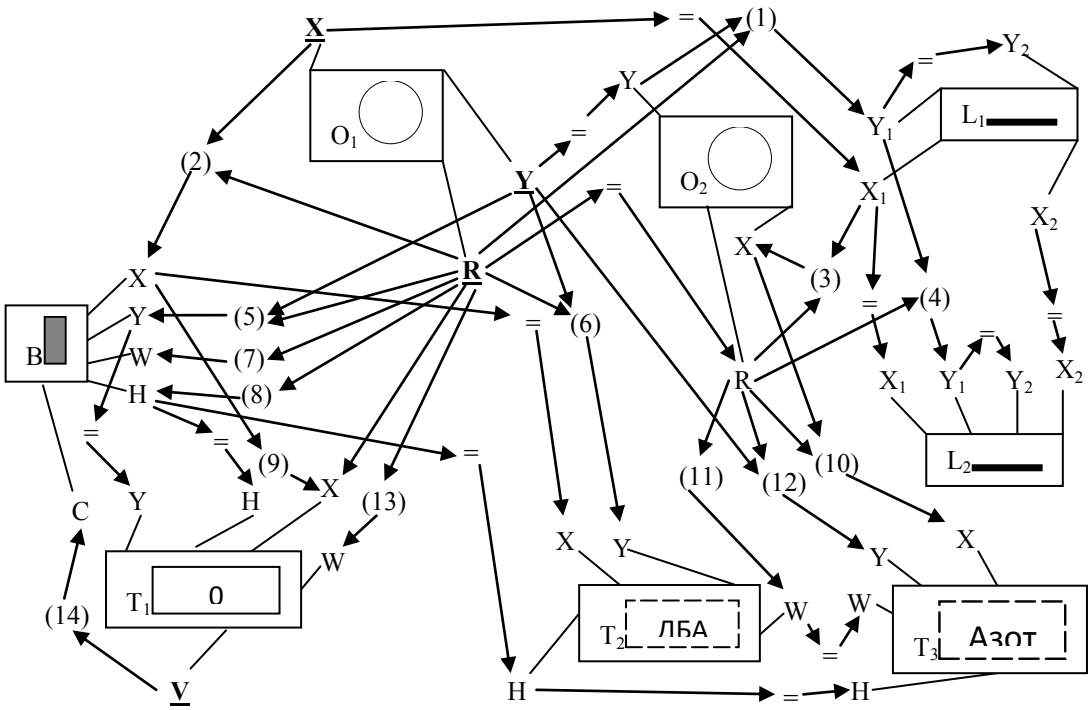
(13) $T_1.W = O_1.R*1,2$

(14) $B.C= F (T_1.V)$

Как можно видеть, все соотношения являются тривиальными и непосредственно следуют из визуального представления объекта на рисунке 1. Атрибуты объектов $O_1.X$, $O_1.Y$ и $O_1.R$ представляют интерфейсные атрибуты, через которые можно управлять положением изображения на экране. Еще один интерфейсный атрибут $T_1.V$ предназначен для приема телеметрической информации; на основании его значения оценочная функция (14) определяет значение атрибута $B.C$, то есть цвет индикатора состояния. В общем случае эта функция возвращает зеленый цвет, если значение лежит в допустимом диапазоне, и красный в противном случае.

Таким образом, внешний источник телеметрии передает информацию о значении атрибута $T_1.V$, вычислительная модель пересчитывается, в соответствии с установленными правилами и оценочная функция (14)

Графическое представление вычислительной модели представлено на рисунке 2.



Семантическая сеть представляет вычислительную модель фигуры, представленной на рисунке 1. В прямоугольниках представлены узлы – визуальные примитивы. В остальных узлах находятся атрибуты (обозначены буквами) и соотношения (формулы). Линии без стрелок представляют принадлежность атрибута визуальному примитиву. Узлы, значения которых представлены в скобках, являются ссылками на формулы. В случае, если формула представляет собой отношение эквивалентности, она обозначена символом "=". Линии со стрелками представляют входные и выходные параметры формул. Подчеркнутые узлы представляют интерфейсные атрибуты.

Рисунок 2 – Вычислительная модель для мнемосхемы бака азота

Из графической схемы модели можно видеть, что результат ее вычисления не зависит от пути этого вычисления.

Заключение

Таким образом, в качестве средства разработки мнемосхем, используемых при оценке технического состояния ракетно-космической техники, предлагается использовать вычислительную модель визуального языка. Данная модель обладает двумя основными преимуществами: простотой и возможностью естественно представлять интерфейс для телеметрической информации. На основе модели разработано программное средство, генерирующее редакторы диаграмм на основе описаний их вычислительных моделей. Для программного средства разработан ряд описаний, в том числе мнемосхемы тракта наддува топливных баков с возможностью визуализации телеметрии.

Список литературы

[1] Охтилев М.Ю, Соколов Б.В., Юсупов Р.М. Интеллектуальные технологии мониторинга и управления структурной динамикой сложных технических объектов. М.: Наука, 2006. 410 С.

[2] Каргин В.А., Майданович О.В., Охтилев М.Ю. Автоматизированная система информационной поддержки принятия решений по контролю в реальном времени состояния ракетно-космической техники // Приборостроение, 2010. Т. 53, № 11. С. 20-23.

[3] Chang S-K. Visual languages: A tutorial and survey // IEEE Software Magazine. 1987. Vol. 4, is. 1. P. 29—39.

[4] Ахо А. и Ульман Дж. Теория синтаксического анализа, перевода и компиляции [Книга] / ред. Курочкин В. М. / перев. Агафонов В. И.. - Москва: Мир, 1978. - Т. 2: 2

[5] Ахо А. и Ульман Дж. Теория синтаксического анализа, перевода и компиляции [Книга] / ред. Курочкин В. М. / перев. Агафонов В. И.. - Москва: Мир, 1978. - Т. 2: 2

[6] Pfaltz J. L., Rosenfeld A. Web Grammar. // Proceedings of the International Joint Conference on Artificial Intelligence. - Washington, D.C., 1969. - P. 609-619

[7] Pfaltz J. L. Web grammars and picture description.// Computer Graphics and Image Processing. - 1972. №1, P. 193

[8] Ehrig H., Ehrig K., Prange U., Taentzer G. Fundamentals of Angebraic Graph Transformation. - Springer-Verlag, Berlin – Heidelberg. – 2006

[9] Erwig M. Functional Programming with Graphs.// 2nd ACM SIGPLAN Int. Conf. On Functional Programming. – 1997. - Amsterdam, The Netherlands. - P. 52-65.

[10] Erwig, M. Inductive Graphs and Functional Graph Algorithms // Journal of Functional Programming. – 2001. - Vol. 11, No. 5, P. 467-492

[11] Yu B., Chang S.-K. A Fuzzy Visual Language Compiler // 1990 IEEE Workshop on Visual Languages. – 1990. – P. 162-177

[12] Тыугу Э. Х. Концептуальное программирование [Книга]. - Москва : Наука, 1984.

[13] Тыугу Э. Х. Решение задач на вычислительных моделях [Журнал] // Журнал вычислительной математики и математической физики. - 1970 г.. - 3 : Т. 10. - С. 716-733.

[14] Степанов П. А., Охтилев М. Ю. Вычислительная модель визуального языка // Изв. вузов. Приборостроение. 2006. Т. 49, № 11. С. 28—32.

[15] Степанов П. А., Охтилев М. Ю. Применение вычислительных моделей для создания редактора диаграмм // Изв. вузов. Приборостроение. 2016. Т. 59, № 11. С. 939—942. DOI: 10.17586/0021-3454-2016-59-11-939-943

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДВИЖЕНИЯ БОЛЬШЕГРУЗНОГО АВТОМОБИЛЯ В ЗАДАЧЕ УПРАВЛЕНИЯ КУРСОВОЙ УСТОЙЧИВОСТЬЮ

В.Ю. Тарасов, А.З. Асанов

Московский технологический университет (МИРЭА)
119454, г. Москва, проспект Вернадского, д. 78
v.tarasov12@gmail.com
тел: +7 (916) 133-64-20

Ключевые слова: *математическое моделирование, динамический объект, большегрузный автомобиль, система управления курсовой устойчивостью.*

Abstract

A mathematical model of the movement of a heavy vehicle in the task of driving stability control. The main means of ensuring traffic safety are various electronic systems of automatic control, including dynamic stability control system. Such systems have shown their high efficiency in passenger cars, but have not found wide application in heavy vehicles (SUV) yet. The purpose of developing the SUV dynamic stability control systems that take into account specifics of the SUV: the large dimensions of the car, including base, large mass, significant differences in weight along the axes, significant differences in the contact areas "wheel-road" along the front and rear axles, etc. The SUV dynamic stability control system, that has begun an automatic control system, is based on the motion model of the controlled object. In this study, we consider the problem of constructing a mathematical model of the motion of the SUV with the purpose of the subsequent use of this model in the problem of synthesizing control algorithms for the SUV traffic stability system. The author of the study suggests mathematical model of the car's motion, that takes into account the features of the parameters and processes that occur precisely during the movement of heavy vehicles.

Введение

Одним из наиболее существенных динамических свойств любого автомобиля является устойчивость – способность автомобиля сохранять с требуемой точностью заданные скорость и направление движения (ориентацию продольной и вертикальной осей) при действии внешних возмущений и других причин, при ограничениях, наложенных на движение автомобиля. Устойчивость движущегося автомобиля зависит как от конструктивных особенностей автомобиля (базы и ширина колеи, размера шин, их конструкции и состояния, конструкции и регулировки тормозов), так и от переменных факторов, характер и значение которых заранее определить невозможно (вес автомобиля и высота центра тяжести, радиусы кривизны дороги и состояния ее поверхности, скорости и направления движения и т.д.).

Различают продольную и поперечную устойчивость. Продольная устойчивость, понимаемая как способность машины двигаться без опрокидывания относительно передней либо задней оси, не вызывает особых проблем, ибо обеспечивается конструкцией автомобиля в весьма широком диапазоне условий и параметров движения. Поперечная (курсовая) устойчивость, понимаемая как способность машины двигаться без опрокидывания относительно правых или левых колес и при отсутствии бокового скольжения (занос), требует особого внимания. Ее нарушение проявляется в рыскании (изменении направления движения) автомобиля по дороге и может быть вызвано действием боковой силы ветра, разными величинами тяговых или тормозных сил на колесах левого или правого борта, их буксованием или скольжением, большим люфтом в рулевом управлении, неправильными углами установки колес и т.д.; при

криволинейном движении, нарушение поперечной устойчивости приводит к заносу или опрокидыванию автомобиля под действием центробежной силы.

Для безопасного движения на высоких скоростях необходимо обеспечить достаточно высокую степень устойчивости автомобиля, прежде всего ее поперечную (курсовую) составляющую. Особенно это актуально для скоростных (магистральных) большегрузных автомобилей (БГА), для которых характерны значительные диапазоны изменения веса, центра тяжести, скорости движения и пр. В совокупности с другими переменными во времени факторами (радиусы кривизны дороги и состояния ее поверхности, скорости и направления движения и пр.) все это может привести к существенно неопределенной ситуации, когда знания и профессиональный автоматизм действий водителя и его скорость реакции окажутся недостаточными для обеспечения безопасного движения автомобиля.

Решение проблемы видится в автоматизации обеспечения поперечной устойчивости – создании и внедрении систем курсовой устойчивости (СКУ) движения автомобиля. В легковых автомобилях, как правило, на автомобилях премиум-класса, такие системы уже нашли свое применение и показали свою эффективность [1, 2]. В них учтены особенности обеспечения курсовой устойчивости движения легковых автомобилей – короткая база автомобиля, относительно небольшие различия в весе нагруженного и ненагруженного автомобиля, низко расположенный центр масс, относительно одинаковая нагруженность различных осей автомобиля и др. Для большегрузных автомобилей все эти, да и другие параметры и факторы изменяются в значительных пределах, весьма сложно между собой взаимосвязаны и требуют создания СКУ специально для БГА.

1 Постановка задачи

Рассматривается криволинейное движение автомобиля с постоянной продольной скоростью V_x.

Математическая модель движения большегрузного автомобиля, необходимая для построения СКУ БГА включает в себя следующие параметры движения:

- коэффициент трения между колесами и дорожным покрытием;
- продольные и поперечные силы, действующие на колеса во время движения;
- угол поворота колес;
- параметры резины:
- углы поперечного увода;
- площадь соприкосновения с дорожным покрытием;
- продольные скорость и ускорение.

Для использования данной модели для исследования курсовой устойчивости БГА и для дальнейшего построения системы курсовой устойчивости необходимо чтобы модель давала возможность наблюдать режим потери курсовой устойчивости автомобиля.

Сформулируем определение режима потери автомобилем курсовой устойчивости, которое будет использоваться в данной работе. Рассматривается движение автомобиля на конечном отрезке времени T, в течение которого развивается процесс изменения параметров движения автомобиля (разгон, торможение или прохождение поворота). В предположении, что заданные водителем значения угла поворота передних колес, тяги двигателя или тормозного усилие находятся в пределах допустимых значений, режимом потери курсовой устойчивости является значительное отклонение фактического угла направления вектора скорости центра масс и угловой скорости вращения рамы относительно вертикальной оси от рассчитанных исходя из управляющих действий водителя.

Таким образом, потеря курса определяется как отклонение фактического направления движения от заданного водителем.

2 Основные условия и допущения

Математическая модель автомобиля описывается дифференциальными уравнениями движения, где число и порядок уравнений, необходимых для описания динамической модели автомобиля, определяется характером и целями использования модели. В задачах исследования управляемости и устойчивости курсового движения автомобиля чаще всего применяется достаточно простая линейная симметричная математическая модель автомобиля в инерциальной системе координат (так называемая модель Рокара). В модели Рокара [3] отсутствует подвеска, кузов не имеет крена, рулевое управление и колёса жёстко закреплены. Кроме того, используются допущения, что: движение происходит непрерывно, все колёса каждой из сторон автомобиля катятся по одной колее с постоянным запаздыванием по длине, колёса не обладают массой, применима теория малых колебаний. Боковой увод возникает за счёт деформации пневматических колёс, оцениваемых их боковой жёсткостью.

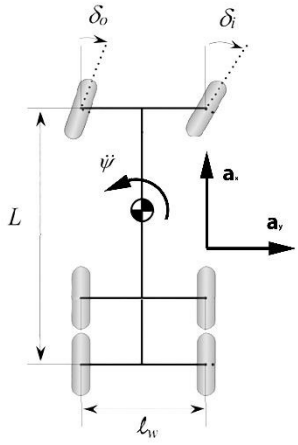


Рисунок 1 - Ось координат, привязанная к раме автомобиля

В данной работе рассматривается математическая модель большегрузного автомобиля, учитывающая факторы существенные для синтеза системы курсовой устойчивости – массу БГА, криволинейность траектории движения, боковое смещение не только за счет деформации эластичных колес, но и за счет бокового скольжения. Также, для БГА характерно существенное смещение центра масс в продольном направлении, зависящее от степени загрузки автомобиля. Таким образом, для эффективного применения системы курсовой устойчивости на БГА необходимо решать побочную задачу по определению степени загрузки автомобиля.

В математической модели, рассматриваемой в данной работе, применяется допущение, что внешние и внутренние параметры колес (давление в шинах, коэффициенты жесткости, нагрузка, деформация и коэффициенты трения), находящихся на одной оси, но с разных бортов одинаковые.

3 Математическая модель большегрузного автомобиля

В математическую модель включаются дифференциальные уравнения для вычисления продольного и поперечного ускорения автомобиля, а также для углового ускорения рамы автомобиля относительно вертикальной оси, проходящей через центр масс автомобиля (рис. 1).

Система уравнений для математической модели движения автомобиля в системе координат, привязанной к центру масс автомобиля (рис. 1) представляется системой уравнений (силы сопротивления воздуха не учитываются) [4, 5].

$$
(1)\quad \begin{cases} \ddot{x}\cdot m = (F_{xfl}+F_{xfr})\cdot\mathbf{cos}(\delta)+F_{xrl}+F_{xrr}+F_{xrl2}+F_{xrr2}-(F_{yfl}+F_{yfr})\cdot\mathbf{sin}(\delta)+m\cdot\dot{\psi}\cdot\dot{y} \\ \ddot{y}\cdot m = F_{yrl1}+F_{yrl2}+F_{yrr1}+F_{yrr2}+(F_{xfl}+F_{xfr})\cdot\mathbf{sin}(\delta)+(F_{xfl}+F_{xfr})\cdot\mathbf{cos}(\delta)-m\cdot\dot{\psi}\cdot\dot{x} \\ \ddot{\psi}\cdot I_z = l_f\cdot(F_{xfl}+F_{xfr})\cdot\mathbf{sin}(\delta)+l_f\cdot(F_{yfl}+F_{yfr})\cdot\mathbf{cos}(\delta)- \\ -l_{r1}\cdot(F_{yrl1}+F_{yrr1})-l_{r2}\cdot(F_{yrl2}+F_{yrr2})+\dfrac{l_w}{2}\cdot(F_{xfr}-F_{xfl})\cdot\mathbf{cos}(\delta)+\dfrac{l_w}{2}\cdot(F_{yfl}-F_{yfr})\cdot\mathbf{sin}(\delta) \end{cases}
$$

где F_{xfr}, F_{xfl}, F_{xrr1}, F_{xrl1}, F_{xrr2}, F_{xrl2} соответственно продольные силы, действующие на колеса автомобиля. F_{yfr}, F_{yfl}, F_{yrr1}, F_{yrl1}, F_{yrr2}, F_{yrl2} – поперечные силы, действующие на колеса автомобиля (рис. 2), δ_0 и δ_i углы поворота правого и левого управляемых колес соответ-

ственно ($\delta = (\delta_0 + \delta_i)/2$). l_{r1} и l_{r2} соответственно расстояния от центра масс до ближней и дальней (относительно водителя) задней пары колес.

Продольные и поперечные силы, действующие на колеса высчитываются из следующих соотношений: $F_x = C_\sigma \frac{\sigma}{1+\sigma} f(\lambda)$, $F_y = C_\alpha \frac{\tan(\alpha)}{1+\sigma} f(\lambda)$. где C_σ и C_α продольная и поперечная жесткости соответствующих колес [6].

$$\lambda = \frac{\mu F_z (1+\sigma)}{2\sqrt{(C_\sigma \sigma)^2 + (C_\alpha \operatorname{tg}(\alpha))^2}} \quad \begin{cases} f(\lambda) = (2-\lambda)\lambda & \text{если} \quad \lambda < 1 \\ f(\lambda) = 1 & \text{если} \quad \lambda \geq 1 \end{cases},$$

где μ - коэффициент трения между колесом и дорожным покрытием.

Продольное и поперечное соскальзывания определяются по следующим выражениям: $\alpha_f = \delta - \frac{\dot{y} + l_f \dot{\psi}}{\dot{x}}$, $\alpha_r = -\frac{\dot{y} + l_r \dot{\psi}}{\dot{x}}$, $\sigma = \frac{r_{eff}\omega - \dot{x}}{\dot{x}}$ (при разгоне), $\sigma = \frac{r_{eff}\omega - \dot{x}}{r_{eff}\omega}$ (при торможении).

Данная модель не включает в себя различные силы сопротивления внутренние и внешние, которые существенно не влияют на курсовую устойчивость (силы сопротивления вращению колеса внутри подвески и др.). Но в модели учтена сила трения колеса в поперечном направлении, так как именно она непосредственно влияет на смещение автомобиля с заданной водителем траектории.

3 Тестирование математической модели

Для проверки работоспособности, описанной выше модели, была построена ее компьютерная реализация в пакете прикладных программ. В процессе моделирования были использованы параметры гружёного грузового автомобиля с колесной формулой 6x4.

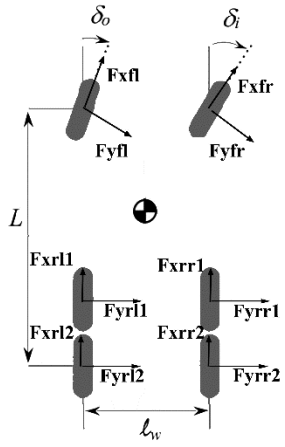


Рисунок 2 - Силы, действующие на колеса автомобиля во время движения

Для сравнительного анализа в процессе моделирования, была построена также «идеальная» (заданная водителем) траектория движения. Сравнение траекторий позволяет проверить корректность модели (1) на малых скоростях и при высоком коэффициенте трения. Также построение заданной траектории позволяет определить величину отклонения грузового автомобиля от курса движения заданного водителем.

Заданная траектория строится на основе дифференциального уравнения для скорости вращения рамы относительно центра масс автомобиля (2).

$$\dot{\psi} = \frac{V}{R} \tag{2}$$

где V - скорость движения рамы в продольном направлении, R - мгновенный радиус поворота автомобиля [5].

$$R = \frac{l_f + \frac{l_{r1}+l_{r2}}{2} + \frac{m\dot{x}^2 \left(\left(\frac{l_{r1}+l_{r2}}{2} \right) C_{\alpha r} - l_f C_{\alpha f} \right)}{2 C_{\alpha r} C_{\alpha f} L}}{\delta} \tag{3}$$

Как видно из (2) и (3), при построении заданной траектории движения, используется только текущая скорость автомобиля и угол поворота колес, таким образом, можно точно сказать какой должна быть угловая скорость вращения автомобиля относительно центра масс в каждой момент времени.

Так как, для построения моделей (1) и (2) используется неинерциальная система координат, привязанная к оси автомобиля (рис. 1), то для отображения результатов моделирования необходим перевод из неинерциальной систему координат в инерциальную систему координат

$$(4)\quad \begin{cases} \dot{X} = V \cdot \mathbf{cos} \cdot (\psi + \beta) \\ \dot{Y} = V \cdot \mathbf{sin} \cdot (\psi + \beta) \end{cases}$$

где, $\dot{X}$ и $\dot{Y}$ скорости движения рамы по оси абсцисс и оси ординат в глобальной системе координат, а β - угол между рамой автомобиля и вектором его скорости.

Исследование построенной математической модели проводилось использованием траекторий «поворот» и «перестроение».

Параметры моделируемого грузового автомобиля: длина базы L =6,54 м; расстояние от центра масс до передних колес l_f =4,2 м; расстояние от центра масс до передних колес задней тележки l_{r1} =0,9 м; расстояние от центра масс до задних колес задней тележки l_{r2} = 2,34 м; ширина базы l_w =2,4 м. Исследование данной модели проводилось с использованием двух типов дорожных поверхностей с коэффициентами трения $\mu_1 = 0.3$ и $\mu_2 = 0.8$, данные параметры примерно соответствуют льду и сухому асфальту.

Моделирование проводилось при постоянном воздействии на педаль газа, таком чтобы автомобиль двигался с постоянной, заданной в начале моделирования скоростью.

На рисунке 3 приведены графики изменения угла поворота управляемых колес автомобиля, соответствующие траекториям «поворот» и «перестроение». Данные зависимости угла поворота управляемых колес от времени имитируют воздействие водителем на рулевое управление автомобиля.

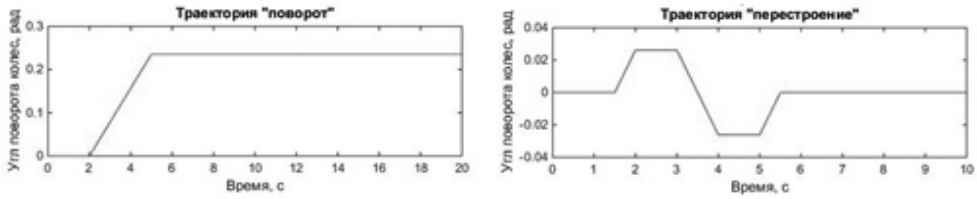


Рисунок 3. Углы поворота управляемых колес.

На рисунке 4 приведены результаты испытаний модели на дорожном покрытии с коэффициентом трения $\mu = 0.8$ с использованием траектории «поворот».

Рис. 4. Траектории движения модели на поверхности с коэффициентом трения $\mu = 0.8$

На графиках линия 1 отображает траекторию, полученную из модели (1), а линия 2 траекторию, полученную с учетом модели (2).

Из рисунка 4 видно, что на малой скорости и при высоком коэффициенте сцепления с дорогой обе модели показывают одинаковые результаты, это означает, что модели построена верно. При увеличении скоростей движения грузового автомобиля эталонная траектория замыкается в том же месте где был зафиксирован угол поворота колес, однако траектории, по-

лученные от модели (1), замыкаются в других точках и значительно отличаются от задаваемой водителем.

На рисунке 5 приведены результаты испытаний модели на дорожном покрытии с коэффициентом трения $\mu = 0.3$ с использованием траектории «поворот».

Рисунок 2. Траектории движения модели на поверхности с коэффициентом трения $\mu = 0.3$

Как видно из рисунка 5 при значительно меньшем коэффициенте трения траектория движения автомобиля, полученная от модели (1) совпадает с заданной водителем траекторией движения только при скорости движения $V = 10 м / с$, при увеличении скорости наблюдается значительное отклонение от задаваемой водителем траектории.

На рисунках 6 и 7 приведены результаты испытаний модели с использованием траектории «перестроение».

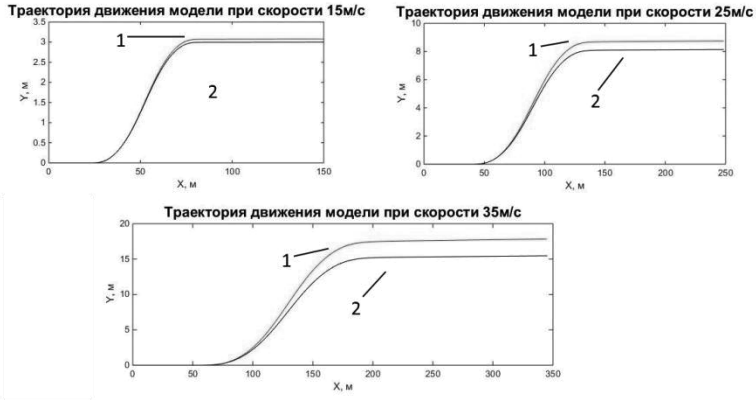


Рисунок 3. Траектории движения модели на поверхности с коэффициентом трения $\mu = 0.8$

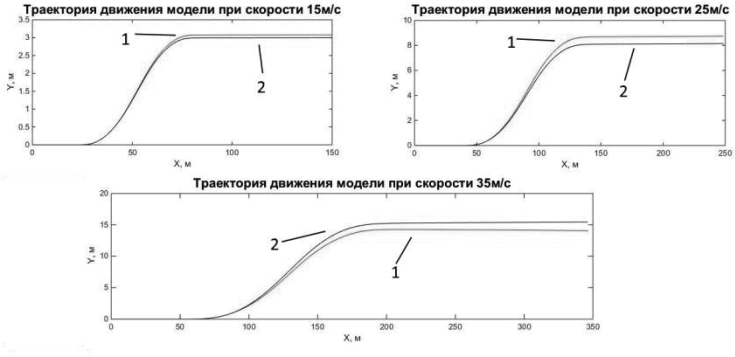


Рисунок 4. Траектории движения модели на поверхности с коэффициентом трения $\mu = 0.3$

4 Заключение

Описанная модель отражает наиболее характерные движения большегрузного автомобиля и корректно показывает режимы отклонения курсовой устойчивости, что в дальнейшем позволяет строить систему курсовой устойчивости автомобиля.

Тестирование модели показало, что динамика модельного движения большегрузного автомобиля хорошо коррелируется с динамикой реального движения. Модель достаточно проста, что позволяет ее использовать в составе бортовой информационной системы автомобиля.

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант 17-08-00516).

Список литературы

[1] Тумасов А.В., Вашурин А.С., Мошков П.С., Трусов Ю.П., Торопов Е.И. Исследование влияния электронной системы динамической стабилизации легкого коммерческого автомобиля на безопасность криволинейного движении // Фундаментальные исследования. 2015. №12-4 С.665-670.

[2] Woodrooffe, J., Blower, D., and Green, P., Safety Performance and Benefits of Heavy Truck Stability Control: Providing Insight into Compliance Evaluation. // SAE Int. J. Commer. Veh. 5(2):429-440, 2012

[3] Рокар И. Неустойчивость в механике. Автомобили, самолеты, висячие мосты. М.: Изд-во ин. лит-ры, 1959. – 288 с

[4] R. Rajamani Vehicle dynamics and control / Rajamani R. // Springer, 2011. – 500 с

[5] Pacejka, H. B. Lateral dynamics of road vehicles / H. B. Pacejka. // International Journal of Vehicle Mechanics and Mobility, 2007. – С. 75-120.

[6] Dugoff, H., Fancher, P.S.,Segal, L. Tire performance characteristics affecting vehicle response to steering and braking control inputs. Final Report // US National Bureau of Standards, 1969.

СТРУКТУРА И СПОСОБ РЕАЛИЗАЦИИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КУРСОВОЙ УСТОЙЧИВОСТЬЮ БОЛЬШЕГРУЗНОГО АВТОМОБИЛЯ

В.Ю. Тарасов, А.З. Асанов

Московский технологический университет (МИРЭА)
119454, г. Москва, проспект Вернадского, д. 78
v.tarasov12@gmail.com
тел: +7 (916) 133-64-20

Ключевые слова: *алгоритм управления, большегрузный автомобиль, курсовая устойчивость, динамический объект*

Abstract

The author studies the structure features of the driving stability control system of heavy vehicles (SUV). Considering the essential differences of heavy vehicles (large mass, significant differences in weight along the axes, large wheelbase, height of the center of mass, etc.), I propose the structure of the exchange rate stability system with combined method of stabilizing the SUV driving direction.

Введение

С точки зрения безопасности движения, одним из основных свойств движущегося большегрузного автомобиля является курсовая устойчивость – способность автомобиля сохранять направление движения и положение рамы в пространстве в условиях большого количества внешних возмущений. На траекторию и курс движения автомобиля кроме внутренних параметров автомобиля влияют внешние факторы, измерить которые в процессе движения не представляется возможным, такие как состояние дорожного покрытия и коэффициент трения между дорогой и колесами большегрузного автомобиля (БГА).

Система управления курсовой устойчивости (далее по тексту СКУ) призвана сократить риск аварий, вызванных потерей автомобиля курсовой устойчивости. Существует множество причин потери автомобилем курсовой устойчивости, среди которых, например, неправильно выбранная скорость прохождения поворота с учетом неизвестности различных параметров дорожного покрытия, неодинаковость дорожных условий под различными колесами и т.д.

Для разработки СКУ для БГА необходимо учитывать его характерные особенности: длинная колесная база, существенные диапазоны изменения нагруженности осей и как следствие смещение центра масс, различные параметры пятна контакта передних и задних колес с дорожным покрытием и др. [1, 2, 3].

Для большегрузных автомобилей все эти, и другие параметры и факторы изменяются в значительных пределах, весьма сложно между собой взаимосвязаны и требуют создания СКУ специально для БГА.

Одной из проблем при создании СКУ БГА является определение отклонения фактического курса движения БГА от курса, заданного водителем путем воздействия на органы управления (рулевое колесо, педали газа и тормоза) и текущей скорости движения БГА. Одним из возможных путей решения данной задачи является определение фактического угла между вектором скорости центра масс и рамой автомобиля и сравнение полученного угла с рассчитанным исходя из внутренних параметров автомобиля и скорости его движения. Под курсом движения понимается угол между вектором скорости движения центра масс и рамой БГА.

Другой проблемой создания СКУ БГА является выбор и реализация способов стабилизации движения БГА. Стабилизация движения автомобиля с помощью системы управления кур-

совой устойчивостью, как показывает практика применения СКУ в легковых автомобилях [1, 2], может осуществляться несколькими способами, применимыми и в СКУ БГА:

- подтормаживанием определенных колес;
- изменением тяги на ведущих колесах (изменением крутящего момента двигателя);
- изменением угла поворота передних колес (при наличии системы активного рулевого управления).

Эти способы воздействия на автомобиль нацелены на изменения угловой скорости вращения рамы автомобиля относительно вертикальной оси таким образом, чтобы угловая скорость вращения рамы относительно вертикальной оси соответствовала заданному водителем радиусу поворота автомобиля с учетом текущей продольной скорости движения.

В данной работе рассматривается система управления, основанная на реализации подтормаживания определенных колес БГА, тем самым изменяя момент вращения рамы БГА относительно вертикальной оси.

1 Постановка задачи

Концептуально система курсовой устойчивости БГА видится адаптивной системой (с эталонной моделью или с идентификатором) автоматического управления курсовым движением автомобиля, т.к. множество параметров движения принципиально непостоянны – изменяются как во времени, так и в пространстве (коэффициенты скольжения для различных колес, ветровая нагрузка, состояние поверхности дороги, психофизиологическое состояние водителя и др.). Система курсовой устойчивости является системой активной безопасности более высокого уровня – относится ко второму уровню управления в иерархической бортовой информационно-управляющей системе автомобиля [4] – включает антиблокировочную систему тормозов, систему распределения тормозных усилий, электронную блокировку дифференциала, антипробуксовочную систему. СКУ БГА, являясь системой помощи водителю, призвана предотвращать явление заноса за счет выявления\вычисления, прогнозирования и оказания вспомогательных воздействий на управляемое водителем движение автомобиля. Парировать все нестабильности в свойствах движущегося объекта с помощью одной системы автоматического управления невозможно. Тогда возникает потребность создания адаптивной системы управления, где часть влияний нестабильностей компенсируется непосредственно самой системой управления (ее основным контуром управления), а другая часть – дополнительными контурами адаптации.

На основании разработок [5, 6, 7], задачи для системы управления курсовой устойчивостью большегрузного автомобиля можно сформулировать следующим образом:

- определение отклонения фактического курса БГА от заданного водителем;
- формирование управляющих воздействий с целью минимизации отклонения фактического курса от заданного водителем;
- функционирования в условиях неопределённости (на пример, неизвестный коэффициент трения между покрышками и дорожным покрытием и т.д.).

2 Структура системы управления курсовой устойчивостью

В соответствии с задачами СКУ структура системы управления должна включать обратную связь от объекта управления (получать текущие значения параметров движения) и иметь возможность определять заданный водителем курс движения БГА.

На рис. 1 представлена обобщенная структурная схема взаимодействия БГА и СКУ.

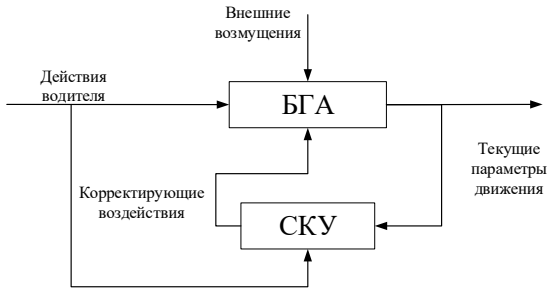


Рисунок 1. Обобщенная структура взаимодействия объекта управления и СКУ

Для реализации сформулированных выше задач и в соответствии со структурой взаимодействия СКУ и БГА, регулятор системы управления курсовой устойчивостью должен состоять из следующих блоков:

1) блок получения данных о параметрах текущего движения автомобиля (угловое ускорение относительно центра масс ($\ddot{\psi}$), продольное и поперечные ускорения рамы автомобиля (a_x , a_y), скорость вращения колес ($\omega_{колес}$));
2) блок получения данных об управляющих воздействиях водителя на автомобиль (положение педали акселератора, угол поворота управляемых колес (δ), давление в тормозной системе);
3) блок определения фактического курса движения;
4) блок определения курса, заданного водителем;
5) блок сравнения заданного и фактического курсов движения;
6) блок формирования корректирующих воздействия (регулятор).

На рисунке 2 представлена структурная схема регулятора системы управления курсовой устойчивостью большегрузного автомобиля.

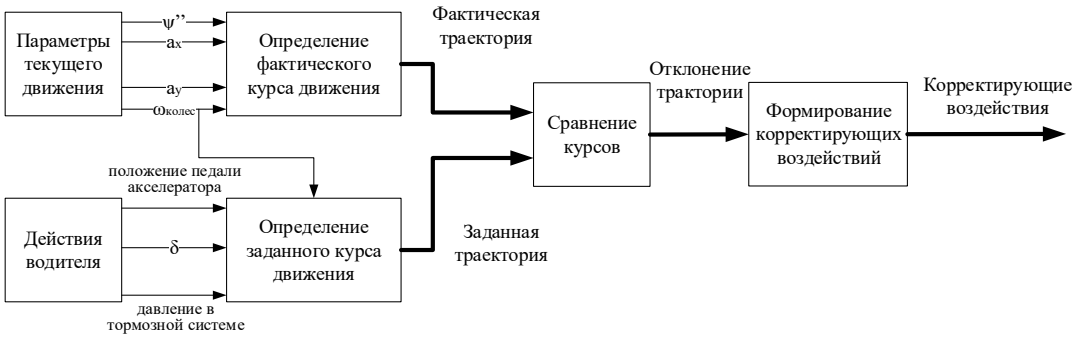


Рисунок 2. Структурная схема регулятора СКУ БГА

3 Алгоритм работы регулятора СКУ

Так как, одной из задач функционирования системы управления курсовой устойчивостью большегрузного автомобиля является функционирование в условиях воздействия внешних факторов, которые не поддаются прямому измерению, то одним из возможных путей решения данной проблемы в ходе разработки СКУ является использование алгоритма адаптации в составе регулятора [8, 9].

Для выполнения поставленных перед СКУ задач с учетом ограничений накладываемых на действия регулятора (нельзя допустить возрастания отклонения курса БГА, ограничение по

максимальному давлению в тормозной системе, недопущение блокировки колес и др.) структура взаимодействия регулятора с объектом управления должна быть следующей (рисунок 3).

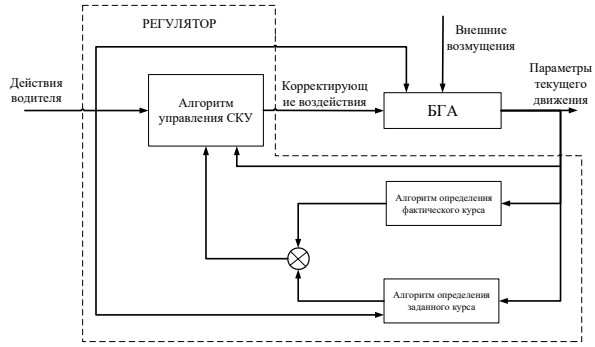


Рисунок 3. Структура взаимодействия алгоритма управления с БГА

Для определения фактического курса БГА соответствующий блок получает с датчиков, установленных на раме автомобиля информацию о продольном, поперечном и угловом ускорениях центра масс БГА. Далее, после математической обработки данной информации можно определить угол $\beta = \mathbf{arctg}\left(\dot{y}/\dot{x}\right)$ между фактическим вектором скорости и рамой [10, 11] автомобиля и угловую скорость вращения относительно вертикальной оси $\dot{\psi}$.

$\beta = \mathbf{arctg}\left(\dot{y}/\dot{x}\right)$, где $\dot{x}$ и $\dot{y}$ скорости центра масс рамы БГА в продольном и перпендикулярном направлении, полученные путем интегрирования данных с соответствующих датчиков линейных ускорений.

Для определения заданного водителем курса движения БГА используется алгоритм, который основан на математической модели движения БГА [12]. Данный алгоритм определяет направление заданного вектора скорости каждый момент времени в зависимости от управляющих воздействий, текущей скорости движения и других параметров БГА.

$$\beta_з = \mathbf{arctg}\left(\frac{l_r \cdot tg(\delta)}{L}\right);\ \dot{\psi} = \frac{V}{R};\ R = \left(l_f + \frac{l_{r1}+l_{r2}}{2} + \frac{m\dot{x}^2\left(\left(\frac{l_{r1}+l_{r2}}{2}\right)C_{\alpha r} - l_f C_{\alpha f}\right)}{2C_{\alpha r}C_{\alpha f}L}\right)/\delta$$

где V – скорость движения рамы в продольном направлении, R – мгновенный радиус поворота автомобиля [10], C_δ и C_α продольная и поперечная жесткости соответствующих колес, δ - угол поворота управляемых колес, l_f, l_{r1}, l_{r2} - расстояние от центра масс до соответствующих тележек.

Алгоритм управления СКУ вырабатывает, в зависимости от полученных им параметров, управляющие воздействия на соответствующие задние колеса. При недостаточной поворачиваемости БГА тормозные усилия подаются на задние колеса, находящиеся внутри поворота. При избыточной поворачиваемости тормозные усилия подаются колеса, находящиеся на внешней стороне поворота.

При выявлении алгоритмом незначительного отклонения курса автомобиля от заданного возможна подача тормозных усилий на задние колеса, находящиеся и на внешней и на внутренней стороне поворота.

После определение колес, на которые необходимо подавать тормозные усилия для стабилизации БГА алгоритм управления приступает к выработке управляющих воздействий повышая давление в соответствующих контурах тормозной системы БГА.

Корректирующие воздействия алгоритм управления СКУ вырабатывает в виде импульсных воздействий. Алгоритм управления, в зависимости от динамики изменения отклонения курса, от текущего значения отклонения и других параметров состояния БГА, изменяет длину и амплитуду импульса таким образом, чтобы минимизировать время регулирования в реальных условиях движения и наложенных ограничений.

Заключение

В работе представлена структура системы управления курсовой устойчивостью большегрузного автомобиля. Предложенная структура создана с учетом сформулированных в работе требований и ограничений для СКУ. Данная структура предполагает использование регулятора с алгоритмом адаптации.

Предложенный алгоритм работы регулятора для системы управления курсовой устойчивостью большегрузного автомобиля, структура и алгоритм работы которого адаптированы для использования в БГА, позволяет повысить курсовую устойчивость автомобиля и, как следствие, уменьшать вероятность возникновения аварийной ситуации во время движения БГА.

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант 17-08-00516).

Список литературы

[1] Тумасов А.В., Вашурин А.С., Мошков П.С., Трусов Ю.П., Торопов Е.И. Исследование влияния электронной системы динамической стабилизации легкого коммерческого автомобиля на безопасность криволинейного движении // Фундаментальные исследования. 2015. №12-4 С.665-670.

[2] Жилейкин М. М., Шинкоренко В.А. Качественный анализ методов повышения управляемости и устойчивости колесных машин // Известия вузов. Машиностроение. 2015. №1 (658) С.42-48

[3] Woodrooffe, J., Blower, D., and Green, P., Safety Performance and Benefits of Heavy Truck Stability Control: Providing Insight into Compliance Evaluation. // SAE Int. J. Commer. Veh. 5(2):429-440, 2012

[4] Асанов А.З., Валеев Д.Х., Савинков А.С. Современная архитектура бортовых информационно-управляющих систем высокомобильных транспортных комплексов // Проблемы управления и моделирования в сложных системах: тр. XV Междунар. конф. Самара: СНЦ РАН, 2013. − С. 483–488.

[5] Mammar S., Baghdassarian V.B. Two-degree-of-freedom formulation of vehicle handling improvement by active steering // Proc. Amer. Contr. Conf., 2000. Vol. 1. P.105-109.

[6] Arat, M., Singh, K., and Taheri, S., "An Adaptive Vehicle Stability Control Algorithm Based on Tire Slip-Angle Estimation," SAE Technical Paper 2012-01-2016, 2012

[7] Жилейкин М.М. Алгоритм работы системы динамической стабилизации для заднеприводного двухосного автомобиля // Известия вузов. Машиностроение. 2015. №9 (666) С.34-44.

[8] Arat, M., Singh, K., and Taheri, S., An Adaptive Vehicle Stability Control Algorithm Based on Tire Slip-Angle Estimation.// SAE Technical Paper, 2012

[9] Ким Д. П. Теория автоматического управления. Т. 2. Многомерные, нелинейные, оптимальные и адаптивные системы: Учеб. пособие. -М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004. - 464 с.

[10] R. Rajamani Vehicle dynamics and control / Springer, 2011. – 500 с

[11] Pacejka, H. B. Lateral dynamics of road vehicles // International Journal of Vehicle Mechanics and Mobility, 2007. – С. 75-120

[12] Жилейкин М. М., Середюк В.А. Повышение устойчивости движения многоосных колесных машин методом корректирующего изменения угла поворота управляемых колес (подруливания) // Известия вузов. Машиностроение. 2014. №12 (657) С.36-44.

НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДА ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ ПОЛЕЙ В ЗАДАЧАХ ЛОКАЛЬНОЙ НАВИГАЦИИ МОБИЛЬНЫХ РОБОТОВ

А.Б. Филимонов[1], Н.Б. Филимонов[2]

[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: *мобильные роботы, локальная навигация, планирование движений, искусственные потенциальные поля, проблема локальных минимумов, задача обхода препятствий*

Abstract
The questions of local navigation of mobile robots are discussed. The navigation process includes the following stages: the composition of the environment map, localization of robot and planning of the route leading to the goal. One of the popular methods of local navigation of robots is the method of the artificial potential fields. The peculiarities of the given method are analyzed in the report. The question of choice of the structure of the attractive potential fields is investigated. The problem of local minimums inherent in potential fields' method is discussed. The kinematic and dynamic aspects of control by moving robot in the workspace are analyzed. The authors offer the new way to circuit the obstacles moving the robot towards the goal.

Введение

Одной из актуальных проблем мобильной робототехники является проблема навигации робота в рабочем пространстве - анализа текущей ситуации и автономного (т.е. без участия человека) выбора маршрута роботом. Процесс навигации мобильного робота (МР) включает в себя следующие этапы: составление карты внешней среды, локализация робота в пространстве и планирование его маршрута, ведущего к цели.

Различают задачи глобальной и локальной навигации МР [1]. *Глобальная навигация* занимается вопросами определения абсолютных координат робота на карте и перемещением в заданные точки этой карты по длинным маршрутам. Здесь траектория выбирается еще до начала движения на основе полученной информации. *Локальная навигация* занимается решением следующей группы задач: определение координат объектов по отношению к некоторой (обычно стартовой) точке, планирование перемещения робота в рабочем пространстве и предотвращение столкновений с препятствиями (обходом препятствий) в процессе движения. Следует отметить, что планирование здесь задает лишь небольшой отрезок траектории, в конечной точке которого выбирается дальнейшая траектория.

Рабочим пространством робота, обозначаемым далее через W, называют окружающее пространство, в котором он действует. Различают задачи планирования маршрута (path planning) и планирование движений (motion planning).

Маршрут (path) - это непрерывная кривая в рабочем пространстве:

$\mathbf{c}:[0,1]\to W$.

Если маршрут параметризован временем t, то $\mathbf{c}(t)$ - траектория и посредством ее дифференцирования мы можем вычислять скорости и ускорения МР. Нахождение возможной траектории называется планированием траектории или планированием движения.
К числу популярных методов локальной навигации МР относится метод искусственных потенциальных полей (artificial potential fields), которые именуются также «полями виртуальных сил» (virtual force field). Его идея была предложена в работе [2]. Среди первых работ, развивающих данный метод, отметим [3]. Достаточно полное представление об особенностях его применения в мобильной робототехнике дают работы [4–15]. При этом особо можно отметить работы, использующих метод потенциальных полей в сценарии стратегии реального времени для компьютерных игр (см., например, [16]).

В докладе обсуждаются три аспекта метода потенциалов: выбор структуры виртуальных полей, проблема локальных минимумов и стратегии обхода препятствий.

1 Метод искусственных потенциальных полей

Физическим аналогом искусственных потенциальных полей являются электрические поля. Полагают, что робот располагает картой окружающей среды и снабжен навигационной системой, позволяющей достаточно точно определять его координаты. Функциональная структура робота содержит модуль генерации виртуального поля $U(\mathbf{q})$, которое включается в информационную базу МР и применяется в алгоритмах управления для вычисления виртуальных сил, используемых в алгоритмах управления так, чтобы робот притягивался к цели и отталкивается от заранее известных препятствий. Если новые препятствия появляются на пути движения робота, то виртуальное поле оперативно обновляется.

В докладе рассматривается плоская задача: $W \subseteq \mathbf{R}^2$, причем робот представляется материальной точкой и поэтому его ориентация игнорируется.

Потенциальное поле $U(\mathbf{q})$ образуется суперпозицией двух полей - притягивающего, которое создается целью, и отталкивающего, создаваемого препятствиями:

(1) $U(\mathbf{q}) = U_{att}(\mathbf{q}) + U_{rep}(\mathbf{q})$.

Далее полагаем поле $U(\mathbf{q})$ дифференцируемым. Потенциальная сила в позиции $\mathbf{q} = (x, y)$ находится как антиградиент функции $U(\mathbf{q})$:

$$F(\mathbf{q}) = -\nabla U(\mathbf{q}),$$

где

$$\nabla U(\mathbf{q}) = \mathrm{col}\left(\frac{\partial U(\mathbf{q})}{\partial x}, \frac{\partial U(\mathbf{q})}{\partial y} \right).$$

В соответствии с (1) создаваемую полем виртуальную силу также можно разложить на две составляющие - притягивающую и отталкивающую:

(2) $F(\mathbf{q}) = F_{att}(\mathbf{q}) + F_{rep}(\mathbf{q})$,

где

$$F_{att}(\mathbf{q}) = -\nabla U_{att}(\mathbf{q}),\ F_{rep}(\mathbf{q}) = -\nabla U_{rep}(\mathbf{q}).$$

Виртуальная сила (2) может быть использована для управления движением робота, направляя его к цели и предотвращая столкновения с препятствиями. Существуют три способа такого ее применения [11]:

- управляющий вход $\mathbf{u}$ робота формируется согласно закону

  $\mathbf{u} = F(\mathbf{q})$;

- в схеме *кинематического* управления силовое поле задает желаемую скорость движения робота:

  $\dot{\mathbf{q}} = F(\mathbf{q})$;

- в схеме *динамического* управления робот рассматривается как массивная точка, на которую действует данная сила:

  $\ddot{\mathbf{q}} = F(\mathbf{q})$.

Притягивающий потенциал. В качестве притягивающего потенциала обычно принимают (см., например, [4–6]) параболическую функцию:

$$U_{att}(\mathbf{q}) = \frac{1}{2} k_a d(\mathbf{q})^2, \quad (3)$$

где $k_a > 0$ - константа, $d(\mathbf{q})$ - евклидово расстояние МР до цели, которая считается расположенной в точке $\mathbf{q}_{goal}$:

$$d(\mathbf{q}) = \| \mathbf{q} - \mathbf{q}_{goal} \|.$$

Здесь и далее $\| \bullet \|$ - евклидова норма вектора.

Отталкивающий потенциал. Отталкивающий потенциал должен быть весьма большим вблизи препятствия и не должен влиять на движение робота вдали от него. Весьма распространен следующий способ задания отталкивающих потенциалов [9–11]:

$$U_{rep}(\mathbf{q}) = \begin{cases} \frac{1}{2} k_r \left(\frac{1}{d(\mathbf{q})} - \frac{1}{\rho_0} \right)^2, & d(\mathbf{q}) \le \rho_0; \\ 0, & d(\mathbf{q}) > \rho_0. \end{cases} \quad (4)$$

где $k_r > 0$, $d(\mathbf{q})$ - минимальное расстояние до препятствия. Таким образом, данное поле создает «потенциальный барьер» вокруг препятствия ширины ρ_0, потенциал в котором резко возрастает при приближению к препятствию.

2 Выбор структуры потенциального поля

Поле (3) порождает потенциальные силы

$$F_{att}(\mathbf{q}) = -k_a (\mathbf{q} - \mathbf{q}_{goal}),$$

причем

$$\| F_{att}(\mathbf{q}) \| = k_a \| \mathbf{q} - \mathbf{q}_{goal} \|.$$

Отметим важную характеристику такого решения: формируемая сила притяжения существенно изменяется в процессе перемещения робота и при приближении к цели она стремится к нулю, вследствие чего движение МР будет замедляться в конце маршрута. Это неизбежно приведет к неоправданной затяжке общего времени перемещения МР в целевое положение.

Для устранения данного нежелательного эффекта авторами предлагается использовать притягивающие потенциальные поля другого вида:

$$U_{att}(\mathbf{q}) = \frac{1}{2} k_a d(\mathbf{q}) .$$

В этом случае получаем притягивающую силу

$$F_{att}(\mathbf{q}) = -k_a \frac{\mathbf{q} - \mathbf{q}_{goal}}{d(\mathbf{q})} ,$$

абсолютная величина которой оказывается постоянной:

$\|F_{att}(\mathbf{q})\| = k_a$.

3 Проблема локальных минимумов

Проблема локальных минимумов в методе потенциальных полей широко известна [6, 9–11]. Конфигурация среды может приводить к возникновению потенциальных ям различной геометрической структуры, которые становятся ловушками для МР.

В кинематической схеме управления робот движется в направлении антиградиента поля:

$$\dot{\mathbf{q}}(t) = -\nabla U(\mathbf{q}(t)) .$$

т.е. следует траектории градиентного спуска.

В точке локального минимума $\mathbf{q}^*$ градиент потенциальной функции равен нулю

$$\nabla U(\mathbf{q}^*) = 0 ,$$

следовательно, после попадания в нее робот остановится.

В схеме динамического управления имеем другую картину: набравший скорость МР благодаря фактору инерционности будет преодолевать мелкие потенциальные ямы. Для анализа данных схем уместно обратиться к опыту численного решения задач безусловной оптимизации невыпуклых целевых функций. В теории оптимизации разработаны различные методы поиска глобального минимума для таких функций, к числу которых относится метод «тяжелого шарика», физическим аналогом которого является процесс скатывания шарика по наклонной поверхности. Если шарик тяжелый, то он будет проскакивать мелкие впадины по инерции. Чем больше масса шарика, тем глубже могут быть впадины, которой он проскакивает при движении. Схема динамического управления роботом, очевидно, идентична данному методу, хотя и имеет принципиальное отличие - нам априори известна точка глобального минимума потенциального поля: $\mathbf{q} = \mathbf{q}_{goal}$. Также надо учитывать, что в реальных условиях функционирования робот испытывает действие сил сопротивления движению со стороны внешней среды.

Однако схемы динамического управления не гарантируют преодоление МР глубоких потенциальных ям в процессе движения. Отметим характер траекторий движения МР, захваченных потенциальной ямой: в окрестности локального минимума робот будет совершать возвратно-поступательное либо циклическое движение по замкнутой кривой и, следовательно, не сможет продолжить движение к цели.

Интересен исторический аспект развития метода потенциальных полей. В первых работах в этой области исследований траектория робота вычислялась в результате интегрирования дифференциальных уравнений движения второго порядка. Однако в ходе исследований было установлено, что фактор инерционности может приводить к неприемлемому виду траекторий в вблизи протяженных препятствий - в результате многократных отталкиваний МР от препятствий его траектория становится чересчур «изрезанной» [6]. Вследствие в этого в дальнейшем внимание исследователей переключилось на модели движения первого порядка.

Итак, проблема возникновения ловушек в потенциальных полях не может полностью решаться посредством применения простых моделей движения первого или второго порядка и указывает на необходимость усложнения алгоритмов управления МР.

В связи с этим актуальными являются следующие задачи:

1) диагностирование захвата траектории движения робота потенциальной ямой;
2) вывод робота из потенциальной ямы.

В случае применения схем кинематического управления ситуацию попадания МР в потенциальную яму можно диагностировать посредством оперативного контроля его траекторной скорости - ей отвечает случай, когда в процессе движения скорость и ускорение оказались ниже некоторых пороговых уровней. В схемах динамического управления ситуация попадания в яму диагностируется посредством обнаружения факта локализации траектории в некоторой ограниченной зоне рабочего пространства - для этого необходимо накапливать и обрабатывать данные наблюдения в течение некоторого скользящего интервала времени.

Авторами предлагается общий подход для решения двух ключевых для мобильной робототехники задач - вывода робота из потенциальной ямы и обхода препятствий.

4 Стратегии обхода препятствий

Проблему обхода препятствий можно разбить на две подпроблемы:

1) обнаружение препятствия на пути движения робота;
2) организацию обхода препятствия.

Весьма популярным способом обхода препятствий роботом является метод «гистограмм векторных полей» (VHF - Vector Field Histogram), предложенный в работе [17]. Он позволяет обнаруживать препятствия и обходить их во время движения. Особенности и возможности данного метода в достаточной мере освещены в монографиях [6, 10, 11].

В настоящем докладе предлагается новый способ обхода препятствий, который может оказаться полезным для мобильной робототехники. В его основе лежит идея *раздельного* использования в алгоритмах управления двух карт потенциальных полей - $U(\mathbf{q})$ и $U_{rep}(\mathbf{q})$. Силовые линии первого и эквипотенциальные линии (изолинии) второго рассматриваются как аналоги навигационных изолиний на навигационных картах в судовождении, к примеру, магнитных меридианов и параллелей Земли.

Силовые линии поля $U(\mathbf{q})$ служит для прокладки маршрута движения МР.

Изолинии отталкивающего поля описываются уравнением

$$U_{rep}(\mathbf{q}) = C,$$

где $C > 0$ - константа.

Карта изолиний функции $U_{rep}(\mathbf{q})$ позволяет решать две задачи. Во-первых, контролировать ситуации сближения робота с препятствиями. Во-вторых, изолинии поля представляют информацию о геометрии препятствия и лежат в основе построения пути обхода данного препятствия - движение робота направляется вдоль изолинии и, следовательно, подчиняется уравнению

$$\langle \dot{\mathbf{q}}, \nabla U_{rep}(\mathbf{q}) \rangle = 0,$$

где угловые скобки $\langle \, , \rangle$ служат для обозначения скалярного произведения векторов.

Заключение

Рассмотрены вопросы локальной навигации мобильных роботов. К числу популярных методов локальной навигации роботов относится метод искусственных потенциальных полей.

В работе анализируются особенности данного метода. Исследован вопрос выбора структуры притягивающих потенциальных полей. Затронута проблема локальных минимумов в методе потенциальных полей. Проведен анализ кинематических и динамических аспектов управления перемещением робота в рабочем пространстве. Предложен новый способ обхода препятствий при движении робота к цели.

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках проекта № 16-08-00313 а.

Список литературы

[1] Бобровский С.Н. Навигация мобильных роботов // Журн. PC Week. 2004. №9. - С. 60-63.
[2] Khatib O., Le Maitre J.-F. Dynamic Control of Manipulators Operating in a Complex Environment // Proceedings RoManSy'78, 3rd CISM-IFToMM Symp., 1978. - P. 1-24.
[3] Andrews J.R., Hogan N. Impedance Control as a Framework for Implementing Obstacle Avoidance in a Manipulator. In David E. Hardt and Wayne J. Book, ed. Control of Manufacturing Processes and Robotic Systems. 1983. - P. 243-251.
[4] Khatib O. Real-time obstacle avoidance for manipulators and mobile robots // The International Journal of Robotics Research. 1986. Vol. 5 (1). - P. 90-98.
[5] Ge S.S., Cui Y.J. New Potential Functions for Mobile Robot Path Planning // IEEE Transactions on Robotics and Automation. 2000. Vol. 16. № 5. - P. 615-620.
[6] Платонов А.К., Кирильченко А.А., Колганов М.А. Метод потенциалов в задаче выбора пути: история и перспективы. - М.: Препринты ИПМ им. М.В. Келдыша. 2001. № 40.
[7] Howard A., Mataric M.J., Sukhatme G.S. Mobile sensor network deployment using potential fields: a distributed, scalable solution to the area coverage // Proceedings of the 6th International Symposium on Distributed Autonomous Robotics Systems (DARS02). - Fukuoka, Japan, June 2002. - P.113-126.
[8] Pozna C., Precup R.-E., Koczy L.T., Ballagi A. Potential field-based approach for obstacle avoidance trajectories // The IPSI BgD Transactions on Internet Research. 2002. Vol. 8. № 2. - P. 40-45.
[9] Siegwart R., Nourbakhsh I.R. Introduction to Autonomous Mobile Robots. - Cambridge: MIT Press. 2004.
[10] Choset H., Lynch K.M, Hutchinson S., Kantor G.A., Burgard W., Kavraki L.E., Thrun S. Principles of Robot Motion: Theory, Algorithms and Implementations. - Cambridge: Howie MIT Press. 2005.
[11] Coenen S.A.M. Motion Planning for Mobile Robots - A Guide // Control Systems Technology. 2012. - P. 79.
[12] Чепиженко В.И. Анализ использования потенциальных полевых методов для решения навигационных и конфликтных задач // Кибернетика и вычислительная техника. 2012. № 1. - С. 15-24.
[13] Li F., Tan Y., Wang Y., Ge G. Mobile Robots Path Planning Based on Evolutionary Artificial Potential Fields Approach // In Proc. The 2nd International Conference on Computer Science and Electronics Engineering. 2013. - P. 1314-1317.
[14] Local Autonomous Robot Navigation Using Potential Fields / M.A. Padilla Castaneda, J. Savage, A. Hernandez, F. Arambula Cosío // Motion Planning, Xing-Jian Jing (Ed.). 2008. [Электронный ресурс] http://www.intechopen.com/books/motion_planning/local_autonomous_robot_navigation_using_potential_fields
[15] Белоглазов Д.А., Гайдук А.Р., Косенко Е.Ю. и др. Групповое управление подвижными объектами в неопределенных средах / Под ред. В.Х. Пшихопова. М.: Физматлит. 2015.
[16] Hagelback J., Johansson S.J. Using Multi-agent Potential Fields in Real-time Strategy Games // Proc. of 7th International Joint Conference on Autonomous Agents and Multi-agent Systems (AAMAS 2008), Padgham L., Parkesm D. (eds.). Vol. 2. Estoril, Portugal, May 2008. - P. 631-638.
[17] Borenstein J., Koren Y. Real-time Obstacle Avoidance for Fast Mobile Robots in Cluttered Enviroments // IEEE Int. Conf. Robotics and Automation. 1990. - P. 572-577.

МЕРЫ ЭНТРОПИИ В ИДЕНТИФИКАЦИИ СТОХАСТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

К.Р. Чернышев

Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН
117997 Москва, Профсоюзная ул., 65, Россия
myau@ipu.ru

Ключевые слова: *идентификация систем, меры зависимости, энтропия Цаллиса, энтропия Шеннона*

Abstract

The aim of the paper is to present a general approach to the identification of nonlinear stochastic systems based on information-theoretic measures of dependence. In the paper, an identification problem statement using an information-theoretic criterion under rather general conditions is proposed. It is based on a parameterized description of the model of a system under study. Such a problem statement leads finally to a problem of the finite dimensional optimization. As a result, a constructive procedure of the model parameter identification is derived. It possesses a high level of generality and does not involve unrealistic a priori assumptions that degenerate the entity of the initial identification problem statement like those ones presented in some referenced literature sources and revised in the present paper.

1 Предварительные замечания

Меры сравнения непрерывных вероятностных распределений, скажем $g_1(z)$ и $g_2(z)$, $z \in R^{\nu}$, хорошо известны как меры дивергенции, среди которых дивергенция Кульбака-Лайблера $D_{KulLei}\left(g_1 \| g_2\right) = \int\limits_{R^{\nu}} g_1(z) \ln\left(\dfrac{g_1(z)}{g_2(z)}\right) dz$ является, возможно, наиболее известной и широко применяемой. Меры дивергенции можно рассматривать как критерий качества в рамках различных теоретических и практических задач. В частности, дивергенция Кульбака-Лайблера приводит к выражению для взаимной информации Шеннона $I\{X_1, X_2\}$ двух, при $\nu = 2$, случайных величин X_1 и X_2, когда одна плотность распределения вероятностей в $D_{KulLei}\left(g_1 \| g_2\right)$, а именно $g_1(z)$, представляет собой совместную плотность распределения этих случайных величин $p_{12}(x_1, x_2)$, а вторая, $g_2(z)$, представляет собой произведение маргинальных плотностей распределения X_1: $p_1(x_1)$, и X_2: $p_2(x_2)$. Как следствие, соответствующая дивергенция Кульбака-Лайблера $D_{KulLei}\left(p_{12} \| (p_1 p_2)\right)$ приводит к теоретико-информационному критерию качества, который может рассматриваться как основа для формирования критерия идентификации систем (здесь и далее $\mathbf{E}(\cdot)$ – символ математического ожидания):

$$D_{KulLei}\left(p_{12} \| (p_1 p_2)\right) = I\{X_1, X_2\} = \int\limits_{-\infty}^{\infty} \int\limits_{-\infty}^{\infty} p_{12}(x_1, x_2) \ln \frac{p_{12}(x_1, x_2)}{p_1(x_1) p_2(x_2)} dx_1 dx_2 = \mathbf{E}\left(\ln \frac{p_{12}(x_1, x_2)}{p_1(x_1) p_2(x_2)} \right),$$

определяя, таким образом, теоретико-информационную идентификацию систем.

В этих рамках в статьях [1-4] и учебном пособии [5] рассматривается взаимная информация Шеннона $I\{y(t), y_M(t)\}$ выходного процесса системы $y(t)$ и выходного процесса модели

$y_M(t)$ как критерий идентификации для построения модели системы. В [1-5] такой критерий непосредственно подлежит максимизации, и именно выходной процесс модели рассматривается как аргумент, по которому максимизация осуществляется: $I\{y(t), y_M(t)\} = \mathbf{E}\left\{\log\left(\frac{p_{SM}(y, y_M)}{p_S(y)p_M(y_M)}\right)\right\} \to \max\limits_{y_M}$, где $p_{SM}(y, y_M)$ – совместная плотность распределения выходного процесса системы $y(t)$ и выходного процесса модели $y_M(t)$, а $p_S(y)$, $p_M(y_M)$ – соответствующие маргинальные плотности распределения этих процессов.

Подход, предложенный в [1-5], таким образом, не может рассматриваться как конструктивный, поскольку он изначально основан либо на требовании того, что совместная плотность распределения $p_{SM}(y, y_M)$ выходного процесса системы $y(t)$ и выходного процесса модели $y_M(t)$ должна быть заранее известна, либо выходные процессы системы и модели должны быть наблюдаемыми. Но это не может иметь место.

Действительно, можно обратиться к широко распространенному представлению критерия идентификации стохастических систем в виде $\mathbf{E}\left\{\rho\left[y(t), y_M(t)\right]\right\} \to \underset{y_M(t)}{ext}$, где ρ – некоторая априори заданная функция потерь. Тогда в [1-5] такая функция потерь ρ как раз и не задана, поскольку она имеет вид $\rho\left[y(t), y_M(t)\right] = \log\frac{p_{SM}(y, y_M)}{p_S(y))p_M(y_M)}$ и включает как маргинальные $p_S(y)$, $p_M(y_M)$, так и (что особенно важно) *совместную* $p_{SM}(y, y_M)$ плотности распределения выходных процессов системы и модели соответственно.

В то же время, тот факт, что данная совместная плотность распределения $p_{SM}(y, y_M)$ является изначально известной в рамках постановки задачи предполагает такой объем априорной информации, что задача идентификации уже должна потерять свой смысл: совместная плотность распределения выходных процессов системы и модели является конечным результатом многих факторов (структуры системы и модели, статистических свойство входных процессов и т.д.). В частности, можно записать следующее формальное выражение для совместной плотности распределения выходных переменных системы и модели, которое вытекает из соотношения для совместной плотности распределения преобразования случайного вектора [6]:

$$p_{Y,Y_M}(Y, Y_M) = \int\limits_{(z_{n+1}, \varphi(X_1,\ldots,X_n))\in C}^{n-1} \cdots \int p_{X_1,\ldots,X_n,Y}(z_1,\ldots,z_n,z_{n+1}) \frac{dS_{n-1}}{\sqrt{\sum\limits_{i_1<i_2}\left[\frac{D(z_{n+1},\varphi)}{D(z_{i_1},z_{i_2})}\right]^2}}.$$

Вышеприведенная формула записана для модели системы, представленной в виде $Y_M = \varphi(X_1,\ldots,X_n)$, где $X_1,\ldots,X_n$ – (обобщенные) входные переменные системы, Y – выходная переменная системы, $p_{X_1,\ldots,X_n,Y}(z_1,\ldots,z_n,z_{n+1})$ – совместная плотность распределения входных и выходной переменной системы. В правой части формулы интегрирование выпол-

няется по $(n-1)$-мерной поверхности, определяемой системой уравнений $\begin{cases}\varphi(z_1,\ldots,z_n)=Y_M\\ z_{n+1}=Y\end{cases}$,

и $\dfrac{D(z_{n+1},\varphi)}{D(z_{i_1},z_{i_2})}=\begin{vmatrix}\dfrac{\partial z_{n+1}}{\partial z_{i_1}} & \dfrac{\partial z_{n+1}}{\partial z_{i_2}}\\ \dfrac{\partial \varphi}{\partial z_{i_1}} & \dfrac{\partial \varphi}{\partial z_{i_2}}\end{vmatrix}$ – якобиан функций z_{n+1},φ по переменным z_{i_1},z_{i_2}.

Однако именно постулирование конкретного вида совместной плотности распределения выходных переменных системы и модели использовано как основа для аналитических выводов [1-5], которые предполагают, что совместное распределение выходных процессов системы и модели является гауссовским, что автоматически сводит исходную задачу идентификации к задаче максимимзации коэффициента корреляции между выходными процессами системы и модели. С содержательной точки зрения предположение, что совместная плотность распределения выходных переменных системы и модели является гауссовской, эквивалентно, например, тому, что предложив некий новый метод обращения матриц, для его применения сделать предположение о том, что обращаемая матрица является диагональной. В частности, из этих двух вышеприведенных формул следует хорошо известный факт, что совместное распределение выходных переменных системы и модели является гауссовским, если $p_{X_1,\ldots,X_n,Y}(z_1,\ldots,z_n,z_{n+1})$ является гауссовской, и функция $\varphi(X_1,\ldots,X_n)$, описывающая модель системы, является линейной. Поэтому в любом более сложном случае нет никаких оснований для априорного предположения о том, что совместное распределение выходных процессов системы и модели является гауссовским. Такое предположение было бы просто искусственным упрощением исходной постановки задачи идентификации, выхолащивающим ее сущность.

Также следует заметить, что предположение о том, что совместная плотность распределения выходных процессов системы и модели является гауссовской, всегда не выполняется, например, для тождественного преобразователя. Действительно, пусть вход X имеет гауссовское распределение, то есть $P\{X<x\}=\Phi(x)$, выходная переменная системы определяется соотношением $Y\equiv X$; выходная переменная модели имеет вид $Y_M\equiv X$. Тогда совместное распределение выходных переменных системы и модели имеет вид:

$$P\{Y<y;Y_M<y_M\}=P\{X<y;X<y_M\}=P\{X<\min(y,y_M)\}=\Phi(\min(y,y_M)).$$

Следовательно, совместная плотность распределения $p_{SM}(y,y_M)$ выходных переменных системы и модели не является гауссовской.

Что касается тех редких случаев, когда предположение о гауссовости совместной плотности распределения выходных процессов системы и модели справедливо (если это свойство вытекает из структурных свойств системы и модели, вероятностных свойств входных сигналов и т.п.) сама осмысленность подхода [1-5] весьма сомнительна, поскольку в этом случае достаточно применения традиционного среднеквадратического критерия (хорошо известно, что для совместного гауссовского распределения максимальная корреляция линейна и совпадает с обычным коэффициентом корреляции).

2 Подход на основе энтропии Цаллиса

Взаимная информация Шеннона, также часто упоминаемая в литературе как относительная энтропия Шеннона, основана на соответствующих энтропиях Шеннона. В то же время, наряду с энтропией Шеннона существуют другие методы определения энтропии случайной

величины. Так, для v-мерной случайной величины Z с многомерной плотностью распределения $g(z)$ энтропия Цаллиса $T_\alpha(Z)$ порядка α определяется следующим образом [7]:

$$(1)\quad T_\alpha(Z)=\frac{1}{\alpha-1}\left(1-\int_{R^v}(g(z))^\alpha\,dz\right),\ \alpha>0,\alpha\neq 1.$$

При этом, при стремлении α к 1, $T_\alpha(Z)$ стремится к энтропии Шеннона, и, таким образом, энтропия Шеннона может рассматриваться как частный случай энтропии Цаллиса «порядка»1.

Так же как и энтропия Шеннона, энтропия Цаллиса $T_\alpha(Z)$ v-мерной случайной величины Z с многомерной плотностью распределения $g(z)$ может рассматриваться относительно этой плотности распределения $g(z)$, и в этом случай она будет обозначаться как $T_\alpha(g)$. Таким образом, $T_\alpha(Z)$ и $T_\alpha(g)$ следует рассматривать как математически эквивалентные обозначения, оба определяемые формулой (1). Необходимость такого уточнения будет объяснена на основе нижеследующих рассуждений, связанных с соответствующей мерой дивергенции вероятностных распределений, которая основана на энтропии Цаллиса.

А именно, используя свойство выпуклости энтропии Цаллиса, в литературе, например [8], следующим образом определяется дивергенция Йенсена-Цаллиса $D_\alpha^{JT}\left(g_1\|g_2\right)$ порядка α двух плотностей распределения $g_1(z)$ и $g_2(z)$:

$$(2)\quad D_\alpha^{JT}\left(g_1\|g_2\right)=T_\alpha\left(\frac{g_1+g_2}{2}\right)-\frac{T_\alpha\left(g_1\right)+T_\alpha\left(g_2\right)}{2},\quad \alpha>0,\alpha\neq 1.$$

При этом $D_\alpha^{JT}\left(g_1\|g_2\right)$ неотрицательна и обращается в нуль тогда и только тогда, когда $g_1(z)=g_2(z)$. Соответственно, при $v=2$ и Z, составленной из двух случайных величин X_1 и X_2, когда одна плотность распределения в $D_\alpha^{JT}\left(g_1\|g_2\right)$ в (2), а именно – $g_1(z)$, является совместной плотностью распределения этих случайный величин $p_{12}(x_1,x_2)$, а вторя плотность распределения, $g_2(z)$, является произведением их маргинальных плотностей X_1: $p_1(x_1)$, и X_2: $p_2(x_2)$, соответствующая дивергенция Йенсена-Цаллиса $D_\alpha^{JT}\left(p_{12}\|p_1p_2\right)$ порядка α приводит к состоятельной, в смысле терминологии А.Н. Колмогорова, информационно-теоретической мере зависимости $I_\alpha^{JT}\{X_1,X_2\}$ двух случайный величин X_1 и X_2 (то есть такой мере зависимости, которая обращается в нуль тогда и только тогда, когда данные случайные величины стохастически независимы).

С вычислительной точки зрения, особенно в условиях необходимости оценивания на основе выборочных данных, энтропия Цаллиса выглядит предпочтительнее энтропии Шеннона, поскольку последняя включает «интеграл от логарифма», энтропия Цаллиса вообще не содержит логарифма, что вычислительном плане значительно проще. При этом выбор конкретного значения порядка α существенен, поскольку, чем больше порядок, тем сложнее становится вычислительная процедура. Такой анализ в части вычислительных и аналитических вопросов влечет целесообразность достижения определенного «компромисса» в выборе порядка α энтропии Цаллиса, в рамках которого значение порядка $\alpha=2$ выглядит наиболее притягательным. Значение $\alpha=2$ в формуле (2) соответствует квадратической дивергенции взаимной информации Йенсена-Цаллиса соответственно. Таким образом, при $\alpha=2$ из формул (1) и (2) непосредственно следует:

(3) $I_2^{JT}\{X_1, X_2\} = \int\limits_{-\infty}^{\infty}\int\limits_{-\infty}^{\infty}\left(p_{12}(x_1, x_2) - p_1(x_1)p_2(x_2)\right)^2 dx_1 dx_2.$

3 Постановка и решение задачи идентификации

Главный вывод из анализа, приведенного в разделе 1, состоит в том, что возникает вопрос, существует ли какой-либо конструктивный метод использования теоретико-информационного критерия, который не был бы основан на ограничительных предположениях, подобных рассмотренным выше? Если так, то, очевидно, такой подход не может быть основан на прямом аналитическом вовлечении теоретико-информационного критерия, поскольку он является функционалом от неизвестных маргинальных $p_S(y)$, $p_M(y_M(\theta))$ и совместной $p_{SM}(y, y_M(\theta))$ плотностей распределения выходных процессов системы, $y(t)$, и модели, $y_M(t;\theta)$ (все обозначения, касающиеся плотностей распределения вероятностей, полностью соответствуют принятым выше). Следовательно, особенностью такого конструктивного метода является применение подходящих оценок теоретико-информационного критерия на основе выборочных данных вместо его теоретического представления.

Рассмотрим широко используемый в теории и практики идентификации класс нелинейных дискретно-временных систем, описываемых линейным по параметрам входо-выходным отображением

(4) $y_M(t;\theta) = \theta^T \phi(t), \theta = (\theta_1, \ldots, \theta_n)^T.$

Компонентами вектор-столбца $\phi(t) = (\phi_1(t), \ldots, \phi_n(t))^T$ являются известные функции предшествующих значений входного процесса системы, равно как. В общем случае, предшествующие значения выходного процесса системы. Таким образом, выражение (4) применимо для описания широкого класса нелинейных динамических систем.

В рамках такой постановки задачи параметры модели, то есть компоненты вектор-столбца θ подлежат идентификации в соответствии с теоретико-информационным критерием

(5) $I_2^{JT}\{y(t), y_M(t;\theta)\} \xrightarrow[\theta]{} \sup,$

с одновременной заменой аналитического выражения для квадратической взаимной информации Йенсена-Цаллиса соответствующей оценкой

(6) $\hat{I}_2^{JT\left(y^{(1)}, \ldots, y^{(N)}; \phi^{(1)}, \ldots, \phi^{(N)}\right)} = f(\theta),$

получаемой на основе наблюдения выборочных данных $\phi^{(1)}, \ldots, \phi^{(N)}$, $y^{(1)}, \ldots, y^{(N)}$ (обобщенного) входного, $\phi(t)$, и выходного, $y(t)$, процессов системы. В (6): $\phi^{(i)} = \left(\phi_1^{(i)}, \ldots, \phi_n^{(i)}\right)^T$, $i = 1, \ldots, N$.

Тогда в рамках данного подхода исходная задача идентификации стохастической системы, описываемой моделью (4), по теоретико-информационному критерию (5), (6) при наличии выборочных наблюдений входных и выходных процессов приводит к задаче конечномерной оптимизации $f(\theta) \xrightarrow[\theta]{} \sup$, для решения которой требуется явное аналитическое выражение функции $f(\theta)$ в (6). В свою очередь, такое построение основано на применении соответствующей оценки квадратической взаимной информации Йенсена-Цаллиса.

Функция $f(\theta)$ может быть построена различными методами, связанными с оцениванием взаимной и маргинальных плотностей распределения входного и выходного процессов систе-

мы на основе выборочных данных. Для таких случаев широко используются ядерные оценки Розенблатта [9]. Таким образом, в соответствии с формулами (3) и (6) можно записать:

$$(7а)\quad \hat{I}_2^{JT\left(y^{(1)},\ldots,y^{(N)};\phi^{(1)},\ldots,\phi^{(N)}\right)} = \int_{-\infty}^{\infty}\int_{-\infty}^{\infty}\left(\mathrm{A}_{SM}^{(N)}\left(y,y_M(\theta)\right)\right)^2 dy dy_M(\theta),$$

где

$$(7б)\quad \mathrm{A}_{SM}^{(N)}\left(y,y_M(\theta)\right) = p_{SM}^{(N)}\left(y,y_M(\theta)\right) - p_S^{(N)}(y)\,p_M^{(N)}\left(y_M(\theta)\right).$$

В свою очередь, в (7):

$$(8)\quad p_S^{(N)}(y) = \frac{1}{Nh_N}\sum_{i=1}^{N} K_1\left(\frac{y-y^{(i)}}{h_N}\right),\ p_M^{(N)}\left(y_M(\theta)\right) = \frac{1}{Nh_N}\sum_{i=1}^{N} K_2\left(\frac{y_M(\theta)-\theta^T\phi^{(i)}}{h_N}\right),$$

$$p_{SM}^{(N)}\left(y,y_M(\theta)\right) = \frac{1}{Nh_N^2}\sum_{i=1}^{N} K_1\left(\frac{y-y^{(i)}}{h_N}\right)K_2\left(\frac{y_M(\theta)-\theta^T\phi^{(i)}}{h_N}\right).$$

В выражениях (8): $\{h_N\}$ – последовательность положительных чисел, сходящаяся к нуль,; $K_j(\cdot),\ \ j=1,2$ – положительные ограниченный ядра на R^1, удовлетворяющие традиционным требованиям для ядер при непараметрическом оценивании плотностей распределения.

В предположениях относительно исходной системы, подлежащей идентификации, о том, что $\left(y(t),y_M(t;\theta)\right)$ являются сильно перемешивающимися процессами [10], и в соответствующих условиях интегрируемости, накладываемых на ядра $K_j(\cdot), j=1,2$, и плотности $p_S(y)$, $p_M\left(y_M(\theta)\right)$, и $p_{SM}\left(y,y_M(\theta)\right)$ (формулы (3)-(7) в [11]), оценка (7) имеет следующий среднеквадратический риск:

$$\mathbf{E}\left(\hat{I}_2^{JT\left(y^{(1)},\ldots,y^{(N)};\phi^{(1)},\ldots,\phi^{(N)}\right)} - I_2^{JT}\left\{y(t),y_M(t;\theta)\right\}\right)^2 = O\left(N^{-1}h_N^{-4}+h_N^2\right).$$

Список литературы

[1] Durgaryan I.S., Pashchenko F.F. Identification of Objects by the Maximal Information Criterion // Automation and Remote Control. 2001. Vol. 62, No. 7. P. 1104-1114.

[2] Пащенко Ф.Ф. Определение и моделирование закономерностей по экспериментальным данным // Системные законы и закономерности в электродинамике, природе и обществе. М.: Наука, 2001. Гл. 7. С. 411-521.

[3] Пащенко Ф.Ф. Метод функциональных преобразований и его применение в задачах моделирования и идентификации систем / Автореф. дис. на соиск. учен. степ. д.т.н.: Спец.05.13.18: Спец.05.13.01. М.: Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, 2001.

[4] Durgaryan I.S., Pashchenko F.F., Pikina G.A., Pashchenko A.F. Information method of consistent identification of objects // 8th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications (ICIEA), 2013. P. 1325-1330. DOI: 10.1109/ICIEA.2013.6566572.

[5] Пащенко Ф.Ф. Введение в состоятельные методы моделирования систем / Учеб. пособие: В 2-х ч. Ч. 2. Идентификация нелинейных систем. М.: Финансы и статистика, 2007. 228 с/

[6] Королюк В.С., Портенко Н.И., Скороход А.В., Турбин А.Ф. Справочник по теории вероятностей и математической статистике. М.: Наука, 1985. 640 с.

[7] Tsallis C. Possible generalization of Boltzmann-Gibbs statistics // Journal of Statistical Physics. 1988. Vol. 52, No. 1. P. 479-487.

[8] Anguloa J.C., Antolín J., López-Rosa S., Esquivel R.O. Jensen–Tsallis divergence and atomic dissimilarity for ionized systems in conjugated spaces // Physica A. 2011. Vol. 390. P. 769-780.

[9] Rosenblatt M. Remarks on some nonparametric estimates of a density function // Ann. Math. Statist. 1956. Vol. 27. P. 832-835.
[10] Rosenblatt M. A central limit theorem and a strong mixing condition // Proc. Nat. Acad. Sci., U.S.A. 1956 Vol. 42. P. 43-47.
[11] Mokkadem A. Estimation of the entropy and information of absolutely continuous random variables // IEEE Transactions on Information Theory. 1989. Vol. IT-35. P. 193-196.

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ОБОРУДОВАНИЕМ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ НА КОСМОДРОМАХ

В.Г. Шалумов[1], Н.С. Долгов[2]

[1]Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации РАН
199178, Санкт-Петербург, 14-я линия В.О., 39, Россия
spiiran@iias.spb.su
тел: +7 (812) 328-33-11

[2]Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения
190000, Санкт-Петербург, ул. Большая морская, 67, Россия
common@aanet.ru
тел: +7 (812) 710-65-10

***Ключевые слова**: автоматизированные системы управления, модель, ракета-носитель, программное обеспечение, объект управления.*

Abstract
This article describes a method for creating a system for diagnosing an automated control system for technological equipment of a launch vehicle complex.

Пуск ракеты-носителя – это сложный технический процесс, для обеспечения которого требуется слаженная работа большого количества технологического оборудования. Ракета-носитель сама по себе является сложным объектом, но помимо этого ее необходимо подготовить, установить, обеспечить температурный режим, заправить компонентами топлива, дозаправлять по мере испарения криогенных компонентов топлива, снабжать сжатыми газами и пр. Во время пуска необходимо обеспечивать слаженную работу наземных систем, осуществлять управление бортовыми системами в процессе пусковых операций, управлять наземным оборудованием, ответственным за пуск. В случае переноса или отмены пуска необходимо осуществлять соответствующие операции: слив компонентов топлива, подготовку ракеты к снятию со стартового стола и пр.

Для выполнения большинства вышеперечисленных операций используется автоматизированная система управления технологическим оборудованием (АСУ ТО), объединенная в единый информационно-управляющий комплекс. В итоге, разнородные системы заправки жидкими компонентами и криогенными компонентами, хранения компонентов топлива, термостатирования, обеспечения сжатыми газами, пожаротушения и другие объединены в единое информационное пространство. Это позволяет:

- значительно расширить круг задач, решаемых системой управления;
- обеспечить оператора и руководителя работ все полнотой информации о состоянии наземного оборудования как единого целого;
- поднять безопасность и надежность стартового комплекса на новый уровень;
- значительно увеличить общую информативность системы;
- обеспечить архивирование событий разнородных систем в привязке к единому времени;
- автоматизировать процесс формирования отчетов [1].

Для обеспечения надежности АСУ ТО является дублированной на уровне транспортировки данных (используется основная и резервная сети Ethernet) и троированной на уровне

обработки. Для принятия окончательного решения необходимы голоса двух из трех каналов, структура представлена на рисунке 1.

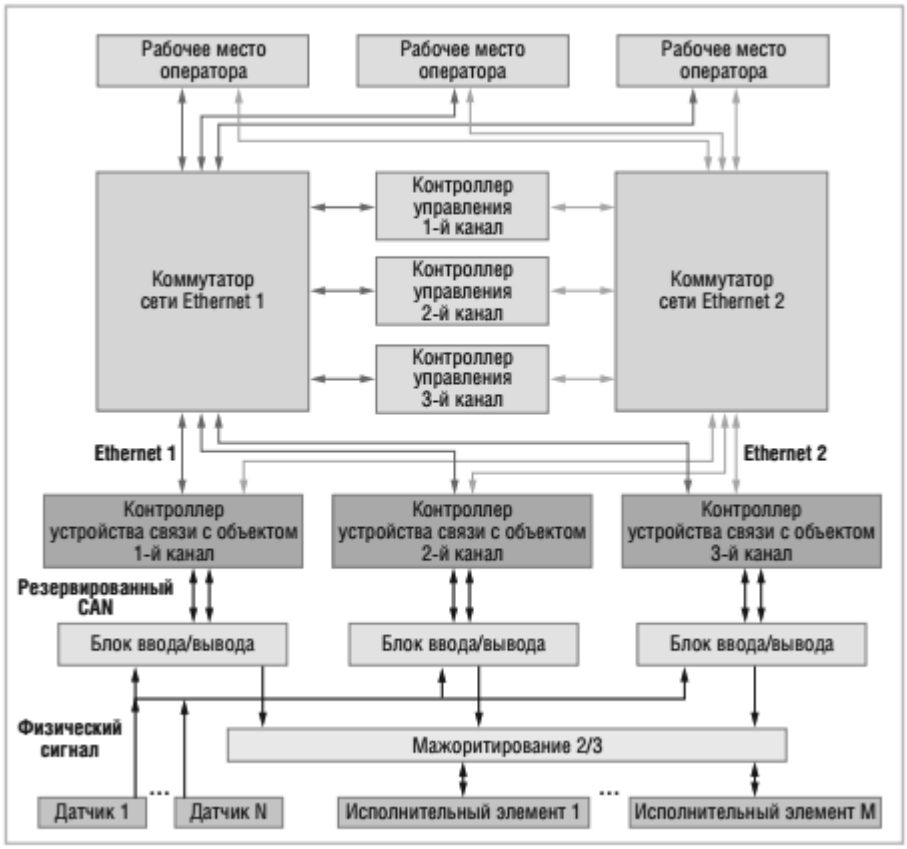


Рисунок 1 – Структура канала управления системы АСУ ТО

В случае отказа оборудования входящего в состав автоматизированной системы управления технологическим оборудованием необходимо быстро локализовать и устранить неисправность. Для решения данной задачи должна быть создана система диагностирования АСУ ТО [2].

При создании автоматизированной системы (АС) диагностирования нужно учесть требования скорости удобства, малой стоимости проектирования, оптимальной структуры АС. Для выполнения этих требований используется сквозная модель проектирования программного обеспечения [4]. Рассмотрим основные этапы используемой технологии проектирования:

Этап 1. Функциональное проектирование, заключающееся в выявлении информационных потребностей заказчика (формулировка технических и частных технических заданий на разработку систем и подсистем проектируемого продукта).

Этап 2. Концептуальное проектирование автоматизируемой системы (для данных – формирование концептуальной схемы базы данных, для процессов обработки данных - определение входных и выходных данных). Концептуальный проект не зависит от реализации и отражает содержательную сторону проектируемой АС.

Этап 3. Разработка архитектуры АС (выбор модели доступа к данным, программной платформы общего ПО – операционной системы, выбор аппаратной платформы – структуры вычислительной сети при многомашинном комплексе и др.).

Этап 4. Логическое проектирование АС (формирование логической схемы БД и написание прикладных программ на некотором языке).

Этап 5. Отладка и тестирование прикладных программ АС.

Этап 6. Сопровождение АС [3].

“СКБ Орион” разработал информационную технологию проектирования, настройки и сопровождения АСУ сложными техническими процессами – программное обеспечение автоматизированной системы управления технологическими процессами [5]. Использую эту технологию, “СКБ Орион” создает АСУ ТО стартовых комплексов РН, при этом проектируя систему диагностирования АСУ ТО [6].

В начале создания системы диагностирования составляется список сигналов, которые будут анализироваться (комплектность, контроль дверей, питание стоек и многое другое). Все полученные сигналы заносятся в базу знаний. В результате формируются функции состояний, которые разделяют состояние системы на норму и неисправность.

После создания базы знаний создается мнемосхема, где каждому объект присваивается значение определенного сигнала.

Работая с мнемосхемой оператор всегда может определить в каком месте у него произошла неисправность и в короткий срок устранить ее причину.

В качестве примера можно привести систему диагностирования АСУ ТО стартового комплекса РН “Союз” в Гвианском космическом центре. Мнемосхема изображена на рисунке 2.

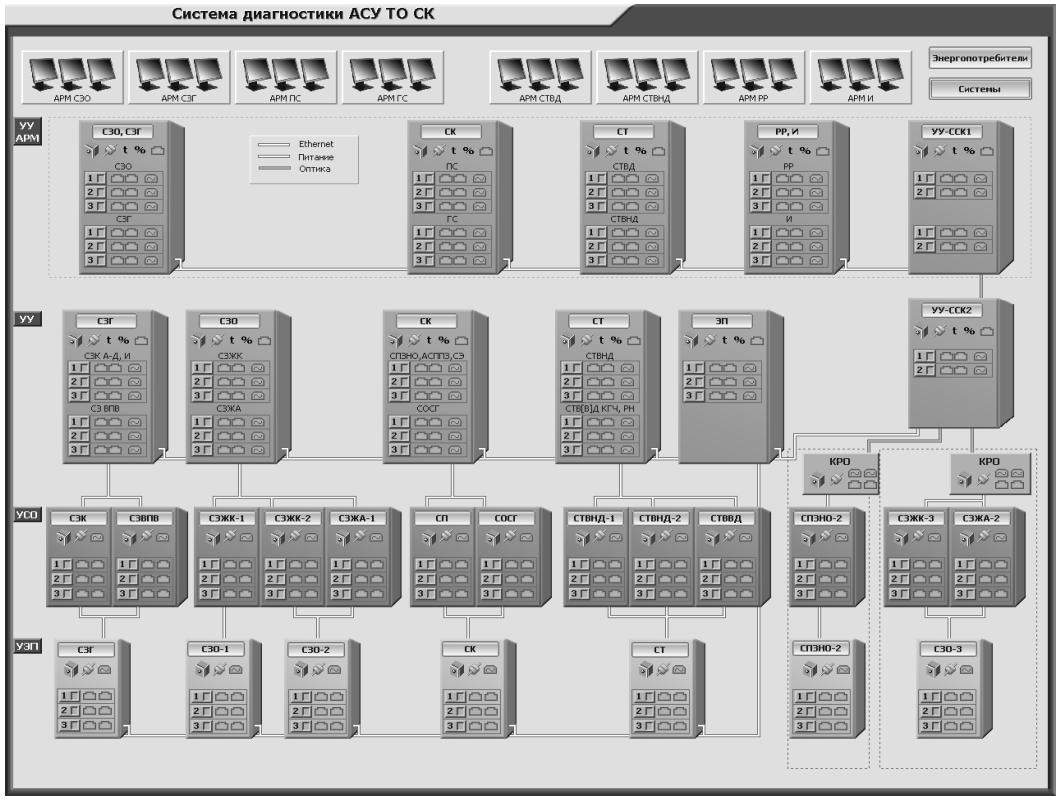


Рисунок 2 – Система диагностирования АСУ ТО

В заключении следует отметить что, представленная информационная технология проектирования позволяет создать систему диагностирования АСУ ТО стартового комплекса РН, которая в короткие сроки способна определить место и причину неисправности [7].

Список литературы

[1] АСУ технологическим оборудованием стартового комплекса РН "Союз" в Гвианском космическом центре (http://www.cta.ru/cms/f/441328.pdf).

[2] Афанасьева О.В., Голик Е.С., Первухин Д.А. Теория и практика моделирования сложных систем: Учеб. пособие – СПб: СЗТУ, 2005. – 131 с.

[3] В.А. Каргин, О.В. Майданович, М.Ю. Охтилев. Автоматизированная система информационной поддержки принятия решений по контролю в реальном времени состояния ракетно-космической техники/История высших учебных заведений. Приборостроение. 2010. – С. 20-23.

[4] О.В. Майданович, М.Ю. Охтилев, Б.В. Соколов. Перспективные направления развития информационных технологий мониторинга и управления состояниями сложных технических объектов в реальном масштабе времени / International Journal “Information model and analysis” Vol.1, Number 4. 2012. – С. 318-335.

[5] Проектирование систем управления для гибких автоматизированных производств: учебно-методическое пособие / Е. И. Громаков, А. Г. Каранкевич. – Томск: Изд-во Томского политехнического ун-та, 2008. – 152 с.

[6] СКБ «Орион» Программное обеспечение (http://skborion.ru/production_po.php).

[7] Фандеев В.П., Волков В.С., Баринов И.Н. Модели, методы и алгоритмы оптимизации диагностирования микромеханических датчиков: Учеб. пособие – Пенза, 2013. – 74 с.

Management Processes in the Society
Процессы управления в обществе

BEHAVIOR, SOCIETY, AND NEUROEXPERIMENTATION

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: *body-environment interaction, social groups, operational control, neuro-confounders*

Аннотация
Рассматриваются три функциональные группы системы человеческого тела, которые обеспечивают генерацию действия человека, осознаются как его поведение, обусловленное средой и обладают обратной связью в четырех социальных измерениях. Отмечается, что ассоциативная мозговая деятельность подвержена смешиванию.

Introduction

The aim is to emphasize a *holistic systems view* of a person's behavior that is based on an integrative understanding of interactions between human body system and a person's operations in his or her life setting. A systems approach will then need a set of interactive components that exchange energy in a *structure of internal relations* with dynamics of such exchanges being stimulated by internal and external *driving forces*.

Dynamics of energy transfers within human body and with its world outside differ from those within and between *social aggregates* in human society in terms of pathways in prevailing structures and in terms of driving forces that arise from design motifs of human body in life sphere context and from policy motifs in socio-economic systems. Wiener-sense cybernetics, however, an organizational science rooted in automation engineering concepts, can explain emergent properties from the *structure of functional relations* between interactive components irrespective of their physical realization and is hence suitable for both situations.

From this background understanding, behavior, society and neuroexperimentation are treated in an integrative way consecutively and the common underlying theme will be that interacting components and driving forces generate the system's dynamics, and a structure of inter-component relationships is needed for their control.

First, human *behavior* is understood as person's *operations perceived from outside*; operations are seen to emerge from an *interaction* of three human-body functional groups (FG) that aims to secure integrity and well-functioning of human body system under permanent impact from exposures to surrounding world's dynamics in climate, wildlife and human society and under the biological life-cycle constraints of maturation, reproduction and aging.

Second, integration into human *society* is a primary objective of a person's operations because interaction with others provides opportunities for reproductive mating, for resource (e.g. food, shelter) trading and for learning how to stand one's ground in life-sphere competition. Repeated interpersonal interaction creates social groups, *social aggregates* of persons, with temporary members in

changing composition; bonding increases with continued interaction and again, properties of the whole emerge that cannot be ascribed to a single member alone. Even though, the "selfish whole" will control behavior of every of its elements when striving for preservation of its integrity and in pursuit of its objectives.

Third, *neuroexperimentation* is a branch of empirical investigations in the behavioral sciences that studies brain-functional response to experimental exposure in volunteers. In therapeutic drug testing, "standardized conditions", a prerequisite in empirical investigations of cause-effect relationship, can be justified from well established pharmacokinetic laws while they must fail to represent real-life pharmacodynamics in any wider patient population. Equal merits of "standardized conditions" in cognitive neurodynamics cannot be assumed: despite balanced designs and randomization of subjects to exposures, criteria for causation in epidemiological studies must still be followed for scrutinizing exclusion of confounding.

1 Holistic Systems View

The concept of a holistic systems view is based on Wiener-sense *cybernetics* [1] via the *kybernetic paradigm* expressed in [2]: as soon as a real-life complex system can be separated into a material part and an organizational part, principles of an organizational science can be invoked to explain emergent properties irrespective of their physical realization. The idea was developed for *kybernetic modeling of human body system* in a series of papers [3-6], recently. (Note that the original Greek initial *kappa* (κ), Latinized as *k,* shall mark the distinction from the modern digital interpretation of cybernetics.)

Denote human body system by H, and its physical body *bio-sphere* by B(H), its *eco-sphere* of natural or man-made habitual environment by E(H), and the person's *socio-sphere* of economic opportunities and social embedding by S(H); then $B(H) \subseteq H$ as H refers to the person and B(H) to person's biological body. The three spheres together then span what may be called the person's *life sphere*, L(H) say, L(H) = [B(H), E(H), S(H)], and L(H) sets a frame to all personal operational decisions and their enacting, in other words to the person's (actual) operations - perceived and denominated as *behavior* - in his or her life sphere surroundings $E(H) \cup S(H)$ that form the "outside world" of B(H) , cf. Fig. 1.

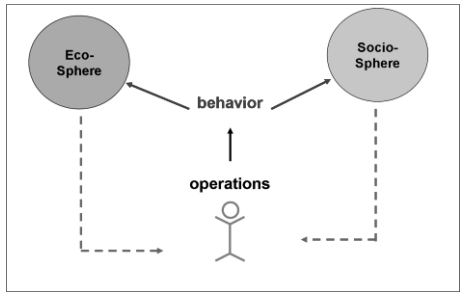


Figure 1 - A person's operations are perceived by his or her surroundings as person's behavior

To pass by the problem of "*where does mind end and where does environment begin?"* [7], let the source of operations of human body system H then be located in its bio-sphere B(H) from where operations arise through coordination of three *functional groups* (FG) in human body bio-system B(H) [3],

- a (sub-)system of vital body functions, V,
- a (sub-)system of (re-)productivity functions, P,
- a (sub-)system of operational (management and control) functions, O.

Denote human body's cellular system by Z, and take it as the *material component* of B(H); the study of Z aims to understand the pure "mechanics" of human body system's functioning. Then, B(H) = (V, P, O, Z). Note that (re-)productivity encompasses both physical productivity and sexual reproductivity, but not purely mental productivity; anatomically, it means productivity enacted by the body's muscular-skeletal and sexual-reproductive sub-systems, as applicable.

In application of said *kybernetic paradigm*, functional modeling considers only {H |Z}. The functional model of {H |Z} in [4-6] is a coherent multi-scale concept built-up of hierarchically nested *functional levels*, *FL*, each composed of *logical units* (*LU*) that represent some specific functionality within their level or scale. These *LU* are also referred to as *functional units*, *FU*, *functional aggregates* (of functional units), *FA*, or *functional groups* (of functional aggregates), *FG*, when located in either *FL*3, or *FL*2, or *FL*1 = ({V |Z}, {P |Z}, {O |Z}) , respectively, cf. [5-6]. Here, focus is on *FL*0 = {H |Z}, the scale at the top, such that *FL*2 and lower functional levels can be disregarded for the present purpose, cf. Fig. 2.

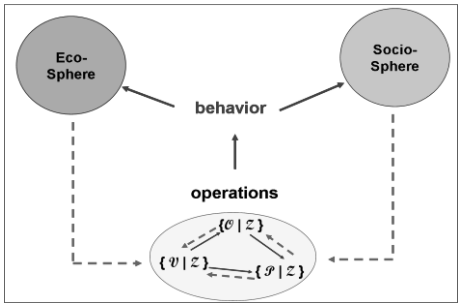


Figure 2 - Human-body system functional level FL1 interactions emerge in person's operations

From such viewpoint, a person's operations are P -enacted, but still emerge from interaction of the three functional groups, symbolically (with · to represent interaction)

{H |Z}-operations ← {V |Z} · {P |Z} · {O |Z} .

Such "creative interaction" may be *extrinsically* or *intrinsically* motivated in response to "signals" received from surroundings E(H) ∪ S(H) or in pursuit of B(H)-internal "needs and desires", respectively, that make the driving forces. As visible in demeanor of the whole person, system dynamics at this functional level are controlled: finding the formal structure of relationship between its constituent components, the human body system's functional groups as the *LU*'s of *FL*1, is the kybernetic modeling issue beyond the scope of this exposition.

2 Human Body in Social Context

One may also try to understand *society* from the viewpoint of interactions of human-body systems H in a *structured population*; structures are then regulations, laws, and appropriate institutions to frame, manage and control inter-personal societal interaction. At the level of biological body systems B(H), the base component of a biological population is a male-female couple, [$B(H)_{male,}$ $B(H)_{female}$], for the purpose of reproduction. At person's level H , there is a wider spectrum of purposes for interaction with socio-sphere S(H) within *life sphere* L(H) surroundings, cf. the Introduction and [5-6] for basic driving forces in interaction dynamics.

2.1 Person's Social Context

Essentially, every person H is member in four *social groups,*

- family and close friends,
- neighborhood of dwelling,
- workplace or school, and
- leisure-activity clubs.

Consequently, every living being H is necessarily a *social living*, whether the ties are strong or weak, or even denied (refused interaction with any other H is clearly a social interaction, as well). Hence, no H exists alone, social context always coexists, and due to an ever-present inevitable social-context impact, truly independent "individual" decision-making – as realization of *free will* in self-determined operations – must be seen as only an interesting philosophical concept; accordingly, when talking about individualism of persons, one should think of single persons, not of independent ones.

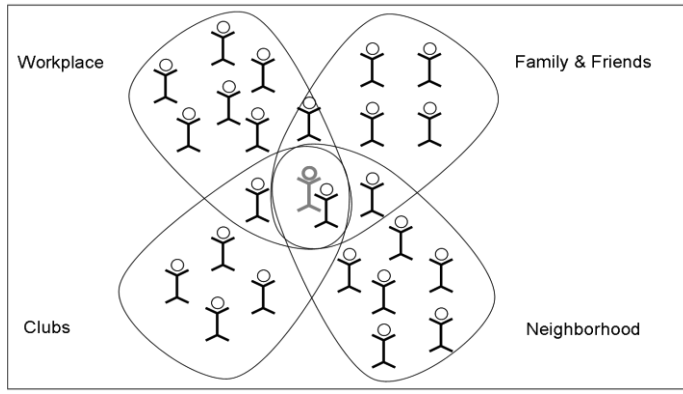


Figure 3 - "Nobody is alone"as every person is member of at least four social groups

As "self-determination" must then be written with quotations marks, in what way will social groups exert control on their members? A general engineering concept is a *social feed-back* as seen in Fig. 4: The social group as *controller* expresses, explicitly or implicitly, *behavioral expectations*, the *control signal* or *actuator,* towards its member's operations, the *plant*; operations consist in a sequence of actions which the member takes according to its personal interpretation of the control signal – the *random disturbances* from the viewpoint of the controller –, that comprise body's potentials, person's life history experience, economic options, and any amount of reasoning about anticipated personal benefits, risks or sacrifices involved in an operation that complies with the control signal. *Social perception* of person's operations, member's *behavior*, serves as *control value* or returned process signal, that is compared with the *set point* for determination of a need for sending any corrective control signals.

Of course, social feed-back is particularly well-known in person-to-person relations when a significant discrepancy between actual and expected response causes surprise, or disappointment. With regard to social groups, relations between a *social aggregate* of persons and any individual member person are more complexly composed, and set "preferences" of each social group can at times create conflicting demands and inadequate person's response. While workplace teams demand compliance with job requirements, work guidances, labor regulations, and safety rules, family and close friends require empathy, load sharing, care-taking, or other kinds of assistance in their daily life.

Models of "influencing" may then start from a person's viewpoint or from a groups' perspective.

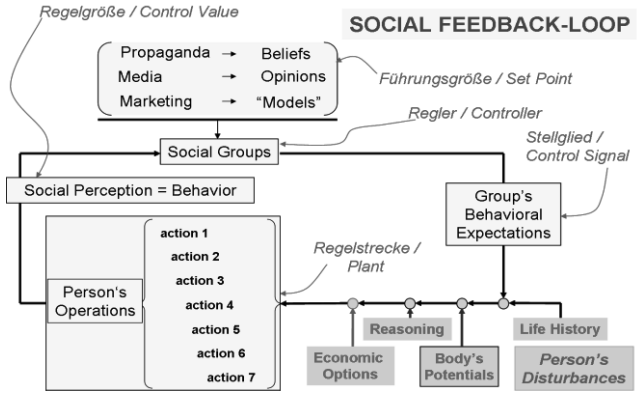


Figure 4 - Block diagram of a feed-back control loop on behavior of a member of a social group

2.2 Person-based Control

For modeling social feed-back, one has to take four *social dimensions* (cf. Fig. 5) that compete for person's attention into account, and no time management can prevent "carry over" effects, since it is one and the same human body system in every slot. Further, each social group has a background of a larger organization or family / close friend network that also "has a word to say" and influences close-by control: at the workplace, for example, a department's interpretation of company's cultural guidance within industry's regulations, each applies top-downwards, and the same occurs in clubs with their associations, leagues, and federations.

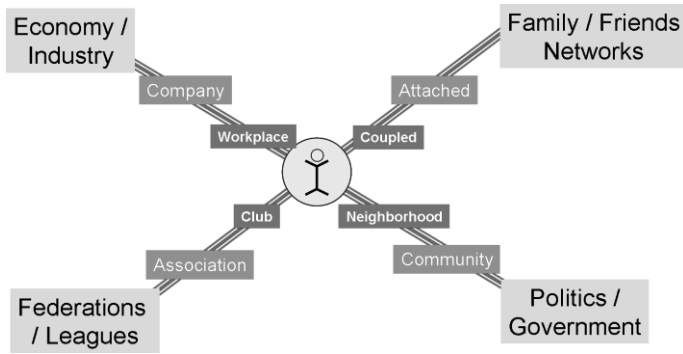


Figure 5 - Person-based control: Social groups' influencing background levels

Person-based *direct control* uses "incentives" (pecuniary gratification, liberties, honors and rewards) and "sanctions" (fines, limitations, dishonoring) as control signals that represent the inter-component energy transfers along appropriate structural pathways within each social dimension. Forces that drive those dynamics must not be modeled independently as it is always one and the same person's character and spirit that apply – either uniformly or on average, with high profile somewhere to compensate a low profile elsewhere. Even though, one may start from *marginal models* that address each social dimensions one by one and add inter-group relations as appropriate.

2.3 Group-based Control

One may wonder, if it may be possible to exploit structures as shown in Fig. 6 and usual group dynamics to control a person only via membership in social groups instead of addressing the person individually. The extent of attachment of a person to any social group will determine some degree of

group-based controllability, often called “a person's motivation” to comply with demands by the social group. While in general, respective requests will not target a particular person, as for example with calls like “members are requested ...” or “ear-protection required beyond this door”, one may now pose the problem which social groups must be “influenced” to fine-control a particular person in a purely group-based approach? This requires an analysis of interrelationship between membership groups of a person and applicable background levels in every social dimension. The aim would be to steer a person's ambitions, self-framed by own potentials anyway, to a desired behavior by restriction or extension of opportunities in his or her pursuit under applicable driving forces.

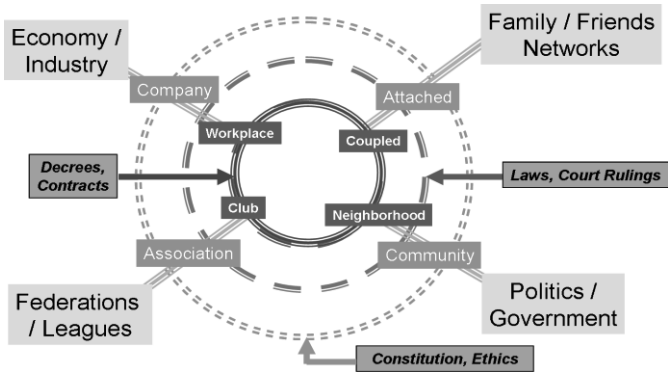


Figure 6 - Group-based control: Cross-dimensional connectivity

That the problem has an answer, at least in theory, is easily seen: let N be population size and x the number of a person's attributes in *each* of the four social dimensions, then $x \geq N^{1/4}$ ensures that each person in the population can have a unique quadruple of attributes; e.g., $x = 96$ attributes in each dimension of Fig. 5 would suffice for a population of 85 million people, in theory. Attributes will be personal particulars like family relationship, health-system related, genetic and communicable-disease attributes in f*amily and close friends*, professional qualifications and duties, also unemployment, retirement, welfare claims or benefits in *workplace*, housing, shopping, banking, optional insurances attributes in *dwelling neighborhood / community*, and attributes related to vacations, club membership for sports, volunteer services in *leisure time activities*.

Prediction of a person's behavior is another aspect of control. The practical significance is obvious, for example, in marketing: instead of seminars, mailings, phone calls or other personal approaches, one may use social-group *influencing*.

The major advantage of group-based indirect control seems to be known or at least accessible structures of relationships between system components that will permit to model dynamics of money flow – the energy transfers of interest – more easily than group-to-person / person-to-group “energy” transfers across four dimensions simultaneously in the person-based direct control approach, let alone the mere definition of “energy”, metrics and commensurability issues in this case.

3 Neuroexperimentation

3.1 Methodology

Experimental investigations in psychology often follow a simple *input-output* scheme: A cognitive task as input is given to a subject — *a priori* a “black box” — and a behavioral response is observed as its output, cf. the block diagram in Fig. 7.

With non-invasive technologies of brain imaging and measurement of electric and magnetic fields, some light is shed on intra-cerebral processing along mainly unknown neurophysiological

pathways within mainly known neuroanatomic structures and neural processing becomes observable in real-time, changing human-brain of operational functions from a “black box” to a “grey box”.

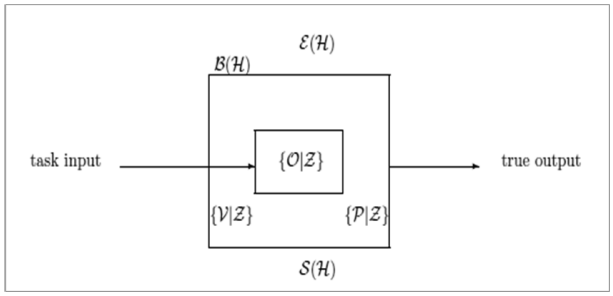


Figure 7 - Simplistic concept of observation of operational-brain activity upon cognitive-task input and subsequent whole body behavioral-marker output, ignoring functional interaction and functional impact

In some kinds of experiments — e.g. in neuro-ergonomics — one studies effects of set tasks on neural activity and treats arising patterns as *neural input* followed by *neural processing* in operational decision-making about a response and subsequent *neural output* when enacting made decisions. In another kind of experiments — e.g. in neuro-economics —, observed behavior is seen as *behavioral output* and any associated observed pattern of neural activity will be a purported *neural cause* with *behavioral marker* output.

Modifying neural activity that creates *confounded neural causes*, can arise in many ways, on *endogenous* grounds — e.g. from alterations of biochemical pathways in case of addiction, or of physiological pathways in case of ischemic stroke, or from space-demanding cellular alterations in case of brain tumors — or on *exogenous* grounds — e.g. externally set stimuli, neuro-intoxication. Control of confounding is the primary objective of design and analysis in empirical investigations.

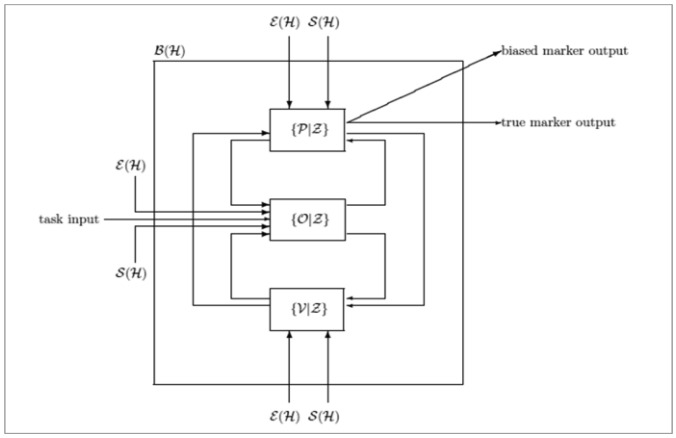


Figure 8 - Block diagram with human-body system functional groups interactions and life-sphere impact in observation of operational-brain activity upon task input and behavioral marker output.

Functional invariance addresses *within-system modus operandi* of group (FG) {O |Z} of operational functions in functional human body {H |Z}. Here, the aim is to investigate whether or not the same structures and pathways of brain activity are *invariably* engaged with and without additional mental load or in absence and in presence of brain-functional limitations, more specifically, (i) *resource conflicts*, i.e. mental overload due to concurrently arising tasks, (ii) *goal conflicts*, i.e. uncertainty about desirability of goals, (iii) *capability conflicts*, i.e. task is too complex, problem solving

capability not sufficiently developed to begin or to complete task-solving, (iv) *cognitive or mental disorders*, i.e. task-solving process is subject to internal functional limitations).

3.2 Design

Common investigations of cause-effect relationship adopt either a design of *prospectively* awaiting the effect from an *ante hoc* known cause, or a design of *retrospectively* retrieving "exposures" as factors that might possibly have caused the already known-by-observation effects.

In studies of neural activity as purported causal factor for observed behavior, the experimental design is a *retrospective comparison* or *case-control study* by which one tries to link differences in output to differences in patterns of brain activity. To conclude any degree of causality now becomes logically impossible, as there is no control of *neuro-confounders* from such design.

In neuro-experiments with observation of neural activity *after* application of set inputs A and B, this first step has the advantage of a *prospective design*, and one tends to take it for granted that the observed neural activity arises *from* the application of inputs A and B; but as long as confounding neural activity on endogenous or (other) exogenous grounds cannot be excluded, one can only say that observed neural activity arises *with* inputs A and B, and one will have to allow for a coincidence.

If the investigation is extended to observation of behavioral output, one and the same experiment will have a second step *retrospective design* and a first step *prospective design* to which the remarks in the two preceding paragraphs apply, respectively.

As neuro-confounders that are known and measurable may at least be accounted for in data analysis *post hoc*, it is important to get to know potential neuro-confounders in any given context of neural activity; as a note of warning, so-called “adjustment for confounding” at the analysis stage still does not generate compelling evidence for causality. It is then helpful to recall Hill's nine criteria commonly used when arguing for causality with data from epidemiological studies [8].

3.3 Dynamic Concepts: Functional Interaction and Functional Impact

Functional interaction addresses *within-body interaction* of functional group (FG) {O|Z} of operational functions with FG {P |Z} of (re-)productivity functions and FG {V |Z} of vital functions. Examples for {V|Z}• {O|Z} are biological variation of hormone system, transient or persisting disorders of hormone or nervous system for management and control of body functions, or chronic disorders that resist treatment; examples for {P|Z}• {O|Z} in muscular-skeletal *locomotor functions* are extent of habitual physical activity, different levels of concurrent physical workload, transient or persisting disorders of muscular-skeletal sub-systems in male and female; examples of {P|Z}• {O|Z} interaction in *sexual reproductivity functions* are extent of habitual sexual activity, transient or persisting disorders of reproductive sub-systems in the male or the female.

Functional impact addresses *intrinsic factors* from human body *bio-sphere* B(H), as well as *extrinsic factors* due to interaction of human body *bio-sphere* B(H) with life-sphere L(H) components *E(H)* and S(H). Here, the aim is to investigate effects from either *holistic factors* in human body *bio-sphere* B(H), e.g. sex (male, female), age class (child, adolescent, adult, old-age), outcome of pregnancy (abortions, still-births, full children), or from E(H)• {O|Z}, i.e. factors associated with living-nature cohabitation, civilization, and geography, or from S(H)• {O|Z}, in particular from factors associated with *economic opportunities*, e.g. life base requirements, occupational productivity for living, welfare system participation, and from factors associated with *social embedding*, e.g. family and close friends, residential neighborhood, workplace team-mates, leisure-activity mates, community life participation.

Studying impact from human body's world outside is also a step towards a comprehensive understanding of human health in different life-settings and in different populations.

4 Discussion

Kybernetic Modeling of System Dynamics: The ingredients of any modeling of a system's dynamics are interactive components, structure of inter-component relations, and driving forces; these are seen in human body at all scales, and in society at different scales as well, specifically in interpersonal relations as much as in inter-institutional relations. The kybernetic paradigm provides the key in its separation of functional organization and material realization, at every scale or functional level and across scale levels.

Complex adaptive systems (*CAS*) ([9]) with highly interwoven feed-back across several scales can still pose unsurmountable problems [10]. Then, a coherent multi-scale built-up of hierarchically nested functional levels, each decomposed into logical units, provides the necessary functional modeling concept for application of the kybernetic paradigm: Systems of differential equations, possibly with stochastic components, can be set up within every functional level and then coupled between functional levels for coherent control from top to bottom. (An alternative may be large-scale simulations, also called *in-silico experimentation*, that are used in a*gent-based modeling* (*ABM*), cf. [11]: study of effects of intervention strategies is then based on assumed structures of relations and approximate dynamics of energy transfers between interactive components as the *agents*.) In the present exposition, the "top scale" is in focus: modeling interactions between whole human-body system (wHBS) and its surroundings, with an emphasis on society, can be based on an understanding of person's behavior as wHBS operations that emerge from interaction of a wHBS's three functional groups, vital functions, productivity functions and operational (management and control) functions.

This approach focuses on a single person's body system and treats society and environment as adjuncts. See [12] for an approach that considers human body bio-sphere and its life-sphere surroundings at equal level, each an automaton jointly coupled in a loop, while here a person-member's impact on the social group is not developed. Gilles?

Health Impact of Social Groups: An "ecosocial view of health" was advocated in [13]. Integrative systems approaches "from gene to society" have been advocated in [14]. In distinction from [15] as well, genetic aspects were not considered here, as this would involve the cellular system, body's material component, and so lead away from the kybernetic focus.

The ways in which persons are embedded in social groups, informal or formal, e.g. organizations, will then be important for the impact of a person's socio-sphere on its body system [14]. For upper-scale, society-level mathematical modeling of organizational behavior and pertinent management processes, cf. [16-20].

For *obesity*, genetics, behaviors and preferences (type of food and size of portions, physical activity), access to information, education to understand information, employment and earned income, neighborhood access to low-caloric food and advertisement of healthy food, availability of healthy food in canteens (schools, work places), regulation of market access of unhealthy food and food supplements, all play a role [21]. One may conclude, that obesity is a *disease of society* that affects subsystems with pertinent propensity and expresses itself in individuals.

Social interaction in networks appeared as a predominant factor in a 32-years follow-up on obesity in a Framingham Heart Study cohort [22] stronger than genetics. It then seems that distinct wide-spread preferences, fashion, advertising, shows and mass events shape imagination and create "needs" along all technically available channels - the easier to access and cheaper to get, the more in use - for large parts of the population. This partly motivated the set point choice in the social feedback loop of Fig. 4.

Cognitive Brain Function: For the power of dynamic models in cognition and learning, see [23]. Upward *and* downward causation in a context of multi-level systems is a relevant issue from a mid-level viewpoint [24]: a stochastic population model is used to explain neural dynamics "from perception to behavioral activity" [25]. See [26-27] for integrative multi-scale views on neural activity.

Viewing human brain then as a complex system of dynamically interacting parts, lets those dynamics refer to energy transfers along dedicated anatomical structures. Current work in *cognitive neurodynamics* [28] with its ramifications into 'guided' learning or social interaction and 'framed' decision making in *human-machine interaction* or *consumer behavior*, all seem to be based on this understanding more or less explicitly; common labels are *neuro-economics* [29], [30], *neuro-marketing* or *neuro-consumer research* [31], and *neuro-ergonomics* [32].

When anatomical structures of human brain could however be assumed to *cooperate dynamically* in fulfillment of a task, parts will not be dedicated for the entire process of problem solving, anymore. Such *dynamic assignment* of operational brain resources would make human brain an a*daptive complex system* (*ACS*) of neuroanatomic structures for variable *cooperation by demand*; such conceptual understanding of human mind as a "society of agents" and their cooperation in different constellations for functional task-solving is indicated in [33] with further references, see also [34] for recent evidence. Developing dynamic models of brain activity with life-sphere impact will then become a very challenging endeavor.

Patterns of Neuro-activity: To mention only a few works from the bulk of literature that can be used to illustrate *invariance*, *interaction* and *impact* regarding human-body system operational function group in the line of Section 3: See [35-36], [37], [38] for *invariance* regarding conflicts, stress, complexity overload. See [39] for an eco-sphere *impact*, when regarding architecture. For examples of socio-sphere *impact*, see [40], [41]; [42]; [43] for regarding gambling outcome evaluation / sense for fairness; trust; motivationability by monetary rewards; respectively; see [44] for social distance and see [45] for buying behavior.

For cognitive performance in interactive *human-machine environment*, a research field of neuroergonomics, *s*ee [46-47], with [48] for temporal variation of cognitive task load, [49] for performance degradation and breakdown.

See [50] for a recent discussion of neuro-confounding in predictive modeling.

Literature

[1] Wiener, N.: *Cybernetics or Control and Information in the Animal and the Machine.* Massachussetts Institute of Technology, Boston, 1961.

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

[3] 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.

[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] Clark, A.; Chalmers, D.J.: The extended mind. *Analysis* 58(1):7-19, 1998.

[8] *Hill, A.B.: The environment and disease: association or causation?. Proc Roy Soc Med 58(5):295–300, 1965.*

[9] Carley, K.M.: Computational organization science: A new frontier. *Proc Natl Acad Sci USA* 99 (suppl. 3):7257–7262, 2002.

[10] Lansing, J.S.: Complex adaptive systems. *Annu Rev Anthropol* 32:183-204, 2003.

[11] Tesfatsion, L.: Economic agents and markets as emergent phenomena. *Proc Natl Acad Sci USA* 99 (suppl. 3):7191-7192, 2002.

[12] 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.
[13] Levins, R.; Lopez, C.: Towards an ecosocial view of health. *Int J Health Serv* 29:261-293, 1999.
[14] Diez Roux, A.V.: Integrating social and biological factors in health research: A systems view. *Ann Epidemiol* 17: 569-574, 2007.
[15] Rea, T.J.; Brown, C.M.; Sing, C.F.: Complex adaptive systems models and the genetic analysis of plasma HDL-cholesterol concentration. *Perspect Biol Med* 49:490-503, 2006.
[16] Burkov, V.N.; Goubko, M.; Korgin, N.; Novikov, D.: *Introduction to Theory of Control in Organizations*. CRC Press, 2015. ISBN 978-1-4987-1423-5
[17] Novikov, D.A.; Chkhartishvili, A.G.: *Reflexion and Control: Mathematical Models*. CRC Press, 2014. ISBN 978-1-1380-2473-1
[18] Burkov, V.N.; Goubko, M.V.; Korgin, N.A.; Novikov, D.A.: Mechanisms of Organizational Behavior Control: A Survey. *Adv Syst Sci Appl* 13(1):1-13, 2013.
[19] Burkov, V.N.; Goubko, M.V.; Korgin, N.A.; Novikov, D.A.: Integrated Mechanisms of Organizational Behavior Control. *Adv Syst Sci Appl* 13(2):1-9, 2013.
[20] Ashimov, A.A.; Sultanov, B.T.; Adilov, Z.M.; Borovskiy, Y.V.; Novikov, D.A.; Nizhegorodtsev, R.M.; Ashimov, A.A.: *Macroeconomic Analysis and Economic Policy Based on Parametric Control.* Springer, 2012. ISBN 978-1-4614-1152-9.
[21] Galea, S.; Riddle, M.; Kaplan, G.A.: Causal thinking and complex systems approaches in epidemiology. *Int J Epidemiol* 39:97-106, 2010.
[22] Christakis, N.A., Fowler, J.H.: The spread of obesity in a large social network over 32 years. *New Engl J Med* 357, 370-379, 2007.
[23] Thelen, E.; Smith, L.B.: *A Dynamic Systems Approach to the Development of Cognition and Action.* 1st Paperback ed. The MIT Press, Cambridge, Massachussetts, 1996. ISBN:978-0-262-70059-7
[24] Liljenström, H.: Mesoscopic brain dynamics. *Scholarpedia* 7(9):4601,2012.
[25] Nazir, A.-H.; Liljenström, H.: Neurodynamics of Decision-Making – A Computational Approach. In: *Advances in Cognitive Neurodynamics (V)*. Ed. by Wang, R.; Pan, X.; Springer Science+Business Media Singapore, pp. 41-47, 2016.
[26] Liljenström, H.: Chapter 16: Multi-scale causation in brain dynamics. In: *Cognitive Phase Transitions in the Cerebral Cortex –Enhancing the Neuron Doctrine by Modeling Neural Fields*. Ed. by R. Kozma, W. J. Freeman; Springer Series Studies in Systems, Decision and Control 39, pp. 177-186, 2016.
[27] Liljenström, H.; Svedin, U.: *Micro, Meso, Macro: Addressing Complex Systems Couplings*. World Scientific, 2005.
[28] Wang, R.; Pan, X. (eds.): *Advances in Cognitive Neurodynamics (V)*. Springer Science+Business Media, Singapore, 2016.
[29] Kenning, P.; Plassmann, H.; Deppe, M.; Kugel, H.; Schwindt, W. (eds.): 2nd Conference on Neuro Economics - ConNEcs 2004, 2527 May 2004, Münster, Germany. *Brain Res Bulletin* 67(5):341-442, 2005.
[30] The Society for Neuroeconomics, Neuroscience – Psychology – Economics. *Abstracts of the 14th Annual Meeting of the Society for Neuroeconomics, SNE-2016, 28-30 August 2016, Berlin, Germany*. AbstractBookSNE2016.pdf http://www.neuroeconomics.org/past-conferences/ , 2016.
[31] Hubert, M.; Kenning, P.: A current overview of consumer neuroscience. *J Consumer Behav* 7:272-292, 2008.
[32] Mehta, R.K.; Parasuraman, R.: Neuroergonomics: a review of applications to physical and cognitive work. *Frontiers Human Neurosci* 7:889, 2013.
[33] Varela, F.J.; Thompson, E.; Rosch, E.: *The Embodied Mind. Cognitive Science and Human Experience*. The MIT Press, Cambridge, Massachussetts, 1991.
[34] O'Neill, G.C.; Tewarie, P.K.; Colclough, G.L.; Gascoyne, L.E.; Hunt, B.A.E.; Morris, P.G.; Woolrich, M.W.; Brookes, M.J.: Measurement of dynamic task related functional networks using MEG. *NeuroImage* 146:667678, 2017.
[35] Ye, Z.; Zhou, X.-L.: Executive control in language processing. *Neurosci & Biobehavior Rev* 33(8):1168–1177, 2009.
[36] Ye, Z.; Zhou, X.-L.: Conflict control during sentence comprehension: fMRI evidence. *NeuroImage* 48(1): 280-290, 2009. DOI:10.1016/j.neuroimage.2009.06.032
[37] Vinkers, C.H.; Zorn, J.V.; Cornelisse, S.; Koot, S.; Houtepen, L.C.; Olivier, B.; Verster, J.C.; Kahn, R.S.; Boks, M.P.M.; Kalenscher, T.: Time-dependent changes in altruistic punishment following stress. *Psychoneuroendocrinol* 38(9):1467-1475, 2013.

[38] Wang, Q.-Z.; Meng, L.; Liu, M.-L.; Wang, Q.; Ma, Q.-G.: How do social-based cues influence consumers' online purchase decisions? An event-related potential study. *Electronic Commerce Res* 16(1):1-26, 2016.
[39] Ma, Q.-G.; Hu, L.-F.; Wang, X.-Y.: Emotion and novelty processing in an implicit aesthetic experience of architectures: Evidence from an event-related potential study. *NeuroReport* 26(5):279-284, 2015.
[40] Leng, Y.; Zhou, X.-L.: Modulation of the brain activity in outcome evaluation by interpersonal relationship: An ERP study. *Neuropsychologia* 48(2):448–455, 2010.
[41] Ma, Q.-G.; Meng, L.; Zhang, Z.-X.; Xu, Q.; Wang, Y.; Shen, Q.: You did not mean it: Perceived good intentions alleviate sense of unfairness. *Int J Psychophysiol* 96(3):183-190, 2015.
[42] Riedl, R.; Hubert, M.; Kenning, P.: Are there neural gender differences in online trust? An fMRI study on the perceived trustworthiness of ebay offers. *MIS Quarterly* 34(2):397-428, 2010.
[43] Ma, Q.-G.; Meng, L.; Wang, L.; Shen, Q.: I endeavor to make it: effort increases valuation of subsequent monetary reward. *Behaviour Brain Res* 261(1):1-7, 2014.
[44] Strombach, T.; Jin, J.; Kenning, P.; Weber, B.; Shen, Q.; Ma, Q.–G.; Kalenscher, T.: Charity begins at home: Cultural differences in social discounting and generosity. *J Behavior Decis Making* 27(3):235-245, 2014.
[45] Dohmen, T.; Falk, A.; Fliessbach, K.; Sunde, U.; Weber B.: Relative versus absolute income, joy of winning, and gender: Brain imaging evidence. *J Public Economics* 95(34):279-285, 2011.
[46] Yin, Z.; Zhang, J.-H.; Wang, R.-B.: Neurophysiological feature-based detection of mental workload by ensemble support vector machines. In: *Advances in Cognitive Neurodynamics (V)*. Ed. by Wang, R.; Pan, X.; Springer Science+Business Media Singapore, pp. 469-475, 2016.
[47] Xia, J.-J.; Zhang, J.-H.; Wang, R.-B.; Modeling of adapative human-machine systems based on fuzzy inference Petri nets. In: *Advances in Cognitive Neurodynamics (V)*. Ed. by Wang, R.; Pan, X.; Springer Science+Business Media, Singapore, pp.493-499, 2016.
[48] Zhang, J.-H.; Yin, Z.; Wang, R.-B.: Pattern classification of instantaneous cognitive task-load through GMM clustering, Laplacian eigenmap and ensemble SVMs. *IEEE/ACM Transactions on Computational Biology and Bioinformatics* PP(99):1-1, 2016.
[49] Zhang, J.; Yin, Z.; Wang, R.: Recognition of mental workload levels under complex human-machine collaboration by using physiological features and adaptive support vector machines. *IEEE Trans Human-Machine Syst* 45(2):200-214, 2015.
[50] Rao, A.; Monteiro, J.M.; Mourao-Miranda, J.; Alzheimer's Disease Initiative: Predictive modelling using neuroimaging data in the presence of confounds. *NeuroImage* 150:2349, 2017.

ПРОБЛЕМЫ ФОРМИРОВАНИЯ РЕГИОНАЛЬНОЙ НАУЧНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ РАЗВИВАЮЩЕЙ СРЕДЫ В СФЕРЕ НАУКИ, ТЕХНИКИ И ТЕХНОЛОГИЙ

Г.В. Акопов[1], Л.Е. Загребова[2], З.Ф. Камальдинова[3], Д.Е. Овчинников[4], С.А. Пиявский[3], С.В. Смирнов[5], В.Ю. Шаврин[3]

[1]Самарский государственный социально-педагогический университет
443099, г. Самара, ул. Максима Горького, 65/67
rectorat@sgspu.ru,
тел: +7 (846) 207-44-00

[2]Министерство образования и науки Самарской области
443099, г. Самара, ул. А. Толстого, 38/16
main@samara.edu.ru
тел: +7(846) 332-11-07, факс: (846) 332-04-59

[3]Самарский государственный технический университет
443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244.
postman@samgtu.ru
+7 (846) 242-36-91, (846) 278-43-11

[4]Администрации Губернатора Самарской области
443006, Молодогвардейская, 210
apparat@samregion.ru
Тел: +7(846) 332-81-89, факс: +7(846) 332-81-89

[5]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: *региональная образовательная среда, творческая молодежь, математическое моделирование, психологическая поддержка, фактографические базы данных*

Abstract
The priority directions of the development of the regional scientific and educational developing environment in the sphere of science, technology and technologies created in the Samara region are considered. They include mathematical modeling of the individual optimal structure of research activities of young researchers, the organization of their interdisciplinary search activity and the formation of interdisciplinary research teams of different ages, the integrated use of psychological techniques.

Привлечение творчески одаренной молодежи к занятиям научно-исследовательской деятельностью является приоритетным направлением образовательного процесса. С одаренными детьми работают вузы, гимназии, лицеи, многие продвинутые школы, центры дополнительного образования, в которых занимаются проектно-исследовательской деятельностью. Школьники и студенты под руководством ученых вузов успешно участвуют во Всероссийских и Международных научных конференциях, чтениях, конкурсах и других мероприятиях.

В то же время ведется поиск новых, более эффективных форм и методы выявления и развития творчески одаренной молодежи, отраженных, в частности, в «Концепции общенациональной системы выявления и развития молодых талантов», утвержденной Президентом Российской Федерации 03.04.2012. г. и Постановлении Правительства РФ от17.11.2015 №1239

«Об утверждении Правил выявления детей, проявивших выдающиеся способности, сопровождения и мониторинга их дальнейшего развития».

В Самарской области при активном участии Администрации Губернатора, Министерства науки и образования, а также ряда ведущих университетов и научных организаций разработана Концепция создания Единой Самарской областной системы мер по выявлению и развитию творчески одаренной молодежи в сфере науки, техники и технологий и инновационному развитию Самарской области (далее – ЕСМ), утвержденная председателем Координационного совета по работе с одаренной молодежью в сфере науки и техники при Администрации Губернатора Самарской области 27 января 2016 года.

Цель Концепции - повышение, на основе системной интеграции, эффективности функционирующих в Самарской области и новых механизмов выявления, развития и поддержки творчески одаренной молодежи, ее привлечения к решению задач социально-экономического, научно-технического и инновационного развития региона.

Описание основного содержания Концепции и хода работ по её реализации достаточно полно представлено в [1-2]. В настоящей статье рассматриваются ближайшие перспективы реализации наукоемкого функционала региональной научно-образовательной среды, который позволит перейти от простого обеспечения эффективного функционирования и взаимодействия отдельных акторов к целенаправленному моделированию и управлению их взаимодействием с тем, чтобы обеспечить наиболее эффективное достижение целей Концепции.

Этот функционал основывается на математическом моделировании процессов оптимального управления развитием научных способностей молодежи.

Теоретические основы соответствующей технологии были заложены в конце 90-х годов прошлого века С.А. Пиявским [3-5]. Они предусматривают формализованное описание процесса развития научных способностей как управляемой динамической системы в 37-ми мерном фазовом пространстве, координатами которого, являются взаимосвязанные компоненты научных способностей и мотивация развивающейся личности. В качестве управлений выступают отдельные составляющие методической структуры деятельности развивающейся личности и её научного руководителя. Критерий оптимальности носит векторный характер и включает отдельные компоненты желаемой структуры творческого профиля развивающейся личности на конечный момент управления. При этом существенную роль играют методы определения коэффициентов предложенной модели, а также разработки таких алгоритмов формирования оптимального решения, которые были бы приемлемы для реального воплощения при организации работы с творчески одаренной молодежью в сфере науки и техники.

За прошедший период предложенный подход получил признание научной общественности и практиков, что нашло отражение в успешных защитах одной докторской и 5-ти кандидатских диссертаций, публикациях в научной печати, докладов на ряде Международных и Всероссийских конференциях. С 2008 года подход успешно применяется на факультете информационных систем и технологий Самарского государственного архитектурно-строительного университета и привел к подтвержденным положительным результатам. С 2015 года на его основе началась создание Единой Самарской областной системы мер по выявлению и развитию творчески одаренной молодежи в сфере науки, техники и технологий и инновационному развитию Самарской области (далее - ЕСМ). Значительное увеличение масштабов применения потребовало развития фундаментальных основ подхода.

Это требует системного подхода к его организации.

Цель состоит в том, чтобы разработать и экспериментально внедрить фундаментальные основы новой информационной технологии управляемого развития научными способностями молодежи в региональной инфокоммуникационной научно-образовательной развивающей среде.

Для достижения этой цели необходимо решить целый ряд взаимосвязанных задач:

1) Разработать математические модели управляемого развития научных способностей молодежи в процессе её исследовательской деятельности (далее - ММ).
2) Исследовать на основе ММ закономерностей оптимального формирования научных способностей молодежи в процессе исследовательской деятельности.
3) Разработать новый метод формирования оптимальных стратегий развития научных способностей молодёжи на основе математического моделирования и векторного подхода к целевым результатам.
4) Разработать для использования в ММ комплексные методы поиска, поиска в различных источниках, дезагрегирования, хранения в фактографической базе данных и синтеза информации, характеризующей содержание и результаты исследовательской деятельности молодежи на протяжении длительного периода.
5) Разработать понятийный аппарат и методы оценки коэффициентов соответствующей математической модели на основе результатов психологических исследований и измерений, а также обработки автоматически собираемой всесторонней информации о деятельности молодых исследований.
6) Разработать методы критериальной оценки степени оптимальности стратегий формирования научных способностей с учетом векторного характера оценки научных способностей.
7) Разработать системные основы и основные проектные решения по региональной инфокоммуникационной развивающей научно-образовательной среде творчески одаренной молодежи в сфере науки, техники и технологий.
8) Разработать системные основы и основные проектные решения по целостной информационной технологии управляемого развития научных способностей молодежи в региональной инфокоммуникационной развивающей научно-образовательной среде на основе ММ.
9) Осуществить экспериментальное внедрение отдельных полученных результатов и целостный информационной технологии в рамках Самарской областной системы мер по выявлению и развитию творчески одаренной молодежи в сфере науки, техники и технологий и инновационному развитию Самарской области.
10) Провести широкую апробацию результатов исследований и разработать предложения по их развитию и распространению в других регионах страны.

Методами, используемыми для решения этих задач должны стать:

1) Компьютерное моделирование процессов развития научных способностей молодежи как задачи оптимального управления для управляемой динамической системы, описываемой системой обыкновенных дифференциальных уравнений охватывающей все функции и уровни научной деятельности.
2) Метод формирования оптимальной стратегии управления научной деятельностью молодого исследователя на основе компьютерного моделирования с учётом векторного характера целей моделирования.
3) Методы определения коэффициентов ММ на основе анализа автоматически сформированных данных о содержании и результатах деятельности молодого исследователя, результатах психологических наблюдений за ним и измерений.
4) Методы формирования и использования фактографических баз данных для наполнения содержанием и результатами исследовательской деятельности молодежи на протяжении длительного периода [6 - 8].
5) Методы принятия решений в условиях векторной оценки целей управления.

Можно предложить следующую структуру проекта.

Мероприятие 1. Если до настоящего времени использовалась упрощенная десятимерная математическая модель (М10), а в качестве её коэффициентов применялись типовые коэффициенты, рассчитанные на основе обобщенных статистических данных, то в связи с созданием ЕСМ потребовалось перейти к полной 37-ми мерной модели (М37) и существенно повысить достоверность определения коэффициентов индивидуально для каждой развив личности и на

этой основе создать совершенно новую инфокоммуникационную технологию и региональную развивающую научно-образовательную среду в Самарской области. Разработать математические модели управляемого развития научных способностей молодежи в процессе её исследовательской деятельности (далее - ММ):

- провести анализ современного состояния использования математического моделирования по тематике проекта, разработать базовые версии математических моделей для 10 и 37 – мерного фазового пространства;
- реализовать программное обеспечение на языке высокого уровня для М10 и М37;
- совершенствовать модели на основе опыта их использования. Подготовить и направить публикации в научные издания, доложить на Всероссийских и Международных конференциях.

Мероприятие 2. Исследовать на основе ММ закономерностей оптимального формирования научных способностей молодежи в процессе исследовательской деятельности.

- Аналитически исследовать качественные особенности отдельных подпроцессов в М10 и М37.
- Используя разработанное программное обеспечение начать моделирование качественных закономерностей формирования научных способностей молодежи разрабатывая требования к шкалам коэффициентов модели.
- Совершенствовать модели на основе опыта их использования.

Мероприятие 3.Разработать новый метод формирования оптимальных стратегий развития научных способностей молодёжи на основе математического моделирования и векторного подхода к целевым результатам.

- Провести анализ современного состояния методов решения задач оптимизации управления динамическими системами большой размерности. Разработать метод формирования оптимальных стратегий для М10 и М37.
- Реализовать программное обеспечение для разработанного метода формирования оптимальных стратегий для М10 и М37.
- Подключить к М37 блоки формирования коэффициентов и принятия многокритериальных решений. В экспериментальном порядке использовать М37 для формирования оптимальной структуры исследовательской деятельности нескольких десятков ведущих членов Губернаторского реестра творчески одаренной молодежи Самарской области в сфере науки и техники.

Мероприятие 4. Разработать для использования в ММ комплексные методы поиска, поиска в различных источниках, дезагрегирования, хранения в фактографической базе данных и синтеза информации, характеризующей содержание и результаты исследовательской деятельности молодежи на протяжении длительного периода.

- Провести анализ источников информации о содержании исследовательской деятельности научной молодежи, разработать математическую модель и алгоритм формирования фактографической базы данных для сбора, дезагрегирования и хранения соответствующей информации.
- Реализовать алгоритм и программное обеспечение синтез фактографической информации из баз данных в форматах требуемых для формирования коэффициентов М10 и М37.
- Подключить к М37 блок формирования коэффициентов. Участвовать в формирование на основе М37 для формирования оптимальной структуры исследовательской деятельности нескольких десятков ведущих членов Губернаторского реестра творчески одаренной молодежи Самарской области в сфере науки и техники.

Мероприятие 5. Разработать понятийный аппарат и методы оценки коэффициентов соответствующей математической модели на основе результатов психологических исследований и

измерений, а также обработки автоматически собираемой всесторонней информации о деятельности молодых исследований [9 - 16]:

- провести анализ источников который может быть использованы для формирования коэффициентов математической модели. Разработать форматы информации запрашиваемые от фактографических баз данных;
- разработать целостную методику формирования коэффициентов М10 м 32 и реализовать необходимое для нее программное обеспечение;
- подключить к М37 блоки формирования коэффициентов. Участвовать в формирование на основе М37 для формирования оптимальной структуры исследовательской деятельности нескольких десятков ведущих членов Губернаторского реестра творчески одаренной молодежи Самарской области в сфере науки и техники.

Мероприятие 6. Разработать методы критериальной оценки степени оптимальности стратегий формирования научных способностей с учетом векторного характера оценки научных способностей:

- провести анализ современного состояния методов генерирования вариантов решений в задачах в которых множественные стратегии описываются непрерывными математическими моделями и принятием наиболее рациональных (оптимальных) решений в условиях многокритериальной оценки альтернатив. Разработать метод принятия решений при формировании оптимальной стратегий развития научных способностей существенно учитывающий наличие 37 критериев и неопределённость и многообразие последующей научной деятельности молодых ученых и соответствующие требование к структуре их научной квалификации;
- разработка методики принятия решений при формировании оптимальной стратегии управления структурой деятельности молодых исследователей предусмотренных ею математических моделей и алгоритмов. Тестирование разрабатываемых моделей и алгоритмов на модели М10;
- Реализация разработанных алгоритмов в виде простого блока обеспечения принятия решений. Подключение блока принят решений к М37. Участие в формировании оптимальной структуры исследовательской деятельности нескольких десятков ведущих членов Губернаторского реестра творчески одаренной молодежи Самарской области в сфере науки и техники. Подготовить и направить публикации в научные издания, доложить на Всероссийских и Международных конференциях

Мероприятие 7. Разработать системные основы и основные проектные решения по региональной инфокоммуникационной развивающей научно-образовательной среде творчески одаренной молодежи в сфере науки, техники и технологий (системный и организационно-методический аспект) ([17 - 18]).

- Разработать системные основы и основные проектные решения по е включению результатов проекта в формируемую ЕСМ
- Тестирование материалов разработанных п. 1-6 на реальных данных и процессах существующей ЕСМ
- Разработка научно-методических, организационно-методических и нормативных документов, обеспечивающих включение результатов проекта в ЕСМ. Подготовить и направить публикации в научные издания, доложить на Всероссийских и Международных конференциях

Мероприятие 8. Разработать системные основы и основные проектные решения по целостной информационной технологии управляемого развития научных способностей молодежи в региональной инфокоммуникационной развивающей научно-образовательной среде на основе ММ (инфокоммуникационный аспект)

- Разработать системные основы и основные проектные решения по целостной информационной технологии управляемого развития научных способностей молодежи в региональной инфокоммуникационной развивающей научно-образовательной среде на основе ММ (инфокоммуникационный аспект)
- Тестирование материалов разработанных п. 1-6 на реальных данных и процессах существующей ЕСМ
- Разработка научно-методических, организационно-методических и нормативных документов, обеспечивающих включение результатов проекта в ЕСМ. Подготовить и направить публикации в научные издания, доложить на Всероссийских и Международных конференциях

Мероприятие 9. Осуществить экспериментальное внедрение отдельных полученных результатов и целостный информационной технологии в рамках Самарской областной системы мер по выявлению и развитию творчески одаренной молодежи в сфере науки, техники и технологий и инновационному развитию Самарской области.

- Использовать отдельные результаты п. 1-8 частично, в отдельных элементах единой образовательной среды
- Расширить использование отдельные результаты п. 1-8 частично, в отдельных элементах единой образовательной среды, стремясь формировать целостные фрагменты. Обобщить опыт использования результатов и обосновать целостную оценку эффективности проекта и отдельных его частей. Подготовить и направить публикации в научные издания, доложить на Всероссийских и Международных конференциях

Мероприятие 10. Провести широкую апробацию результатов исследований и разработать предложения по их развитию и распространению в других регионах страны.

- Представить результаты исследований на Всероссийских и Международных конференциях. Формировать коллективы заинтересованные в использовании результатов в других регионах страны
- Представить результаты исследований на Всероссийских и Международных конференциях. Формировать коллективы заинтересованные в использовании результатов в других регионах страны и за рубежом. Подготовить первую редакции двух докторских и двух кандидатских диссертаций.

Результаты предлагаемого проекта найдут немедленное применение в рамках ЕСМ и вместе с распространением опыта ЕСМ получат внедрение как теоретическая основа создания соответствующей научно-образовательной инфокоммуникационной развивающей среды.

К основным из них можно отнести следующие:

1) Теория оптимального управления развитием научных способностей молодёжи в региональной инфокоммуникационной научно-образовательной развивающей среде. Основана на оригинальной системе математических моделей, включающих систему обыкновенных дифференциальных уравнений, которые описывают управляемый процесс формирования 36 отдельных исследовательских компетенций по различным функциям и уровням исследовательской деятельности, а также мотивации личности. Включает методику формирования коэффициентов моделей, отражающих различные стороны личности молодого исследователя на основе синтеза выявленной из различных источников информации о содержании его научной деятельности в различные периоды, а также результатов психологических наблюдений и исследований в отношении него. Включает блок формирования набора рациональных стратегий деятельности, определяющих развитие научных способностей, и блок принятия решений по выбору наиболее рациональной стратегии с учетом разнообразия требований и возможных обстоятельств последующей научной деятельности личности. Теория не имеет аналогов в стране и за рубежом.
2) Специализированное информационное программное обеспечение – комплекс взаимоувязанных баз данных, алгоритмов и программ обеспечивающих реализацию всех составных

элементов разработанной теории оптимального управления развитием научных способностей молодёжи в региональной инфокоммуникационной научно-образовательной развивающей среде. Обеспечение не имеет аналогов в стране и за рубежом.

3) Информационная технология управляемого развития научными способностями молодежи в региональной инфокоммуникационной научно-образовательной развивающей среде включающая совокупность системных разработок основных проектных решений, методик, организационно-методическую и нормативную документацию, опирающиеся на разработанную в проекте теорию и специальное программное и информационное обеспечение. Информационная технология не имеет аналогов в стране и за рубежом.
4) Повышение качества человеческого потенциала Самарской области в сфере науки, техники и технологий за счет использования результатов проекта в Самарской областной системе мер по выявлению и развитию творчески одаренной молодежи в сфере науки, техники и технологий и инновационному развитию Самарской области.

Для Самарской области потенциальные возможности использования предлагаемого проекта состоит в том, что он дает фундаментальные основы и наукоемкое наполнение формирующейся в настоящее время, в соответствии с постановлениями Губернатора Самарской области, приказами министерства образования и науки Самарской области, решениями совета ректоров вузов Самарской области Единой Самарской областной системы мер по выявлению и развитию творчески одаренной молодежи в сфере науки, техники и технологий и инновационному развитию Самарской области.

Использование результатов проекта в этой системе позволит перейти от эмпирически принимаемых решений к научно-обоснованным оптимальным решениям, использующим максимально доступную информацию и мощные средства ее интеллектуальной обработки. В работе с одаренной научной молодежью в Самарской области такой проект выполняется впервые и по степени использования математических методов и интеллектуальных информационных технологий не имеет аналогов.

Список литературы

[1] Овчинников Д.Е., Загребова Л.Е., Бальзанников М.И., Пиявский С.А., Акопов Г.В., Смирнов С.В., Шаталов Р.Б., Глушков А.А. Концепция развития творческого потенциала Самарской области. Проблемы управления и развития Самарской области, Труды научно-практической конференции (20-25 сентября 2016 г., г.Самара, Россия). Самара: АНО «Совет по вопросам управления и развития Самарской области»: ООО «ОФОРТ», 2016 - с.36 – 45

[2] Пиявский С.А., Камальдинова З.Ф., Козлов В.В., Нудельман Ю.И., Шаталов Р.Б., Савельева Г.П., Федорова Е.А. Мониторинг взаимодействия университетов с общеобразовательными учреждениями при работе с одаренной молодежью. Высшее образование в России» №1, 2013 г. - с. 116-121.

[3] Пиявский С.А. Управляемое развитие научных способностей молодежи. - М.: Академия наук о Земле, 2001. - 109 с.

[4] С.А.Пиявский, Исследовательская деятельность студентов в инновационном вузе: учебник; СГАСУ. – Самара:2011 -198 с.

[5] Бальзанников М.И., Камальдинова З.Ф., Пиявский С.А. Упрощенная математическая модель формирования исследовательских компетенций студентов. Научное обозрение №7, 2015. – с.93-97

[6] Ворошилов В.В., Пиявский С.А. Математические модели оптимальной систематизации фактографической информации. Инфокоммуникационные технологии, №1, 2014 г. – с. 123-128

[7] Пиявский С.А., Ворошилов В.В., Елунин М.Н., Савельева Г.П.. Новые формы организации учебного процесса и планирования учебной нагрузки преподавателя, Альма-Матер (Вестник высшей школы). №2, 2014 – с.68-73

[8] Пиявский С.А., Ворошилов В.В.Технология поиска и систематизации фактографической информации в информационном пространстве. Научное обозрение. 2014. № 2. С. 167-175.

[9] Малышев В.В., Пиявский С.А. Метод «уверенных суждений» при выборе многокритериальных решений. Известия Российской Академии наук. Теория и системы управления №5. 2015 – с. 90-101

[10] Панов Д.В., Малышев В.В., Пиявский С.А., Ковков Д.В. Сравнительный многокритериальный анализ сложных технических и социальных систем в экономико-управленческом аспекте. МИР (Модернизация. Инновации. Развитие). 2016. Т. 7. № 2 (26). С. 74-83. ВАК
[11] Komarov VA, Piyavskiy SA. Intellectual data analysis in aircraft de-sign. CEUR Workshop Proceedings, 2016; 1638: 873-881. DOI: 10.18287/1613-0073-2016-1638-873-881 SCOPUS
[12] Пиявский, С.А. Как «нумеризовать» понятие «важнее» / С.А. Пиявский // Онтология проектирования. – 2016. – Т.6, №4(22). – С. 414-435. – DOI:10.18287/2223-9537-2016-6-4-414-435.
[13] Пиявский, С.А. Оптимизация обобщенных многоцелевых систем / С.А. Пиявский // Онтология проектирования. - 2015. - Т. 5, №4(18), – С. 411-428. DOI: 10.18287/2223-9537-2015-5-4-411-428.
[14] Malyshev V.V., Piyavsky S.A.The confident judgment method in the selection of multiple criteria solutions, Journal of Computer and Systems Sciences International, v54, #5, 2015 – p.754-764
[15] Пиявский, С.А. Прогрессивность многокритериальных альтернатив / С.А. Пиявский // Онтология проектирования. – 2013. - №4(10). – С. 53-59.
[16] Пиявский, С.А. Два новых понятия верхнего уровня в онтологии многокритериальной оптимизации / С.А. Пиявский // Онтология проектирования. – 2013. - №1(7). – С. 65-85.
[17] Бальзанников М.И., Пиявский С.А., Козлов В.В. Объединенная вузовская система научного консультирования индивидуальных проектов старшеклассников. Научное обозрение, №2, 2014. – с. 161-166
[18] Пиявский, С.А., Елунин М.Н. Информационная система организации, мониторинга и управления коллективной научной деятельностью студентов в вузе. Программные продукты и системы №1, 2014 – с. 208-211

КОНСЕНСУС КАК ФЕНОМЕН ИНТЕРСУБЪЕКТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ

М.Р. Арпентьева

Калужский государственный университет имени К.Э. Циолковского,
248023, Калуга, ул. Разина. д. 22/48, 1 корпус, Россия
mariam_rav@mail.ru
тел: +7 (953846) 313048-16

Ключевые слова: *посредничество; диалог; медиация; консенсус, переговоры, конфронтация*

Abstract

Relevance. Conflict resolution and relational problems of society and the individual, society and state in the modern world is a relevant, but still a challenging theoretical and practical problem: the complexity of human social life increases, we face new problems and phenomena, give rise to the need for new approaches to their review and decision. One of the most productive practices to meet the social challenges associated with achieving consensus. Theoretical foundations and research methods. Research method – theoretical analysis of the basic concepts and theories of the consensus. The basic concept of study-consensus can be defined as agreement on major issues in the absence of objections on material matters that come to the negotiating parties. The actors involved in the process of dialogue in counselling, mediation, management, etc. enter into Dialogic relations, the form and substance of which is often a negotiation between them. However, negotiation does not always reach the stage of consensus: develop a solution to satisfy all participants of a problem situation, its actors, and the choice of solutions that can be practically and theoretically, is successfully implemented and lead to necessary changes in actors, multi - level and multi-task with many "unknown". The theory of the negotiation process allows us to understand the internal aspects of the analysis of the process of finding consensus, however, it needs to be clarified specific ways (technology) and principles ("ideologies") that allows to reach consensus with practical value for actors , productivity, and efficiency against the solution. Ideological and technological justification for such an achievement, you can find into:1) the concepts of dialogue (subject-specific, personal meaningful and inclusive confrontation, aimed at a joint, optimal and parity solution) and its related concepts the concepts evergetics (intersubjective management) and the concepts of subjectivity (subjective relations) of the man and his life; 2) the concepts of consistency and the concept of all-unity with its related concepts the concept of the field interaction (field), which stresses the parallelism (identity, similarity or co-responsibility of the processes of interacting systems, help you understand and comprehend the turning points in this interaction) and hysteresis (the specificity of the response depending on the system state, the purposeful selectivity) internal and external forces operating in a complex system and on system and the concepts of foresight (taking into account the various components of the problem situation) Results. The integration of these concepts allows isolating external and internal conditions of achieving practically effective and productive solutions, speaking to the actors as an integrative solution-a consensus. Practical value. The practical significance of the development of the theory and practice of consensus building will allow substantially to optimize social relations, and adopted by the community and implemented in order to their own well-being and development solutions.

Введение

Разрешение конфликтов и проблем отношений общества и человека, общества и государства в современном мире представляет собой актуальную, но, по-прежнему, сложную теоретическую и практическую проблему: сложность социальной жизни человека все увеличивается, возникают все новые проблемы и феномены, рождающие необходимость новых подходов к их рассмотрению и решению. Одна из наиболее продуктивных практик решения современных социальных проблем связана с достижением консенсуса.

Метод исследования – теоретический анализ базовых понятий и теорий достижения консенсуса.

Основные понятия исследования: консенсус, дисенсус, конфронтация, диалог, коллаборация, ситуативная ассоциация.

Теоретическая база исследования: концепция эвергетики (интерсубъективного управления) В.А. Виттиха.

1 Общие понятия и теоретические основы исследования

Консенсус можно определить как согласие по основным вопросам при отсутствии возражений по существенным вопросам, к которому приходят участники переговоров. Акторы, участвующие в процессе диалога в консультировании, медиации, управлении и т.д. вступают в диалогические отношения, по форме и сути часто являющиеся переговорами между ними. Однако, диалог в его различных формах (переговоры, дискуссии, медиации и консультации, круглые столы и фокус-группы, иные формы работы временных или постоянных целенаправленно созданных или спонтанно возникших коллабораций (со-творческих ассоциаций), занятых решением той или иной проблемы) далеко не всегда достигает стадии консенсуса: выработка решения, удовлетворяющего всех участников проблемной ситуации, всех ее акторов, как и выбор решения, которое может быть практически и теоретически успешно реализовано и приведет к необходимым акторам изменениям, - многоуровневая и многокомпонентная задача со многими «неизвестными».

Диалог акторов включают как значимый компонент или полностью представляют собой коммуникативное (направленное на обмен информацией о себе, других, ситуации), перцептивное (направленное на изучение себя и другого, ситуации) и трансформирующее (направленное на преобразование себя, других, ситуации) взаимодействие нескольких лиц друг с другом для организации их совместной деятельности, направленной на поиск взаимоприемлемого решения, разработку более или менее детализированной программы ее разрешения (урегулирования) и управленческое вмешательство в проблемную ситуацию с цель ее преобразования, участие в трансформации проблемной ситуации и оценку успешности (продуктивности и эффективности) программы и трансформации - рефлексия результатов работы коллаборации [1]. Теории ведения диалога в форме переговорного процесса, дискуссии и т.д. позволяют понять внешние и некоторые внутренние аспекты анализа процесса нахождения консенсуса, однако, она нуждаются в уточнениях и систематизации системы конкретных путей (технологий) и принципов («идеологий»), позволяющих достигнуть консенсуса, обладающего практической ценностью для акторов , продуктивностью и эффективностью по отношению к решению проблемы.

Идеологическое и технологическое обоснование такого достижения можно найти в

- концепциях внешнего и внутреннего диалога (предметно-определенной, личностно значимой, персонифицированной и включенной конфронтации, направленной на совместное, оптимальное и паритетное решение), а также связанных с нею в рамках теории управления концепциях субъектности (субъектного, субъективного управления и отношения) человека и его жизнедеятельности и концепциях эвергетики (интерсубъективного управления)
- концепциях системности (целостности и сложности как многоровневости и многокомпонентности, самоорганизации и саморазвития, функциональной специфичности и взаимозаменяемости, полифункциональности) и полевого взаимодействия (нарушения и восстановления равновесия между объектом и средой, гармонии взаимодействия систем, в том числе - как полей или фрагментов полей), акцентирующих параллельность (идентичность, сходство или со-ответствие процессов взаимодействующих систем, помогающие осознать и осмыслить поворотные пункты в этом взаимодействии) и гистерезис (специфичность

ответа в зависимости от состояния системы, целенаправленная избирательность) внутренних и внешних сил, действующих в сложной системе и на систему, а также в концепциях форсайта (учета разнообразных компонентов проблемной ситуации, позволяющих строить не только краткосрочные, но и долгосрочные прогнозы и проекты развития человечества и той или иной части его бытия).

Интеграция данных концепций позволяет вычленить внешние и внутренние условия достижения практически эффективного и продуктивного решения, выступающего для акторов как интегративное решение-консенсус. Практическое значение разработки теории и практики достижения консенсуса связано с тем, что она позволит в существенной мере оптимизировать социальные отношения, а также принимаемые сообществом и реализуемые в целях собственного благополучия и развития, решений.

2 В поисках теории консенсуса: основные концепции и фрагменты теорий

2.1 Концепции диалога: интерсубъективное и субъективное управление в поисках консенсуса

Для достижения и развития взаимопонимания неоднородных акторов в процессе принятия решения о том, каким образом будет урегулирована проблемная ситуация, самими акторами можно применять технологии и идеи ряда теорий., в частности теории интерсубъективного управления, которая описывает как один из целевых процессов управления содействие сближению позиций [1]. Важным элементом теории интерсубъективного управления, разрабатываемой и/или поддерживаемой акторами в процессе организации взаимодействия, является ведение аргументированного дискурса, в основе которого лежит признание рациональности - способности к осознанию и осмыслению происходящего - акторов, стремящихся договориться и понимающих необходимость этого, как и необходимость поиска и реализации оптимального для ситуации и акторов решенияю Акторы находятся в состоянии со-присутствия, учатся воспринимать друг друга как равных, понимать себя, друг друга и ситуацию, свидетельствуя и утверждая или отрицая для себя, друг друга и мира те или иные аспекты ситуации, проявления личностного бытия и межличностного взаимодействия . Акторы также оказывают друг на друга воздействие, трансформируя понимания себя и мира, а также саму коммуникацию, реализуя свои ценностные позиции, способы понимания себя и мира, модель общения и поведения. Аргументированный дискурс помогает прийти к созданию единого смыслового пространства и к консенсусу по поводу смысла происходящего и направлений его преобразования, обнаружить и исследовать дисенсус, организовать и провести совестное исследование . как конфронтацию и совместное преобразование как трансформацию: на основе рефлексии имеющихся и «скрытых», невостребованных ранее знаний и умений, принять решение и отследить результаты внедрения данного решения о необходимом преобразовании ситуации /проблемы. Он включает целый ряд компонентов, позволяющих переговорам достичь стадии консенсуса. Отметим, что консенсус, как согласие по основным вопросам при отсутствии возражений по существенным вопросам, к которому приходят участники переговоров, является единственным приемлемым способом принятия решения группой акторов. Консенсус направлен на реализацию принципа «three better»: паритетность как равенство, принятие и безопасность, всеобщая включенность как субъектность, сплоченности и реальное участие, а также лучшее - продуктивное, эффективное и удовлетворяющее всех - решение, возникающее благодаря обсуждению разных, возможно, и противоположных, точек зрения [2]. Действительно, консенсус призван обеспечить наилучшее, признанное всеми участниками сообщества, решение, равный вклад всех участников в процесс принятия решения, поскольку они имеют одинаковую возможность внести или изъять предложение, дополнить его или трансформировать, наилучшие отношения в группе участников, которые стремятся к приемлемому для всех эффективному решению, используют компромисс и другие методы принятия консенсусных решений, стремясь к экономии ограниченных временных, финансовых и прочих ресурсов.

Очевидно, что важную роль в процессе формирования единого смыслового пространства членами интерсубъективного сообщества играют знания и умения акторов в сфере объединяющей - коммуникации, постигающей - перцепции и преобразующей - интеракции друг с другом, их владение основами компетентного общения и менеджмента коммуникаций и диалога в целом. Однако возможности устранения проблемной ситуации сегодня существенно ограничиваются не всегда высоким культурным уровнем населения, его деформированными ценностными ориентациями, нетерпимостью к чужим мнениям, наличием «субкультуры насилия», характерной для многих слоев населения, и рядом других обстоятельств, препятствующих организации и развитию коммуникаций, в том числе переговоров, в группе. Большинство людей из мира повседневности не имеет знаний и не обучено правилам участия в принятии решений, не обладает умениями ведения аргументированного дискурса. Они обладают слабой культурой общения, что не способствует выстраиванию позитивных и гармоничных отношений с окружающими. Коммуникативная компетентность и диалогическая компетентность в целом выступают как способность и готовность устанавливать и развивать значимые с личностной и профессиональной точек зрения контакты с другими людьми. Она, в большинстве случаев, в современном мире является достаточно слабым местом акторов, а значимость переговорных знаний и умений, по сути, зачастую игнорируется. Поэтому одним из важных шагов для акторов в их стремлении найти выход из проблемной ситуации является изучение особенностей переговоров и иных технологий интерсубъективного управления.

Человек, попавший в проблемную ситуацию, следуя логике переговорного процесса, стремится найти «сообщников» и инициирует процесс переговоров, т.к. осознает, что:

- он имеет общие интересы и ценности с другими акторами, оказавшимися в подобной проблемной ситуации;
- достижение взаимного понимания и соглашения более выгодно, чем другие альтернативы, из-за нехватки ресурсов у одного человека (иначе он, возможно, сам бы решил эту проблему);
- акторам нужно коммуницировать друг с другом, формируя единое смысловое пространство, в поисках удовлетворяющего всех решения.

Любые переговоры, дискуссии, фокус-группы и иные формы диалога как сотворческого решения проблем представляют собой сложное психологическое явление, связанное с особенностями людей, вступающих в переговоры, и особенностями отношений между этими людьми. Переговоры, дискуссии, фокус-группы и иные формы диалога предполагают знания и умения находить в диалоге с другими людьми взаимоприемлемые решения. Они включают подтверждающую,» соприсутствующую» перцепцию, взаимное преобразование и коммуникацию в целях достижения совместного решения [3], которое должно быть принято акторами, как членами самоорганизовавшейся для осмысления и преобразования проблемной ситуации группы, которая была названа В.А. Витихом и Т.В. Моисеевой ситуативной ассоциацией [4]. Переговоры, дискуссии, фокус-группы и иные формы диалога предстают как технологии восполнения недостающей информации и гармонизации отношений, урегулирования конфликтов и противоречивых пониманий, организации совместной деятельности акторов по поиску взаимоприемлемого решения проблем. Акторы понимают, что решение может быть принято только совместными усилиями, и изначально обладают пониманием важности, стремлением и готовностью к диалогу (в том числе, к обучению знаниям и умениям, необходимым в диалоге). Поэтому участники переговоров, дискуссий, фокус-групп и иных формы со-творческого диалога стремятся к дискурсивному единству, вырабатывая в процессе интерсубъективной коммуникации (а также перцепции и интеракции) общую «мораль», общие ценности и смыслы [5], разделяемые всеми участниками проблемной ситуации. Акторы, образующие ситуативные ассоциации, которые стремятся прийти к консенсусу, по сути, ведут переговоры друг с другом и с представителями различных сообществ и организаций, другими ассоциациями, а также с

представителями «мира систем», владеющими ресурсами, необходимыми для разрешения проблемной ситуации.

Стратегия разрешения проблем социальных отношений, направленная на достижение консенсуса, в контексте теории конфликта рассматривается как стратегия сотрудничества или стратегия компромисса: с одной стороны, консенсус предполагает выработку некоего удовлетворяющего основную часть нужд и потребностей акторов решения проблемы и потому может рассматриваться как «компромиссное» решение, если не принимаемое всеми, то хотя бы всеми не отвергаемое, однако, консенсус шире компромисса и предполагает поиск лучшего решения в атмосфере сотрудничества, преобразующей конфликт в конфронтацию. Компромисс является в процессе поиска консенсуса вспомогательным: это своего рода «незавершенный» консенсус. Компромисс формируется на основе дисенсуса: выявления противоречивых и несовпадающих интересов и структурирующих их ценностных позиций, способов понимания себя и мира, моделей общения и поведения акторов, их нужд и желаний. В процессе соотнесения данных разноречивых интересов, лежащих в их основе нужд и желаний, люди выбирают либо путь компромисса – примирения существующих интересов с более-менее частичной реализацией каждого из них, либо идут дальше –к творческой трансцендении. Для компромисса достаточно обозначить «ведущие интересы», наиболее «сильные голоса» ситуации, для консенсуса нужен дисенсус с его богатой палитрой – многоголосьем интересов.

Переговоры, дискуссии, фокус-группы и иные формы диалога, как построение общего смыслового пространства, как процесс достижения и реализации консенсуса, позволяют понять с кем, кто и о чем говорит. Они позволяют понять, что происходит на самом деле, понять как с этой реальностью, часто «спрятанной» прямо перед глазами обычного человека – потребителя и служителя бюрократической системы, нужно себя вести. Они позволяют превратить конфронтацию в компонент развития, компонент исследования ситуации и альтернатив ее преобразования. Решение проблемы означает способность, готовность и подчас даже риск говорить с другими людьми человеком, стремясь понять их (кто они), от собственного лица, то есть лица такого же, как они, человека: могущего ошибаться, стремящегося решать проблемы лучшим из известных ему способов, совершать поступки, отражающие его истинные жизненные цели (любовь к жизни, людям, миру). Принятие, понимание, конгруэнтность и конкретность – четыре практических условия успеха в отношениях людей, в том числе в «ситуативных ассоциациях». Эти четыре условия дают возможность понимания людьми друг друга, себя и мира, продуктивного и эффективного осмысления и преобразования проблемных ситуаций разного типа. Они позволяют преодолеть конфликт, использовав конфронтацию в целях развития сотрудничества и решения проблемы [6, 7].

В рамках концепции диалога важную роль в достижении внешнего и внутреннего консенсуса – консенсуса внутри группы играет соблюдение принципов коммуникации, перцепции и интерации, грамотное преобразование ситуаций конфронтации, аргументированный дискурс, признаками которого являются обращенность, персонифицированность и предметность. Эти аспекты являются предметом деловых игр и коучинга [11-13], в том числе в контексте медиации [8-10]. Целью и смыслом коучинга и медиации является трансформация ценностно-смысловой позиции акторов и принятие решений на основе этой новой, измененной позиции [14-16]. Суть трансформации – принятие и уважение, дающее возможность взаимопонимания и консенсуса. В достижении внешнего консенсуса, взаимопонимания между «ситуативными ассоциациями» и представителями управления (организацией, регионом, страной) важную роль играет конвент – совет, организующий сотрудничество ассоциации с «монолитными системами», регулирующий переговоры, дискуссии, фокус-группы и иные формы диалога и опирающийся на принципы нейтральности и оперативности, консенсуса и социальности [4, с. 55, 56].

Важно также отметить, что, помимо «вынужденности», ситуативные ассоциации формируются как ассоциации благотворительные, как ассоциации самопомощи и взаимопомощи в

контексте реализации идеологии социального служения, восстановления и развития культуры как культуры события [17-19]. Ситуативные ассоциации, конвенты и их работа, включая переговоры и сотрудничество внутри ассоциаций и переговоры и сотрудничество с органами управления организациями, регионами и странами – практический канал реализации идеологии социального служения и эвергетики. Идеология социального служения - основа гармоничных отношений в обществе.

Консенсус выступает как антипод «вынужденному режиму внешнего согласия», «демократического голосования», при котором позиции многих людей просто игнорируются. Консенсус требует признания и совместности, солидарности и конфликта различий. Поиск путей формирования общих позиций, ценностей и решений обращает особое внимание на технологии достижения консенсуса, обусловливающие его суть: договор, конвенциональное соглашение выступает как основа деятельности ситуативных ассоциаций акторов, решающих ту ли иную проблему. Несмотря на то, что акторов может быть неопределенное множество, важно достижение полного единогласия акторов в конкретном, определенном отношении. Это предполагает необходимость поддержки решения большинством (в том числе, квалифицированным) участников ассоциации и отсутствие возражений против принятия решения со стороны хотя бы одного из них [20-23]. Такого рода результат требует не просто усилий и ресурсов посредников и управленцев, активизирующих процессы обсуждения проблем в сообществах, но собственной активности и компетентности участников – членов этих сообществ, формирования и развития знаний и умений в сфере переговоров, их базовых принципов, теоретических и практических основ управления не только в моноакторных «системных монолитах» традиционного менеджмента, но и в мультиакторных ситуативных ассоциациях. Он требует понимания базовых ценностей жизни, ее нравственных основ, а также осознания отношений любви (ее проявлений в принятии, понимании, искренности и предметной фокусированности социальных коммуникаций) как истинных целей жизнедеятельности человека и условий продуктивных решений. консенсуса. Отчужденность, непонимание, неконгруэнтность и фатичность коммуникаций создают и усиливают конфликт: люди не стремятся понять смысл происходящего между ними и использовать конфронтацию в целях развития, не тратят силы и время, чтобы понять глобальный смысл своего бытия и поступков. Достижение консенсуса – процесс воссоединения связи человека и общества с наиболее важными, духовно-нравственными опорами его жизни, восстановление и развитие культуры.

Как показывают многочисленные современные исследования управлениями регионами и организациями, ведущим моментом в управлении всего мира становится социальность управления: его распределенность между акторами, а также ответственность управляющих за процессы и результаты управления. Эвергетика, таким образом, отражает и интегрирует актуальнейшие тренды современного управления, в том числе субъективный подход (концепции самоправления), а также традиционные, классические и неклассические подходы и модели управления.

Интерсубъективный подход к разрешению проблемных ситуаций направлен преимущественно на внешний консенсус, на решение конкретных проблем внешнего мира, субъективный подход - на консенсус внутренний. Однако, ни тот, ни другой, невозможны друг без друга и друг друга предполагают, акцентируя разные аспекты единой реальности: субъективный подход дополняет подход интенсубъективный. Отмечается, что в модели интерсубъективного управления (эвергетике) управление предполагает привлечение к решению непосредственно касающихся их проблем гетерогенных акторов, организуемых в ситуативные ассоциации. В рамках таких форм как переговоры и медиации, дискуссии и фокус-группы участники ситуативных ассоциаций, используя аргументированный дискурс, в процессе непосредственной коммуникаций двигаются в направлении достижения консенсуса и принятия общего, одобряемого всеми участниками обсуждения, решения. В модели субъективного или субъектного управления или самоуправления ведущим моментом оказывается способ-

ность и готовность человека управлять самим собой: выстраивать свою позицию, поведение, понимание происходящего независимо от влияний окружающих и среды, опираясь на глубокое и разностороннее понимание самого себя, своей сущности как человека [24-26]. Это своего рода умение договариваться с самим собой, находить и реализовывать оптимальное для себя самого решение, с учетом всех ограничений и возможностей, существующих вне и внутри себя. Субъективное управление – своеобразная интроекция интерсубъективного управления: человек договаривается с другими людьми, ищет и находит консенсус, с собой и миром внутри себя, осознавая и аргументируя вероятные и желательные следствия каждого предпринятого шага, каждого поступка, будучи уверенным в его внутренней и внешней эффективности (эффективности и самоэффективности). Этот подход позволяет дополнить описание интерсубъективного управления как со-творческого, паритетного, развивающего сообщество диалога в форме переговоров и дискуссий человека с человеком, в целях создания интерсубъективных смыслов (знаний и умения) и активизации «скрытых» знаний и умений акторов как членов ситуативной ассоциации, описанием этого управления как процесса взаимного, трансформирующего, целенаправленного взаимо(воз)действия человека и мира, в ходе которого отбираются и реализуются наиболее оптимальные решения, удовлетворяющие как требованиям среды (решаемой ситуации и окружающего мира в целом), так и требованиям человека (как актора – члена ситуативной ассоциации и как субъекта жизнедеятельности в целом). Субъективная модель обращает особое внимание на ответственность человека не только перед людьми, внешним миром, но и перед собой, внутренним миром, на права и обязанности по отношению к себе. Только управляя собой человек может управлять или быть включённым в управление окружающим миром, избегая ошибок и не принося вреда ни миру, ни себе. В модели субъективного управления первичным является не столько «целенаправленное» построение отношений взаимопонимания, сколько «интеграционная платформа», в качестве которой и выступает сам субъект, обладающий высоко гармоничной, активно и «автоматически» воздейственной, гармонирующей и обращенной к нуждам человеческого существа, человечества, ценностно-смысловой позицией. Группа «проверяет» эту позицию на «прочность» и действенность: необходимость, продуктивность, нужность. Она рефлексирует основные смыслы и ценностей субъекта – их носителя, а также принимает решение о присоединении этим смыслам и ценностям, и, автоматически, ко всем иным ценностям и смыслам субъекта как носителя определенной картины мира, «ценностно-смыслового универсума». При решении проблем акторы реализуют не только свои права, но и обязанности: аргументированный дискурс есть дискурс ответственный. Кроме того, интерсубъективная, по сути, диалогическая модель и модель системная, их разновидности, включая рассматриваемые ниже форсайт-модели, а также их технологические решения, обращают внимание на внешние возможности гармонизации отношений во внутреннем и внешнем мире человека, а также взаимосвязь внутреннего и внешнего миров: решая внешние проблемы, люди решают и внутренние проблемы.

2.2 Концепции системности и фосайта и консенсус

В концепциях системности, а также в теориях и моделях и полевого взаимодействия, акцентируются такие свойства и тенденции функционирования и развития системы как [27-30]

1) целостность и сложность как многороувневость и многокомпонентность, самоорганизация и саморазвитие, функциональная специфичность и взаимозаменяемость, полифункциональность и параллельность (идентичность, сходство или со-ответствие процессов взаимодействующих систем, помогающие осознать и осмыслить поворотные пункты в этом взаимодействии);
2) многоступенчатое равновесие, гомеостаз и процессы нарушения и восстановления равновесия между объектом и средой, гармонии взаимодействия систем, в том числе - как полей или фрагментов полей)

3) гистерезиса (специфичности ответа в зависимости от состояния системы, целенаправленная избирательность) внутренних и внешних сил, действующих в сложной системе и на систему, и целенаправленности (телеологичности) происходящего внутри человека и между людьми;
4) голографической (структурной) и фрактальной (динамической) взаимосвязи компонентов системы друг с другом и иными системами большего и меньшего размера, высшего и низшего уровней;
5) форсайта (учета разнообразных по «значимости», типы и уровню компонентов проблемной ситуации, позволяющих строить не только краткосрочные, но и долгосрочные прогнозы и проекты развития человечества и той или иной части его бытия).

Интеграция данных концепций позволяет вычленить внешние и внутренние условия достижения практически эффективного и продуктивного решения, выступающего для акторов как интегративное решение-консенсус.

Так, если мы обратимся к феномену гистерезиса, то увидим, что гистерезис определяется как феномен, суть которого состоит в том, что временное изменение одного фактора вызывает длительное изменение другого, часто отождествляется с устойчивостью привычек, это - взаимосвязь результата и пути к нему: зависимость равновесного (equilibrium) состояния системы от того, как осуществляется приспособление (корректировка). В теории гистерезиса (hysteresis) утверждается, что отклик систем на внешние воздействия, в том числе воздействие систем друг на друга, зависит и от их текущего состояния, и от особенностей состояния и активности систем в предшествующих интервалах времени, от предыстории, а также от елевых состояний, к которым движется система [29; 30]. Для гистерезиса характерно явление «насыщения», отличное от инерционности систем и монотонного сопротивления систем изменению их состояний. Гистерезис абсолютно отличен от “эффекта отсрочки” (carry over) и “эффекта исчерпания” (wear-out): первый обусловливает временной лаг воздействия, его перенос на более поздний период но при этом сам эффект с течением времени устаревает или затухает, то есть имеет временный характер; второй наблюдается непрекращающееся снижение функций, несмотря на мощные антикризисные (противодействующие) меры. В теории игр эффект гистерезиса проявляется в том, что небольшие отличия по одному или нескольким параметрам приводят две системы в противоположные стабильные равновесия, например, «хорошее» — доверие, честность и высокое благосостояние и «плохое» — воровство, недоверие, коррупция и бедность. При этом , несмотря на небольшие первоначальные различия, системы требуют огромных усилий для перехода из одного равновесия в другое, а для поддерживания установившихся различий (нового равновесия) усилия существенно меньше. В целом гистерезис фиксируется там, где конечное состояние системы определяется её текущими процессами или её начальным или конечным состояниями. При этом однако, речь часто идет о наличии неучтенных факторов: недостающих переменных, позволяющих понять эволюцию изучаемой системы, - или о наличии нескольких состояний равновесия, при которых неизвестные или неучтенные воздействия перемещают систему из одного состояния равновесия в другое. Формирование группового и общественного мнения и управление им практически никогда не осуществляется мгновенно и «прямо»: всегда есть какие-то задержки, отклонения и трансформации, артефакты. Это связано с трудностями полного или частичного отказа /трансформации стереотипных представлений о себе и мире, о проблеме путях ее решения. Это также связано с необходимостью «поддаться» переубеждению и последовать отличным от старых и ставших стереотипными («равновесными») представлениям, согласится с субъектами – создателями или носителями иного представления, принять их и их представления в качестве значимых, «своих» и реальных. При этом отмечается взаимосвязь приложенных акторами (как объектами и субъектами влияния) усилий и достигнутым результатом. Уровень затраченной акторами – субъектами ценностно-смысловой «работы» связан с уровнем «намагниченности» других акторов как объектов-носителей преставлений (степенью вовлеченности, значимости и нацелен-

ности на практический результат). Поэтому, например, пересмотр ценностей достигается медленнее всего, а пересмотра моделей поведения и общения, оценка их продуктивности и эффективности, – относительно просто. При этом важно соотносить новый этап (ре)формирования представлений с прошлым – с историей объекта, его опытом, связями с другими людьми, а также с будущим, его целями и желаемыми отношениями. При этом «точка отсчёта» времени и пространства реформирования представления смещается относительно прежней, что является характеристикой самой системы и её текущего состояния [27-29].

Один из ведущих моментов управления – момент изменения систем. Организации, сообщества и иные системы изменяются, и. таким образом, порождают новые проблемы, выступающие либо как продолжение и развитие старых (нерешенных), либо абсолютно новых, требующих инновационных подходов к их решению и т.д.. Организации, сообщества и менеджеры осознают необходимость управления переменами, включая осознание и трансформацию не только частных проблемы, но и ценностей и миссии организации, сообщества, реструктурирование направлений жизнедеятельности и введение инноваций, изменения отношений между организацией с другими организациями и отношений внутри нее самой и т.д. Такие перемены могут быть выявлены и осмыслены, использованы для коррекции жизнедеятельности предприятий как постфактум, так и, используя форсайт, в режиме опережения [31, 32]. Форсайт («corporate foresight») используется в современном стратегическом менеджменте как система методов трансформирования приоритетов в сфере экономики и производства, социального и культурного развития [32, 33]. Данная система предполагает привлечение внешних специалистов в сфере форсайта и/или развитие форсайт-компетенций у специалистов самой организации. Особенно это касается менеджеров и иных специалистов, работа которых непосредственно связана с динамическими способностями сообществ и организаций, а также всех остальных акторов – участников ситуации. Динамические способности общности , организации отражают их умение перестраиваться и диверсифицироваться в связи с более или менее значимыми и явными тенденциями внешнего и внутреннего мира: выделять как сильные, очевидные, так и слабые, малозаметные, но важные тенденции, выделять и соотносить угрозы и перспективы развития, вызовы «общечеловеческого» времени и вызовы конкретных региональных рынков, потери и приобретения от введения и отказа от введения инноваций и т.д. [34-36]. Форсайт как компетенция «предвидеть» и влиять на будущие события на основании определенных маркеров органично включена в теорию динамических способностей, в том числе, представление о ведущих компонентов этих способностей:

- способность выявлять маркеры перемен (сюда входят такие повседневные виды или «рутины» деятельности общинности или организации как выявление «сильных», «слабых», центральных и периферических сигналов грядущих или уже наступивших перемен, анализ и соотнесение их друг с другом, исследование их реальных и нереальных позитивных и негативных последствий, предписание тренировать чувствительность к переменам и наблюдательность в целом, реагировать на нестабильные и дисгармоничные аспекты деятельности организации и жизни окружающего социума);
- способность создавать сценарии вероятных и маловероятных, опасных для развития и поддерживающих развитие, событий (рутина, предписывающая и осуществляющая задачу интегрировать отдельные маркеры перемен и события в целостные альтернативные и дополняющие друг друга сценарии);
- способность управлять развитием событий вне и внутри организации, воздействуя на зоны, в которых нарушен или может быть нарушен порядок, о чем сигнализируют те ил иные «маркеры» (рутины, предлагающие и осуществляющие задачи «отсекать лишнее» и «добавлять не хватающее», «структурировать хаотичное» и «деформализировать рутинное», «вводить новое» и «убирать устаревшее», «двигаться самостоятельно» и «двигаться в потоке» и т.д.);

- способность управлять развитием событий в обществе и сфере производства (рутины, реализующие задачи формулировать и трансформировать миссию и организационную культуру предприятия, соотнося ее с идеологическими трендами сообщества) и т.д.

Эти способности очевидным образом важны для ситуативных ассоциаций и иных коллабораций, создаваемых или создающихся для решения тех или иных проблем организации, сообщества. При этом возможности форсайт-подхода смещают фокус анализа динамических способностей на поиск предвестников перемен (маркеров изменений), на их рассмотрение в контексте стратегического планирования и стратегического, антикризисного и сценарного управления [37].

Заключение

Разрешения проблем социальных отношений, направленное на достижение консенсуса связано с прохождением нескольких стадий. предполагает выработку некоего удовлетворяющего основную часть нужд и потребностей акторов решения проблемы и потому может рассматриваться как «компромиссное» решение, если не принимаемое всеми, то хотя бы всеми не отвергаемое, однако, консенсус шире компромисса и предполагает поиск лучшего решения в атмосфере сотрудничества, преобразующей конфликт в конфронтацию. Компромисс является в процессе поиска консенсуса вспомогательным: это своего рода «незавершенный» консенсус. Компромисс формируется на основе дисенсуса: выявления противоречивых и несовпадающих интересов и структурирующих их ценностных позиций, способов понимания себя и мира, моделей общения и поведения акторов, их нужд и желаний. В процессе соотнесения данных разноречивых интересов, лежащих в их основе нужд и желаний, люди выбирают либо путь компромисса – примирения существующих интересов с более-менее частичной реализацией каждого из них, либо идут дальше –к творческой трансцендении. Для компромисса достаточно обозначить «ведущие интересы», наиболее «сильные голоса» ситуации, для консенсуса нужен дисенсус с его богатой палитрой – многоголосьем интересов, учет сильных и слабых сигналов или маркеров перемен, прошлого и будущего, индивидуального и социального. Переговоры, дискуссии, фокус-группы и иные формы диалога, как построение общего смыслового пространства, как процесс достижения и реализации консенсуса, позволяют понять с кем, кто и о чем говорит. Они позволяют понять, что происходит на самом деле, понять как с этой реальностью, часто «спрятанной» прямо перед глазами обычного человека – потребителя и служителя бюрократической системы, нужно себя вести. Они позволяют превратить конфронтацию в компонент развития, компонент исследования ситуации и альтернатив ее преобразования. Решение проблемы означает способность, готовность и подчас даже риск говорить с другими людьми человеком, стремясь понять их (кто они), от собственного лица, то есть лица такого же, как они, человека: могущего ошибаться, стремящегося решать проблемы лучшим из известных ему способов, совершать поступки, отражающие его истинные жизненные цели (любовь к жизни, людям, миру). Консенсус предполагает активизацию и применение как известных так и «крытых» знаний и умений, их творческую интеграцию в разной мере целенаправленной и длительно существующими общественными коллаборациями – деятельными (в том числе профессиональными, экспертными) группами и ситуативными (общественными и государственными) ассоциациями, решающими проблемы, касающиеся их непосредственно.

Таким образом, концепция энергетики В.А. Виттиха обладает весьма значительным потенциалом в плане интеграции различных концепций и проблем управления в самых разных системах, включая сложные социальные системы [38].

Список литературы

[1] *Арпентьева, М.Р.* Переговоры в теории интерсубъективного управления / М.Р. Арпентьева, Т.В. Моисеева // Онтология проектирования. – 2017. – Т. 7, №1(23). - С. 102-114. – DOI: 10.18287/2223-9537-2017-7-1-102-114.

[2] *Guarino N.* Formal ontology, conceptual analysis and knowledge representation. Int. J. of Human Computer Studies 1995; 43(5/6): 625-640.

[3] *Санжаревский, И.И.* Политическая наука: словарь-справочник [электронное учебное пособие]. – URL: http://glos.virmk.ru/anons.htm / (дата обращения: 10.09.2016).

[4] *Виттих, В.А., Моисеева, Т.В.* Интерсубъективное управление: от теории к практике / В.А. Виттих, Т.В. Моисеева // Проблемы управления и моделирования в сложных системах: Труды XVIII международной конф. (20-25 сентября 2016 г., Самара, Россия). – Самара: ООО «Офорт», 2016. – С. 53-62.

[5] *Дьюи, Дж*. Школа и общество / Дж. Дьюи. – М.: Работник просвещения, 1922. – 174 с.

[6] *Адлер, А.* Наука жить / А. Адлер. – Киев: Port-Royal, 1997. – 400с.

[7] *Арпентьева, М.Р.* Ожидания и игры: диалогическое и монологическое общение / М.Р. Арпентьева // Социальные явления. – 2015. – № 1 (3). – С. 32-40.

[8] *Уинслэйд, Д., Монк, Д.* Нарративная медиация: новый подход к разрешению конфликтов / Д. Уинслэйд, Д. Монк. - М.: МЦЦЦ Центр «Судебно-правовая реформа», 2009. – 356 с.

[9] *Уитворт, Л., Кимси-Хаус, Г., Сэндал,Ф.* Коактивный коучинг / Л. Уитворт, Г. Кимси-Хаус, Ф. Сэндал. – М: Междунар. акад. коучинга: Центр поддержки корпоративного управления и бизнеса, 2004. – 360с.

[10] *Fattah, Ez.* Towards a victim policy aimed at healing, not suffering / Ez. Fattah // Victims of crime / Eds. by A. J Lurigio. – Thousand Oaks, CA: Sage, 1997. – 320p.

[11] *Gold, L*. Influencing Unconscious Influences. The Healing Dimension of Mediation / L. Gold // Mediation Quarterly. – 1993. – 11 (1). – P. 55-66.

[12] *Menninger, K.* Love against hate / K. Menninger. – N. Y.: Harcourt, Brace & World, 1942. - 210p.

[13] *Zehr, H.* Changing Lenses / H. Zehr. – Scottdale, PA: Herald Press, 2005. – 240p.

[14] *Кудринская, Л.А*. Добровольческий труд: опыт теоретической реконструкции / Дисс. . докт. социол. наук / Л.А. Кудринская . – М: РАН, 2006. – 302 с.

[15] *Николаев, В.* Из рода в род / В. Николаев. – М.: СофтИздат, 2010. – 208с.

[16] *Остапенко, С*. Плоды истинного покаяния / С. Остапенко// Близок к нам Господь / Сост. М.Г. Жуковой. — М.: Изд-во Сретенского монастыря, 2010. — 528 с.

[17] *Отец Арсений* / Сост., предисл. В. Воробьев. – М.: ПСТГУ, Эксмо, 2016. – 864с.

[18] *Силласте, Г.Г.* Благотворительность как социальное явление / Г.Г. Силласте // Помоги ближнему. Благотворительность вчера и сегодня / Под ред. В.В. Меньшикова. – М.: ИПО «Полиграм», 1994. – С.8-18.

[19] *Gelderloos, P.* Consensus: A New Handbook for Grassroots Social, Political, and Environmental Groups. / P. Gelderloos. - Tucson: See Sharp Press, 2006. – 124p.

[20] *Fyke, J.P., Feldner, S.B. and May, St.K.* Discourses about Righting the Business Society Relationship / *J.P. Fyke, S.B. Feldner, St.K. May* // Business and Society Review. - 2016. Issue 2, Vol. 121. – P. 217–245.

[21] *Iff, A., Alluri, R.M.* Business Actors in Peace Mediation Processes / A. Iff, R.M. Alluri // Business and Society Review. - 2016. Issue 2, Vol. 121. – P. 187–215.

[22] *Kulik, B.W. and Alarcon, M.* Manipulative Businesses: Secular Business Cults / B.W. Kulik, M. Alarcon // Business and Society Review. - 2016. Issue 2, Vol. 121. – P. 247–270.

[23] *Shabana, K.M. and Ravlin, E.C.* Corporate Social Responsibility Reporting as Substantive and Symbolic Behavior: A Multilevel Theoretical Analysis // Business and Society Review. 2016. Issue 2, Vol. 121. – P. 297–327.

[24] *Адлер, А.* Понять природу человека /А. Адлер. - СПб: Академ. проект, 1997. – 254с.

[25] *Адлер, А.* Психология власти / А. Адлер // Адлер А. Очерки по индивидуальной психологии. - М.: Когито-Центр, 2002. - С.203-207.

[26] *Адлер, А.* Спасение человечества с помощью психологии / А. Адлер // Адлер А. Очерки по индивидуальной психологии. М.: Когито-Центр, 2002. – С.47-52.

[27] *Бьюдженталь, Дж*. Искусство психотерапевта / Дж.Бьюдженталь, . - СПб.: Питер, 2001.

[28] *Горшков М. К.* Общественное мнение / М. К. Горшков. — М.: Политиздат, 1989.

[29] *Капустин В.С.* Введение в теорию социальной самоорганизации / В.С. Капустин. М.: Российская академия государственной службы при Президенте РФ, 2003. - 137 с.

[30] *Красносельский, М. А., Покровский, А. В.* Системы с гистерезисом / М.А. Красносельский, А.В. Покровский,. — М.: Наука, 1983. – 271с.
[31] *Крюков, С. В.* Форсайт: от прогноза к формированию будущего / С.В. Крюков // Пространство экономики, 2010. – №3-2. – С. 7-17.
[32] *Талеб ,Н.Н.* Антихрупкость. Как извлечь выгоду из хаоса / Н.Н. Талеб. — М.: Изд. КоЛибри, Азбука-Аттикус, 2014. — 768 с.
[33] *Loveridge, D.* Foresight: The Art and Science of Anticipating the Future / D.. Loveridge./ - N.-Y.: Routledge, 2009. – 420p.
[34] *Тис, Д. Дж., Пизано Г., Шуен Э.* Динамические способности фирмы и стратегическое управление / , Д. Дж. Тис, Г.Пизано, Э. Шуен //Вестник Санкт-Петербургского государственного университета. Сер. «Менеджмент». – 2003. – № 4. – С. 133—184.
[35] *Eisenhardt, K. M., & Martin, J. A.* Dynamic capabilities: what are they? / K. M. Eisenhardt, J. A. Martin// Strategic Management Journal. – 2000. – Т. 21. № 10-11. – P. 1105-1121. Шифрин М.Б. Стратегический менеджмент. – СПб.: Питер, 2007. – 240 с.
[36] *Winter, S.G.* Understanding dynamic capabilities / S.G. Winter // Strategic Management Journal. – 2003. – Т. 24. № 10. – P. 991-995
[37] *Wille R., Ganter, B.* Formale Begriffsanalyse / R. Wille , B. Ganter. – Springer-Verlag, 1996. – 310s
[38] *Виттих, В.А.* Целостность сложных систем / В.А. Виттих // Проблемы управления и моделирования в сложных системах: Труды IV международной конференции (17-23 июня 2002 г., Самара, Россия). – Самара: Самарский НЦ РАН, 2002. - С. 48-58.

Biography

Arpentieva Mariam Ravilievna (born in 1972, Kaluga) graduated from the Kaluga State Pedagogical Institute in 1994. Graduated from postgraduate course of Moscow M.V. Lomonosov state University in 1999.She defended her candidate thesis in 1999 and doctoral thesis in 2015. She is professor at Tsiolkovskiy Kaluga state University, Department of psychology of development and education. She is author more than 650 scientific articles and monographs in the field of social psychology and philosophy: understanding and comprehension in social interaction.

ИНТЕРСУБЪЕКТИВНЫЕ АСПЕКТЫ ФОРМИРОВАНИЯ И РАЗВИТИЯ ПРАВОСОЗНАНИЯ

М.Р. Арпентьева

Калужский государственный университет имени К.Э. Циолковского,
248023, Калуга, ул. Разина. д. 22/48, 1 корпус, Россия
mariam_rav@mail.ru
тел: +7 (953846) 313048-16

Ключевые слова: *права, обязанности, интерсубъективное управления, эвергетика,*

Abstract

Relevance. The development of legal consciousness is connected with real experience of human participation in society, in the context of solving moral and legal problems of correlation of rights and duties of man. The article discusses the problem of the rights and duties of man in the context of the management of such complex systems as communities. The author shows that the intersubjective approach to resolving problems based on external consensus, a subjective approach - consensus internal. She is noted that in the model of intersubjective (Evergetics) management involves the decision directly relating to their problems of heterogeneous actors organized in a situational Association. Through such forms as negotiation and mediation, discussions and focus group participants situational associations, using reasoned discourse, in the process of direct communications are moving towards consensus and adoption of common, approved by all parties to the discussion, solutions. In the model of subjective or intersubjective management of the person or governments leading point is the ability and willingness of a person to control by himself, to build his own attitude, behavior, understanding occurring future regardless of the influences of others and the environment, based on a deeper and more comprehensive understanding of yourself, your essence as a person. This is a kind of ability to negotiate with himself. It is the ability to find and implement the optimal solution, considering all constraints and opportunities that exist outside and inside. Subjective management is a kind of intersubjective management: a person negotiates with other people, and seeks consensus with itself and the world within themselves, realizing and arguing that probable and desirable consequences of each step taken, each act, confident in its internal and external efficiency (the efficiency and self-efficacy). This approach allows to supplement the description of intersubjective management as a co-creative, equal, to develop community dialogue in the form of talks and discussions, man to man, in order to create intersubjective meanings (knowledge and skills) and the activation of "hidden" knowledge and skills of actors as members of a situational Association. This approach is complemented by his description of management as a process of mutual, transformational, focused inter(who)of the actions of man and the world. During such interactions, actors are selected and implemented the most optimal solutions. The found solutions satisfy both the demands of the environment (solve a situation and the world in General), and the requirements of the person (as actor – member of the Association of situational and as the subject of life in General). The author shows that the solution to the problems of the actors ' realization is used not only their rights but also responsibilities: reasoned discourse is the discourse responsible. Practical application grounded in the insights expands the practice of intersubjective management technologies in law enforcement, advocacy (protection of the rights) and law-creation: the involvement of actors in the solution of problems related to violation of moral and legal laws of social life.

Введение

Множество проблем в современном управлении социальными системами связано с асимметриями такого управления, преобладанием классических подходов, рассматривающих управление как деятельность отдельного субъекта, в том числе «системного монолита», а также формами и субъектами, более или менее оптимальными более или менее подходящими для управления как конкретной ситуацией, так и в целом.

В неклассической модели управления рассматриваются как альтернативные модели индивидуального и коллегиального управления, их достоинства и недостатки, возможности и ограничения в тех или иных ситуациях [1-3].

В постнеклассической модели управления особое внимание уделяется не ситуативным и личностным аспектам управления, а аспектам ценностно-смысловым и технологическим, взаимосвязям целей и ценностей управления с его технологиями и, таким образом, результатами.

Именно они, образуя основу управления как воздействия или взаимодействия, направленного на решение проблем повседневной жизни, раскрывают основные механизмы и дилеммы управления, помогая гармонизировать взаимодействие государства, общества, организации, личности [4-6].

Однако, старые модели управления преодолеваются с большим трудом, поэтому в сообществах и государствах накапливается все большее количество проблем и противоречий [7, 8]. Основная часть проблем при этом связана с тем, что «ключевое значение в выработке государственных решений принадлежит элитарным сетевым коалициям, выступающим в виде неформальных правительственных «блоков», клиентелл и прочих латентных ассоциаций, которые перепрофилируют деятельность государственных органов на реализацию корпоративных и партикулярных потребностей и интересов» [9, с.87-88]. Поэтому реформирование государственного управления и отношений общества и государства, достижение состояний «новой публичности» (new publicity), а также выработка перспективных стратегий институциональных и общественных изменений, почти невозможны: доминирование сетевых коалиций и их интересов в формате тотального, «неопатримониального» господства, создает многочисленные «институциональные ловушки» для «вовлечения в публичность» и сводит реформы к частичным изменениям и инновациям в технологической и идеологической сферах [10-12].

В рамках постнеклассической модели особенно выделяются два подхода: субъект(ив)ный и интерсбъективный, фиксирующие внимание на ценностях и целях управления, а также форсайт-подход, несущий в себе задачу технологического обеспечения «стабильного развития», профилактики и разрешения кризисов развития личности, организации и общества. Интерсубъективный подход к разрешению проблемных ситуаций базируется на внешнем консенсусе, субъективный подход – на консенсусе внутреннем. В модели интерсубъективного управления (эвергетике) управление предполагает привлечение к решению непосредственно касающихся их проблем гетерогенных акторов, организуемых в ситуативные ассоциации [13-15]. В рамках таких форм как переговоры и медиации, дискуссии и фокус-группы участники ситуативных ассоциаций, используя аргументированный дискурс, в процессе непосредственной коммуникаций двигаются в направлении достижения консенсуса и принятия общего, одобряемого всеми участниками обсуждения, решения [16-18]. В модели субъективного или субъектного управления или самоуправления ведущим моментом оказывается способность и готовность человека управлять самим собой: выстраивать свою позицию, поведение, понимание происходящего независимо от влияний окружающих и среды, опираясь на глубокое и разностороннее понимание самого себя, своей сущности как человека [19-21]. Это – своеобразное умение договариваться с самим собой, находить и реализовывать оптимальное для себя самого решение, с учетом всех ограничений и возможностей, существующих вне и внутри себя. Субъективное управление – своеобразная интроекция интерсубъективного управления: человек договаривается, находит консенсус, с собой и миром прежде всего, внутри самого себя, осознавая и аргументируя вероятные и желательные следствия каждого предпринятого шага, каждого поступка, обретая доверие к себе как уверенность относительно внутренней и внешней эффективности (эффективности и самоэффективности). Этот подход позволяет дополнить описание интерсубъективного управления как со-творческого, паритетного, развивающего сообщество диалога в форме переговоров и дискуссий человека с человеком, организуемого и осуществляемого в целях создания интерсубъективных смыслов (знаний и умения) и активи-

зации «скрытых» знаний и умений акторов как членов ситуативной ассоциации, еще одним измерением. Он позволяет дополнить его описанием феномена управления как процесса взаимного, трансформирующего, целенаправленного взаимо(воз)действия человека и мира, в ходе которого отбираются и претворяются в жизнь наиболее оптимальные решения, удовлетворяющие как требованиям среды (решаемой ситуации и окружающего мира в целом), так и требованиям человека (как актора – члена ситуативной ассоциации и как субъекта жизнедеятельности в целом). При решении проблем акторы реализуют не только свои права, но и обязанности: аргументированный дискурс, ка мы отмечали в предыдущей статье, есть дискурс ответственный [22-24].

Метод исследования – теоретический анализ базовых понятий и теорий достижения консенсуса в решении проблем , связанных с нарушением нравственных и правовых законов социальной жизни.

Основные понятия исследования: консенсус, дисенсус, конфронтация, диалог, коллаборация, ситуативная ассоциация, права, обязанности, нравственность, юридический закон.

Теоретическая база исследования: концепция эвергетики (интерсубъективного управления) В.А. Виттиха.

1 Общие понятия и теоретические основы исследования

1.1 Субъективный подход: технология «второй демократии» А. Адлера

Субъективной подход реализует модель «второй демократии».Технологическая сторона данного вопроса связана с несколькими аспектами. Основная технология – технология «второй демократии» А. Адлера, изъятая в XXI веке из научного и практического обращения даже «на Западе» [19-21]. Суть этой демократии и лежащей в ее основе технологии хорошо выразила святая Т. Калькуттская (А. Г. Бояджиу): «Делай это все равно». А. Адлер, наблюдая проблемы демократии XX века, был вполне согласен с позициями, отражёнными в работах Р. Аккофа, А. Тойнби, А. де Токвиля, К. Поланьи и многих других исследователей [25, 26] о необходимости изменения систем управления обществом, государством. Однако, он разработал совершенно отличную от них. собственную модель, превратившую его из политического деятеля, сторонника социализма, в психолога. Это модель и технология «второй демократии», основанная на постулате о том, что если каждый человек, будучи не только наделенным правами, но и ответственным за себя и мира, признает себя и мир, свои права и обязанности, свои ценности, понимание мира и себя, свои ритуалы как важные и будет ориентироваться на них и свое признание в любой жизненной ситуации, если его поведение, отношение, понимание будет устойчиво в пространстве и времени, то он изменит сначала своих близких, а потом – и окружающий, все более дальний мир.

Поскольку человеческое существо не способно быть неадекватным самому себе постоянно, постольку такое «постоянное» состояние достигается лишь при условии действительного понимания себя и мира, ориентации человека не на отчужденный закон, но Божественные принципы (нравственные императивы), а также соответствующее им поведение – поведение простоты, открытости, любви, чести, жизнеутверждения. Такое состояние является весьма продуктивным, поскольку предлагает и дает возможность открытого диалога, дает возможность стать и получить «заслуженного собеседника», в беседе с которым достигается прирост информации, творчество, трансформируются и исправляются ошибки и барьеры отношений, достигается состояние гармоничного равновесия «своего» и «чужого», «своего» и «общественного», поскольку человек постигает себя как уникальную и универсальную часть целого – часть жизни, бытия. Будучи удовлетворенным – спокойным и счастливым – он притягивает к себе все большее количество людей, достигая феноменальных результатов. Примером является другой святой XX века – М.К. Ганди и его философия ненасилия (сатьяграха), принципы

любви, милосердия и служения человечеству, которые оказали решающее влияние на движение сторонников мирных перемен и освобождение Индии от колониализма [27, 28].

Эта технология близка также мировоззренияи даосизма и дзен-буддизма: «Сиди спокойно на пороге своего дома и рано или поздно мимо тебя пронесут труп твоего врага» и т.д. [29, 30]. Это мировоззрение – невмешательства, недеяния, на самом деле обращено к таким важным моментам, как способность мира «объяснять самого себя», разворачиваться по своей собственной логике, «автоматически», и, также «автоматически», по законам всеобщей взаимосвязи реагировать на посыл, идущий от человека. Чем прозрачнее, правильнее и однозначнее будет этот посыл, тем более однозначной, правильной и предсказуемой будет «автоматическая» реакция на него мира.

Как одно из упрощений этой проблемы можно рассматривать традиционную проблему «роль личности в истории», однако, А. Адлер описал и опробовал этот процесс как психотехнологию, положившую начало и создавшую базис современного психологического консультирования, основателем которого он стал [19-21]. Работы А Адлера оказали решающее воздействие на современную систему представлений о сути этой практики, ее возможностях и ограничениях, в том числе, в контексте помощи «маленькому человеку», существующего в мире фикций и антификций. Он раскрыл на уровне отдельного человека как клиента сути нарушений в жизни людей – отказ или неспособность любить, привносить и отстаивать любовь в мире: фиктивные цели и способы жизни, фикции и антификции, комплекс неполноценности и комплекс сверхценности (превосходства), оттесняют человека в жизнь, где истинные ценности и любовь кажутся недостижимыми. Однако, их недостижимость – иллюзия. Чтоб осознать и преодолеть эту иллюзию, однако, людям нужна помощь консультанта: человека, способного быть самим собой и дающего другими быть самими собой в самых разных ситуациях, любящего и принимающего любовь, развивающегося и опирающегося на нравственные ценности и дающего возможность развиваться другим, транслируя им эти ценности, а также не только права, но ответственность за их реализацию. Его же работы внесли значимый вклад в развитие представлений о важности активизации клиента и диалога, значимости интерсубъективного взаимодействия.

В модели субъективного или субъектного управления или самоуправления (self-management, self-governance, autonomy,) ведущим моментом оказывается способность и готовность человека (или общности, организации) управлять самим собой: выстраивать свою позицию, поведение, понимание происходящего независимо от влияний окружающих и среды, опираясь на глубокое и разностороннее понимание самого себя, своей сущности как человека [31, 32]. Этот подход позволяет дополнить описание интерсубъективного управления как сотворческого, паритетного, развивающего сообщество диалога. В ходе решения задач и преобразования проблемных ситуаций повседневности акторы реализуют не только свои права, но и обязанности: аргументированный дискурс есть дискурс ответственный. при этом наиболее продуктивными являются стратегии управления, основанные на вдохновляющих призывах, консультационно-посреднической помощи и рациональном, аргументированном убеждении. При этом лидеры и группы лидеров, как и рабочие команды делятся на «идентификационные» (более или менее постоянной принадлежности) и «сырьевые» (организованные вокруг временных коалиций и альянсов), – строящие отношения с группой и в группе на основе внешних по отношению к групповой жизни целей и ценностей, а также «знаниевые» и «деятельностные» типы личностей и коллабораций (subgroups), ориентированные на выполнение задач и решение проблем [33, 34]. В случае управленческих монолитов управление часто идет по пути создания групп идентификаций и групп, объединенных «сырьевыми» мотивами, в случае коллабораций, в том числе ситуативных, речь идет о создании групп, целью которых является развитие человека и общности в процессе решения проблем.

1.2. Концепция интерсубъективного управления (эвергетики) В.А. Виттиха

В традиционных рационалистических, прагматических моделях управления, в современных исследованиях мальтузиански ориентированных ученых – представителей идеологии постмодерна, для которых нравственно то, что выгодно, целью управления является достижение такого уровня руководства (разработка таких его технологий), которые позволяли бы достигать 100% успешности и результативности управления. Эти технологии – манипуляции – обществом и его членами – направленные на продукцию и репродукцию единообразных, предсказуемых, лишенных попыток осмысления реакций людей-рабов, предполагают, кроме того, целенаправленное, более или менее развернутое уничтожение реальных и даже потенциальных противников рабства. Они ориентированы на уничтожение любой оппозиции, которая может воспрепятствовать разрушению культуры и нравственных ценностей, вытекающих из низ прав и обязанностей, предписаний и запретов, возможностей и ограничений (духовно-нравственному разложению населения, отчуждению отношений между людьми и дезориентации, деиндентификации личности), и их замену системами отчужденных от нужд общества правовых норм и законов, то есть арбитражным произволом, разрушающим культуру и, таким образом, сообщество. Они предполагают создание препятствий для развития отношений социального служения и взаимопомощи, признания ценности личности и ценности социальной гармонии, в том числе – средствами пропаганды примитивизма и «вседозволенности» как тотального бескультурья, а также «квалифицированного» и «беспрепятственного» потребления, направленного на сворачивание процессов развития человека и общности. Они поддерживают социальный каннибализм – отношения конкуренции, отчуждения и геноцида, и, в своем предельном развитии включает даже отказ от технологического прогресса и инноваций или их существенное ограничение, связанное с контролем процессов развития и предотвращением «несанкционированных» управляющим форм жизнедеятельности как у рабов, так и у элиты. В результате сообщество перенимает карательный способ управления. Он интроецирует его для того, чтобы полностью снять с себя ответственность за свою жизнь и жизнь тех, кто становится жертвой несправедливости, коррупции, манипуляций и геноцида [35-37].

Однако, помимо этого движения, пост-постмодерн выдвинул свой вариант развития мира: человечество движется к ацефаличному, полилогическому союзу, созданному на основе ценностей и технологий сотворчества и партнерства, взаимопомощи и взаимообучения, в процессе которых реализуется и развивается, накапливается и воспроизводится человеческий и социальный капитал, а также капитал культурный, человечество [38, 39]. Эта модель исходит из того, что развитие человека и социальных отношений в современном мире во многом блокируется преобладанием репрессивно-контролирующих форм отношений государства и общества на фоне почти ничем – законодательно и нравственно – не ограниченных отношений потребления \ использования человеком себя, других людей, мира. Эта идеология продвигается государством и поддерживается обществом при полном игнорировании задач и идеологии социального служения и социального прогресса. С последней группой идеологий человечество уже встречалось – в опыте социалистических стран, однако, встречалось не вполне отчетливо. Сейчас эта идеология реализуется в ряде пост-капиталистических государств, очевидным образом начинающих тяготеть к отношениям с «распределенным», коллегиальным, а не монолитным, индивидуальным управлением. И даже в традиционных государствах, управляемы бюрократическими монолитами, значительная часть общества и хотя небольшая, но часть представителей государства, традиционную идеологию управления и ее технологии не разделяет. Эта часть, вместе с осознающими и вынужденно идущими на сотрудничество с населением представителями власти, бюрократии и бизнеса, буржуазии, продвигает идеи внедрения интерсубъективных и квазинтерсубъективных технологий, в том числе крауд-технологий, позволяющих хотя бы имитировать диалог населения и государства, образования и обучающихся, и технологий коллаборационистского типа – технологии сотрудничества и кооперации «всех со всеми» [40-42].

Коллаборации в своем прямом смысле предполагают создание особых сообществ людей, объединенных общими социальными, политическими или духовными представлениями о себе и мира, а также обладающими определенными ресурсами и формами организации отношений: кохаузинг, экопоселения, коммуны, кибуцы, ашрамы, жилищно-строительные кооперативы и т.д. (cohousing, land trusts, ecovillages, communes, kibbutzim, ashrams, and housing cooperatives) [42-44]. Однако, они не обязательно являются постоянными во времени и границах. Главное, однако, то, что в коллаборациях люди живут вместе. Как подчеркивает одна из исследователей коллабораций, Я. Рэнд, человек не должен жить изолированной жизнью. Она полагает, что важнейшим способом, которым люди развивают и реализуют себя является построение прочных отношений с другими людьми (бизнес, дружба, любовь и т.д.), как отношений служения /взаимопомощи. В своей теории «разумного эгоизма» она отмечает, что действующие в собственных интересах часто связаны с тем, чтобы «присматривать» за окружающим миром, защищая и помогая слабым и невинным от угроз и несправедливости, помогать друзьям и союзникам и т.д. [40]. Даже в капитализме, в состоянии «дикого рынка» люди связаны процессами более или менее добровольного разделения труда, ценности обмениваются на ценности, а не на фикции ценностей. Там, где ценности становятся полностью фиктивными, там где активно происходят процессы коммодификации культуры, человеческой жизни в целом, общество разрушается.

Зарубежные исследователи также ввели понятие «деятельное сообщество» (сообщество практикующих, сообщество практики, community of practice), назвав этим понятием группу людей, объединенных общим интересом, профессией или хобби [45, 46]. Такая группа существует без какого-либо стороннего управления, спонсирования или принуждения. Деятельное сообщество может существовать, как виртуально, например, на форумах или новостных группах Интернет, так и в реально, в том числе предполагая регулярные или заранее согласованные встречи. Через некоторое время, при анализе сути работы данных сообществ выяснилось, что важнейший аспект их деятельности – обмен и производство опыта: знаний и умений решения проблем. Поэтому деятельные сообщества начали ассоциироваться с управлением (по)знаниями, их стали рассматривать как способы увеличить общественный опыт, культуру, стимулировать и обеспечить нововведения. Сообщества порождают новые знания и умения и разделяют до того существующие «молчаливо», имплицитно и потому не востребовано, знания и умения со всем человечеством. Идея деятельных сообществ уходит корнями в американский прагматизм, в особенности, идеи К.С. Пирса, концепцию «сообщества по расследованию» (community of inquiry), а также принцип обучения по специальности Дж. Дьюи («learning through occupation») [44-46] Теперь это понятие стало фрагментом учения об организационном развитии (organizational development) и антикризисной модели управления.

В России идеи коллабораций и деятельных сообществ также получили свое теоретическое развитие и практическое воплощение, в том числе, в эвергетике. В теории эвергетики В.А. Виттиха, он и его ученица, Т.А. Моисеева, ввели понятие «ситуативных ассоциаций» [13; 22; 47]. Эти ассоциации создаются для продуктивного решения насущных для членов ассоциации проблем в форме диалога. Участники обсуждения выступают как акторы, заинтересованные в исходе обсуждения и внедрении решения. Решение, принимаемое ими должно быть взаимоприемлемо и для этого предполагает коммуникацию в целях достижения консенсуса [48-50], который должен быть найден и принят всеми акторами, как членами ситуативной ассоциации, самоорганизовавшейся или организованной государственными или бизнес-структурами для осмысления и преобразования проблемной ситуации. Работа ассоциации отражает развитие принципа активизации, при котором клиенты и стейкхолдеры становятся не только активными сотрудниками государственных и бизнес-структур, но равноправными соакторами. Их работа направлена на восполнение недостающей информации и гармонизацию отношений, урегулирование конфликтов и противоречивых пониманий. Акторы, образующие ситуативные ассоциации, стремятся прийти к консенсусу, ведя переговоры друг с другом и с

представителями различных сообществ и организаций, другими ассоциациями, а также с представителями «мира систем», владеющими ресурсами, необходимыми для разрешения проблемной ситуации. Акторы понимают, что решение может быть принято только совместными усилиями. Они изначально обладают пониманием важности обсуждаемой проблемы важности ее решения, стремлением и готовностью к диалогу (в том числе, к обучению знаниям и умениям, необходимым в диалоге). Поэтому участники обсуждения, организованной в форме переговоров, медиаций, дискуссий и т.д. стремятся к дискурсивному единству, вырабатывая в процессе интерсубъективной комму никации / общения общую «мораль», то есть общие ценности и вязанные с ними смыслы [12, 13]. Возникает взаимопонимание: общие, разделяемые всеми участниками проблемной ситуации, смыслы – его основа, основа консенсуса.

В целом, можно сказать, что эвергетика как наука об интерсубъективном управлении развивается как попытка развернутой многоуровневой рефлексии сути управления, его ценностно-целевых основ, взаимосвязи теории и практики управления, их развития в исторической и диахронической перспективах.

Заключение

Развитие правового сознания связано с реальным опытом участия человека в жизни общества, в контексте решения нравственных и правовых проблем, соотнесения прав и обязанностей человека. Одна из центральных проблем - проблема реализации прав и обязанностей человека в контексте проблем управления такими сложными системами, как сообщества. Интерсубъективный подход к разрешению проблемных ситуаций ориентирован на достижение внешнего, межличностного консенсуса, субъективный подход - на консенсус внутренний, внутриличностстный. В модели интерсубъективного управления (эвергетике) управление предполагает привлечение к решению непосредственно касающихся их проблем гетерогенных акторов, организуемых в ситуативные ассоциации. В рамках таких форм как переговоры и медиации, дискуссии и фокус-группы участники ситуативных ассоциаций, используя аргументированный дискурс, в процессе непосредственной коммуникаций двигаются в направлении достижения консенсуса и принятия общего, одобряемого всеми участниками обсуждения, решения. В модели субъективного или субъектного управления или самоуправления ведущим моментом оказывается способность и готовность человека управлять самим собой: выстраивать свою позицию, поведение, понимание происходящего независимо от влияний окружающих и среды, опираясь на глубокое и разностороннее понимание самого себя, своей сущности как человека. Это - своего рода умение договариваться с самим собой. Это также - умение находить и реализовывать оптимальное для себя самого решение, с учетом всех ограничений и возможностей, существующих вне и внутри себя. Субъективное управление – своеобразная интроекция интерсубъективного управления: человек договаривается с другими людьми, ищет и находит консенсус, с собой и миром внутри себя, осознавая и аргументируя вероятные и желательные следствия каждого предпринятого шага, каждого поступка, будучи уверенным в его внутренней и внешней эффективности (эффективности и самоэффективности). Этот подход позволяет дополнить описание интерсубъективного управления как со-творческого, паритетного, развивающего сообщество диалога в форме переговоров и дискуссий человека с человеком, в целях создания интерсубъективных смыслов (знаний и умения) и активизации «скрытых» знаний и умений акторов как членов ситуативной ассоциации. Этот подход дополняет его описанием управления как процесса взаимного, трансформирующего, целенаправленного взаимо(воз)действия человека и мира. В ходе такого взаимодействия акторами отбираются и реализуются наиболее оптимальные решения. Найденные решения удовлетворяют как требованиям среды (решаемой ситуации и окружающего мира в целом), так и требованиям человека (как актора – члена ситуативной ассоциации и как субъекта жизнедеятельности в

целом). При решении проблем акторы реализуют не только свои права, но и обязанности: аргументированный дискурс есть дискурс ответственный.

Практическое применение обоснованных в работе выводов расширяет практику интерсубъективных технологий управления в сферу правоприменения, правозащиты и правотворчества: вовлечения акторов в решение проблем , связанных с нарушением нравственных и правовых законов социальной жизни. Кроме того, концепция энергетики В.А. Виттиха обладает весьма значительным потенциалом в плане интеграции различных концепций и проблем управления в самых разных системах, включая сложные социальные системы , управление в сфере нравственных, идеологических и правовых, организационные аспектов их жизнедеятельности [38].

Список литературы

[1] *Бовина, И.Б.* Групповое решение / И.Б. Бовина// Социальная психология. Практикум/ Под ред. Т.В.Фоломеевой.- М.: Аспект пресс, 2006.- С. 223-242.

[2] *Aksenovskaja, L.N., Bazarov, T.U.* Managing the organizational culture: a technological issue / L.N. Aksenovskaja, T.U. Bazarov, // Psychology in Russia. – 2011. – №1. – С.361-370.

[3] *Constantino, J., Gouveia, L. B., Daradkeh, Y. I.* The idea of e-participation digital engine where people can take place / J. Constantino, L. B. Gouveia, Y. I. Daradkeh // International Journal of Open Information Technologies. – 2015. – №11. – С.25-28.

[4] *Dokukina, I. A.* Management of technological innovation processes in an organization on the basis of cost approach/ I. A. Dokukina // Вестник Орловского государственного аграрного университета. -2014.-Т. 46.-№ 1.-С. 65-70.

[5] *Eisenhardt, K.M.* Strategy as Stratégie Décision Making / K.M. Eisenhardt. – Sloan Management Review, Spring 1998. – 65p.

[6] *Koslowski, P.* Elements of a Philosophy of Management and Organization / P. Koslowski. – Berlin : Springer, 2010. – 212 p.

[7] *Prudskiy, V.G., Oshchepkov, A.M.* Management of innovative and competitive development of socio-economic systems / V.G. Prudskiy, A.M. Oshchepkov // Вестник Пермского государственного университета. – Серия: Экономика. – 2016. – №3 (30). – С.17-24.

[8] *Prudskiy, V.G., Oshepkov, A.M.* Management as a specific form of social control / V.G. Prudskiy, A.M. Oshchepkov // European Journal of Science and Theology. – 2015. – Vol. 11, № 5. – P. 185-198.

[9] *Соловьев, А.И.* Сетевая архитектура государственного управления и сетевая этика элиты как источники политической стагнации России / А.И. Соловьев // Социально-политическая трансформация современной России: поиск модели устойчивого развития. Сборник статей. – М.: Ин-т «Справедливый мир», ИС РАН, 2015. – С. 96- 100.

[10] *Слатинов, В. Б.* Реформирование государственной гражданской службы России в условиях распространения концепции «Новой публичности»: проблемы и ограничения / В.Б. Слатинов // Среднерусский вестник общественных наук. – 2016. – №3. – С.61-68.

[11] *Сморгунов, Л.В.* В поисках управляемости: концепции и трансформации государственного управления в XXI веке / Л.В. Сморгунов. – СПб.: Издательство СПбГУ, 2012. – 362 с.

[12] *Фукуяма, Ф.* Сильное государство: управление и мировой порядок в XXI веке / Ф. Фукуяма. – М.: «Хранитель», 2007.-220 с.

[13] *Виттих, В.А.* Проблемы эвергетики / В.А. Виттих // Проблемы управления. – 2014. – № 4. – С. 69 – 71.

[14] *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.

[15] *Vittikh, V.A.* Evolution of ideas on management processes in the society: from cybernetics to evergetics / V.A. Vittikh // Group Decision and Negotiation – 2015. Issue 5, Vol. 24. – P. 825 – 832.

[16] *Fyke, J.P., Feldner, S.B. and May, St.K.* Discourses about Righting the Business Society Relationship / J.P. Fyke, S.B. Feldner, St.K. May // Business and Society Review. – 2016. – Issue 2, Vol. 121. – P. 217–245.

[17] *Iff, A., Alluri, R.M.* Business Actors in Peace Mediation Processes / A. Iff, R.M. Alluri // Business and Society Review. – 2016. Issue 2, Vol. 121. – P. 187–215.

[18] *Kulik, B.W. and Alarcon, M.* Manipulative Businesses: Secular Business Cults / B.W. Kulik, M. Alarcon // Business and Society Review. – 2016. Issue 2, – Vol. 121. – P. 247–270.

[19] *Адлер, А.* Понять природу человека /А. Адлер. – СПб: Академ. проект, 1997. – 254с.
[20] *Адлер, А.* Психология власти / А. Адлер // Адлер А. Очерки по индивидуальной психологии. – М.: Когито-Центр, 2002. – С.203-207.
[21] *Адлер, А.* Спасение человечества с помощью психологии / А. Адлер // Адлер А. Очерки по индивидуальной психологии. М.: Когито-Центр, 2002. – С.47-52.
[22] *Виттих, В.А., Моисеева, Т.В.* Интерсубъективное управление: от теории к практике / В.А. Виттих, Т.В. Моисеева // Проблемы управления и моделирования в сложных системах: Труды XVIII международной конф. (20-25 сентября 2016 г., Самара, Россия). – Самара: ООО «Офорт», 2016. – С. 53-62.
[23] *Hartnett, T.* Consensus-Oriented Decision Making / T. Hartnett. – Gabriola Island, BC, Canada: New Society Publishers. 2011. – 340 p.
[24] *Vittikh, V.A.* Heterogeneous Actor and Everyday Life as Key Concepts of Evergetics / V.A. Vittikh // Group Decision and Negotiation – 2015. – Issue 6, Vol. 24. – P. 949-956.
[25] *Акофф Л.Р.* За пределами социализма и капитализма. Проблемы управления в социальных системах. Т.1. / Л.Р. Акофф. – М.: Наука, 2009. – С. 112 – 140.
[26] *Розинская, Н.А., Латов, Ю.В.* Введение. «Великая трансформация» Карла Поланьи / Н.А. Розинская, Ю.В Латов / Под ред. Р.М. Нуреева. – М.: ВШЭ, 2007. – С.11 – 21.
[27] *Gandhi, M.K.* An Autobiography or the story of my experiments with truth / M.K. Gandy. – Ahmedabad: Navajivan Publishing House, 1940. – P. 82.
[28] *Gandhi, M.K.; Fischer, L.* The Essential Gandhi: An Anthology of His Writings on His Life, Work and Ideas / M.K Gandhi, L.Fischer. – London: Vintage Books, 2002. – 368 p.
[29] *The Kōan:* Texts and Contexts in Zen Buddhism / Heine St., and Wright D.S., eds. – Oxford and New York: Oxford University Press, 2000. – 336p.
[30] *Stephenson, B.* The Koan as Ritual Performance / B. Stephenson // Journal of the American Academy of Religion. – 2005. – Vol.73 (2). – P. 475–496.
[31] *Bird, C.* The Possibility of Self-Government / C. Bird // The American Political Science Review. – 2000. – Vol. 94(3). – P. 563–577.
[32] *Hamel, G. and Breen, B.* The Future of Management/ G. Hamel and B. Breen.– New York: Harvard Business School Press, Boston, MA. 2007. – 330p.
[33] *Douglas, C., & Martin, J. K.* Communication in the transition to self-directed work teams / C. Douglas, J. K. Martin //. Journal of Business Communication. – 2006. – Vol.43(4). – P. 295-321.
[34] Carton, A., & Cummings, J. A theory of subgroups in work teams / A. Carton, J. Cummings // Academy of management review, 2012. – Vol. 37(3). – P. 441-470.
[35] *Платек, М.* Восстановительное правосудие – теория, порожденная практикой / М. Платек // Неволя. – 2005. – №4. URL: http://index.org.ru/nevol/2005-4/pltk_n4.htm (дата обращения 01.12.2016)
[36] *Сесар, К.* Карательное отношение общества / К. Сесар //Правоведение. – 1998. – № 4. – С. 162-171.
[37] *Ihering, von R.R.* Yeiat des tomischen Rechtsb / von R.R. Ihering. – Berlin, 1881. – Bd. 11. – S. 310.
[38] *Christie, N.* Crime Control as Industry / N. Christie. – London and New York: Routledge, 2000. – 210p.
[39] *Michalowski, R.J.* Order, Law, and Crime: An Introduction to Criminology / R.J. Michalowski. – New York: Random House, 1985. – 425p.
[40] *Рэнд, А.* Капитализм: Незнакомый идеал / А. Рэнд. С добавлением статей Н. Брандена, А. Гринспена и Р. Хессена. – М.: Альпина Паблишерз, 2011. – 422 с.
[41] *Marinez-Moyano, I. J.* Exploring the Dynamics of Collaboration in Interorganizational Settings / I. J. Marinez-Moyano // Creating a Culture of Collaboration. – New York: Jossey-bass, 2006. – P. 83.
[42] *Wagner, C. S. and Leydesdorff, L.* Network Structure, Self-Organization and the Growth of International Collaboration in Science / C. Wagner S. and L. Leydesdorff // Research Policy. – 2005. – №34(10). – P. 1608-1618.
[43] *Wenger, Et., McDermott, R., Snyder, W.M.* Cultivating Communities of Practice / Et. Wenger, R. McDermott, W.M. Snyder. – Harvard : Harvard Business Press; 2002. – 284 p.
[44] *Tetlock, Ph. & Gregory, M.* Implicit Bias and Accountability Systems / Ph. Tetlock, M. Gregory // Research in Organizational Behavior. – 2009. – Vol.29. – P. 3-38.
[45] *Lave, J.* Cognition in practice: Mind, mathematics and culture in everyday life / J. Lave. – Cambridge: Cambridge University Press. 1988. – 232 p.
[46] *Lave, J., & Wenger, E.* Situated learning: Legitimate peripheral participation / J. Lave, & E. Wenger. – Cambridge: Cambridge University Press. 1991. – 138 p.

[47] *Арпентьева, М.Р.* Переговоры в теории интерсубъективного управления / М.Р. Арпентьева, Т.В. Моисеева // Онтология проектирования. – 2017. – Т. 7, №1(23). - С. 102-114. – DOI: 10.18287/2223-9537-2017-7-1-102-114.
[48] *Бесемер, Х.* Медиация. Посредничество в конфликтах / Х. Бессемер. – Калуга: Духовное познание, 2004. – 200с.
[49] *Gelderloos, P.* Consensus: A New Handbook for Grassroots Social, Political, and Environmental Groups. / P. Gelderloos. – Tucson: See Sharp Press, 2006. – 124p.
[50] *Martin, B.* Research Foresight and the exploitation of science base / B. Martin. – London: Stationery Office, HSMO, 1993. – 81p..

Biography

Arpentieva Mariam Ravilievna (born in 1972, Kaluga) graduated from the Kaluga State Pedagogical Institute in 1994. Graduated from postgraduate course of Moscow M.V. Lomonosov state University in 1999.She defended her candidate thesis in 1999 and doctoral thesis in 2015. She is professor at Tsiolkovskiy Kaluga state University, Department of psychology of development and education. She is author more than 650 scientific articles and monographs in the field of social psychology and philosophy: understanding and comprehension in social interaction.

ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЙ В ЭМОЦИОНАЛЬНО МОТИВИРОВАННЫХ СИСТЕМАХ

Г.П. Виноградов, Н.Г. Виноградова, Е.Е. Фомина

Тверской государственный технический университет,
170023, Тверь, ул. Маршала Конева, 12, Россия
wgp272ng@mail.ru, n-nataly08@mail.ru, ipm-tstu@mail.ru

Ключевые слова: *возможностная оптимизация, целеустремленные системы, нечеткое суждение, ситуация выбора*

Abstract

The paper deals with the problem of choice in a system whose behavior is determined by some integral emotional assessment of its state. Such an assessment is defined as the "degree of satisfaction" of the subject of managing his state in the situation of choice. This subject expresses this evaluation in terms of the linguistic scale from an extremely negative assessment to the maximum possible in a specific context. The desire to get out of a state that has a negative emotional assessment and to prolong the state with positive assessments given in instincts is suggested to be considered as a driving force for the subject to act (make decisions) in order to ensure the survival, search and accumulation of new knowledge. It is shown that the subject uses fuzzy judgments to increase his confidence in the realizability of the decisions made. The rules for constructing such judgments in problems of possible optimization are considered.

Введение

Эмоционально мотированные системы – это такие системы, поведение которых определяется некоторой интегральной эмоциональной оценкой своего состояния. К числу таких систем следует причислить и человека. Подобная оценка в таких системах в [1] была определена, как «степень удовлетворенности» субъекта своим состоянием в ситуации выбора. Эту оценку субъект выражает в термах лингвистической шкалы от крайне отрицательной оценки до максимально возможной в конкретном контексте. Желание выйти из состояния, имеющего отрицательную эмоциональную оценку и продлить состояние с положительными оценками, данное нам в инстинктах, следует рассматривать, как движущую силу для субъекта действовать (принимать решения), чтобы обеспечить выживание, поиск и накопление новых знаний. Это позволило ввести в проблематику теории принятия решений принцип эндогенного формирования целей [2] на основе анализа субъектом причин своего эмоционального состояния.

Деятельность, наблюдаемая часть поведения, всегда связана с принятием решений, а также разработки новых способов и стратегий деятельности. Практика реализации выбранного способа действия наступает тогда, когда субъект испытывает определенную степень уверенности в возможности достижения заявляемых целей выбранным способом действия. необходимость гарантировать при принятии решений определенный уровень убежденности получения желаемых результатов определяет целесообразность использования смысловые аналоги возможностной переменной при принятии решений. Это, например, степень достижения цели, применяемая в методе анализа затрат и результатов, или оценка качества продукции и т.п. В свою очередь нечеткость оценок учитываемых параметров возникает в результате того, что основным процессом, который обеспечивает входную информацию для выбора, является восприятие. Это функциональный отклик на некоторый стимул. Второй процесс – это осознание - восприятие своего умственного состояния. Третий – память, которая дает возможность субъекту откликаться на то, что он ощущал раньше. В результате у целеустремленного субъекта формируется модель ситуации выбора. Она представляет множество структурных и функцио-

нальных свойств, которыми по убеждению целеустремленного субъекта обладает ситуация выбора, и, которые, по его убеждению, влияют на его удовлетворенность или неудовлетворенность ситуацией [3].

1 Возможностная оптимизация

Определим возможностную переменную y с помощью отображения f на произвольном четком множестве X, меру возможности π и определенное с ее помощью распределение возможностной переменной $\mu_Y(y)$ в соответствии с [4]:

$$f : X \to E^1, \quad \pi : P(X) \to E^1,$$

$$y = f(x) \text{ для } \forall x \in X, \quad \mu_Y(y) = \pi\{x \in X : f(x) = y\} = \pi\left\{x \in f^{-1}\right\},$$

Считаем без потери общности, что множество f^{-1} является нечетким множеством. Тогда $\mu_Y(y) = \sup_{x \in f^{-1}} \mu_{f^{-1}}(x)$.

В этом случае постановка задачи возможностной оптимизации будет иметь вид.

(1) $\quad f(x) \to \max, x \in X, \; f(x) \ge y^*, \; \mu_Y(y) \ge \mu^*.$

Решение задачи (1) обеспечивает максимальную возможность удовлетворенности целеустремленного субъекта результатом выбора на множестве доступных для него действий при гарантированной возможности y^* и силе его убежденности μ^*. Рассмотрим более сложный случай, когда возможностная переменная y определена на четком множестве Z значений критериев z. Тогда

$$Z : X \to E^n, \quad f : Z \to E^1, \quad \pi : P(Z) \to E^1,$$

$$y = f(z(x)), z \in Z, x \in X,$$

$$\mu_Y(y) = \pi\{z \in Z : f(z) = y\} = \pi\{z \in f^{-1}\}, \qquad \mu_Y(y) = \sup_{z \in f^{-1}} \mu_{f^{-1}}(z).$$

В этом случае постановка задачи возможностной оптимизации будет иметь вид.

$$f(z(x)) \to \max, z \in Z, x \in X,$$

$$f(z(x)) \ge y^*, \; \mu_Y(y) \ge \mu^*.$$

Рассмотрим нечеткие множества X, Z и отображение $Z : X \to Z$ с функциями принадлежности $\mu(x), \mu(z), \mu_{X \times Z}(x, z)\}$. В этом случае будем использовать понятие нечеткого суждения, которое может утверждать связь между предметом и его признаком (суждения о целях и об ограничениях), отношение между предметами (суждения о причинно-следственных связях «если…, то…»), факт существования предмета (система находится в определенном состоянии, осуществлено определенное управляющее воздействие). В этом случае мы можем говорить о нечетких целях, ограничениях, причинно-следственных связях, решениях и о состояниях. Рассуждение представляет ряд суждений, относящихся к какому либо вопросу, которые идут одно за другим таким образом, что из предшествующих суждений необходимо вытекают или следуют другие, а в результате получается ответ на поставленный вопрос. Про-

цесс принятия решений, использующий нечеткие суждения, можно рассматривать как нечеткие рассуждения. Для нашего случая рассмотрим нечеткое суждение «переменная Z может принять значение z и $x \in X$ и $z \in Z$ и $(x,z) \in X \times Z$», что соответствует нечеткому суждению

$$\{\gamma \in \Gamma : Z(\gamma) = z, x \in X, z \in Z, (x,z) \in X \times Z\} =$$

$$= \{\gamma \in Z^{-1}(z) \wedge (x \in X) \wedge (z \in Z) \wedge ((x,z) \in X \times Z\}.$$

Тогда $\mu_Y(y) = \min\{ \sup_{z \in f^{-1}} \mu_{f^{-1}}(z), \mu(x), \mu(z), \mu_{X \times Z}(x,z)\}.$

Рассмотрим случай, когда z являются возможностными переменными.

$$\mu_Z(z) = \sup_{x \in Z^{-1}} \mu_{Z^{-1}}(x),$$

$$\mu_Y(y) = \min\{ \sup_{z \in f^{-1}} \mu_{f^{-1}}(z), \mu(x), \mu_Z(z), \mu_{X \times Z}(x,z)\}.$$

В этом случае также применено нечеткое суждение. Допустим, что

$$y = f_y(a,z), a = \{a_i, i \in I\}, z = \{z_i, i \in I\}, y, a_i, z_i \in E^1, i \in I,$$

$$Y : \Gamma \to E^1, \; A_i : \Gamma_{ai} \to E^1, \; Z_i : \Gamma_{zi} \to E^1,$$

$\mu_Y(y)$ - возможность того, что переменная Y может принять значение y, т.е. что и $(y \in Y^{-1}(\gamma_y), \gamma_y \in \Gamma_y)$ и для $\forall i \in I$ $(a_i \in A_i^{-1}(\gamma_{ai}), \gamma_{ai} \in \Gamma_{ai})$ и для $\forall i \in I$ $(z_i \in Z_i^{-1}(\gamma_{zi}), \gamma_{zi} \in \Gamma_{zi})$ и $y = f_y(a,z)$, где $a = \{a_i, i \in I\}, z = \{z_i, i \in I\}$.

Последнее условие равносильно и для $\forall i \in I$ и $(a_i \in A_i^{-1}(\gamma_{ai}), \gamma_{ai} \in \Gamma_{ai})$ и $(z_i \in Z_i^{-1}(\gamma_{zi}), \gamma_{zi} \in \Gamma_{zi})$. Тогда

$$\mu_Y(y) = \mu((y \in Y^{-1}(\gamma_y), \gamma_y \in \Gamma_y) \wedge (\wedge_{i \in I} (a_i \in A_i^{-1}(\gamma_{ai}), \gamma_{ai} \in \Gamma_{ai}) \wedge$$

$$\wedge (\wedge_{i \in I} (z_i \in Z_i^{-1}(\gamma_{zi}), \gamma_{zi} \in \Gamma_{zi})) == \min\{ \sup_{\gamma_y \in Y^{-1}} \mu_{Y^{-1}}(y),$$

$$\min\{ \sup_{i \in I \; \gamma_{ai} \in A_i^{-1}} \mu_{A_i^{-1}}(a_i)\}, \min\{ \sup_{i \in I \; \gamma_{zi} \in Z_i^{-1}} \mu_{Z_i^{-1}}(z_i)\}\}.$$

Допустим, что

$$y = f_y(a,z), \; a = \{a_i, i \in I\}, \; z = \{z_i, i \in I\}, \; y, a_i, z_i \in E^1, \; i \in I,$$

$$z = f_z(b,x), \; x \in X, \; b = \{b_j, j \in J\}, x = \{x_j, j \in J\},$$

$$Y : \Gamma \to E^1,\ A_i : \Gamma_{ai} \to E^1,\ Z_i : \Gamma_{zi} \to E^1,\ B_j : \Gamma_{bj} \to E^1.$$

$\mu_Y(y)$ – это возможность того, что переменная Y может принять значение y, т.е. что $(y \in Y^{-1}(\gamma_y), \gamma_y \in \Gamma_y)$, $(a_i \in A_i^{-1}(\gamma_{ai}), \gamma_{ai} \in \Gamma_{ai})$, $(z_i \in Z_i^{-1}(\gamma_{zi}),\ \gamma_{zi} \in \Gamma_{zi})$ для $\forall i \in I$ и $y = f_y(a, z)$, где $a = \{a_i, i \in I\}, z = \{z_i, i \in I\}$, $(b_j \in B_j^{-1}(\gamma_{bj}), \gamma_{bj} \in \Gamma_{bj})$, для $\forall j \in J$, где $b = \{b_j, j \in J\}, x = \{x_j, j \in J\}$.

Тогда

$$\mu_Y(y) = \mu((y \in Y^{-1}(\gamma_y), \gamma_y \in \Gamma_y) \wedge (\underset{i \in I}{\wedge} (a_i \in A_i^{-1}(\gamma_{ai}), \gamma_{ai} \in \Gamma_{ai}) \wedge$$

$$\wedge (\underset{i \in I}{\wedge} (z_i \in Z_i^{-1}(\gamma_{zi}), \gamma_{zi} \in \Gamma_{zi})) = \mathbf{min}\{\ \underset{\gamma_y \in Y^{-1}}{\mathbf{sup}}\ \mu_{Y^{-1}}(y),$$

$$\mathbf{min}\{\ \underset{i \in I}{\mathbf{sup}}\ \underset{\gamma_{zi} \in Z_i^{-1}}{\mu_{Z_i^{-1}}}(z_i)\}, \mathbf{min}\{\ \underset{j \in J}{\mathbf{sup}}\ \underset{\gamma_{bj} \in B_i^{-1}}{\mu_{B_i^{-1}}}(b_j)\}.$$

2 Возможностная оптимизация представлений целеустремленных субъектов

Рассмотрим модельное пространство следующего вида:

$$\Gamma = \{< f(z(x)), Z, X, x = \mathbf{arg\,max}\{f(z(x)) : z \in Z, x \in X\} >\}.$$

Здесь $\gamma =< f(z(x)), Z, X, x = \mathbf{arg\,max}\{f(z(x)) : z \in Z, x \in X\} >$ соответствует образу и представлению целеустремленного субъекта о постановке и решении задачи оптимизации.

Возможностная переменная w может быть определена с помощью отображения W на модельном пространстве Г, а распределение возможностной переменной $\mu_W(w)$ - определено с помощью меры возможности π:

$$W : \Gamma \to E^{-1},\ \mu_W(w) = \pi\{\gamma \in \Gamma : W(\gamma) = w\} = \pi\left\{\gamma \in W^{-1}\right\},$$

$$\mu_W(w) = \mathbf{min}\{\ \underset{\gamma \in W^{-1}}{\mathbf{sup}}\ \mu_{W^{-1}}(\gamma), \mu_\Gamma(\gamma)\}.$$

В этом случае также может быть рассмотрено нечеткое суждение и задача возможностной оптимизации будет иметь вид

$$W(\gamma) \to \mathbf{max}, \gamma \in \Gamma,$$

$$W(\gamma) \geq w^*,\ \mu_W(w) \geq \mu^*.$$

Решение данной задачи обеспечивает максимальную возможность удовлетворенности целеустремленного субъекта своими представлениями о постановке и решении задачи оптимизации при гарантированной возможности w^* и силе его убежденности μ^*.

Можно ввести критерии оценки решений задач оптимизации $k \in K$. Тогда $\Phi : \Gamma \to K$. В этом случае также рассматривается нечеткое суждение вида:

$$\mu_W(w) = \min\{ \sup_{\gamma \in K^{-1}} \mu_{K^{-1}}(k), \mu_K(k), \mu_{K \times \Gamma}(k, \gamma), \mu_\Gamma(\gamma)\},$$

Постановка задачи выбора будет иметь вид.

$W(k(\gamma)) \to \max, k \in K, \gamma \in \Gamma,$

$W(k(\gamma)) \geq w^*, \mu_W(w) \geq \mu^*.$

Рассмотрим теперь продвижение к цели γ^* целеустремленного субъекта на интервале $(t_1 - t_m)$ [3]. Ожидаемая ценность относительно результата z монотонно возрастает на этом интервале. Цель (долгосрочный желаемый результат) для целеустремленного субъекта для множества окружений выбора на интервале времени $(t_1 - t_n)$ представляет последний результат (задачу) $\gamma_n = \gamma^*$ из множества доступных для целеустремленного субъекта результатов (задач) $\Gamma = \{\gamma_1, \gamma_2, ..., \gamma_i, ..., \gamma_n = \gamma^*\}$, упорядоченных так, что $\gamma_1 \succ \gamma_2 \succ \gamma_3 \succ ... \succ \gamma_i \succ ... \succ \gamma_{n-1} \succ \gamma_n = \gamma^*$ для целеустремленного субъекта за время $(t_1 - t_n)$. Причем, γ^* недоступен для него в окружениях из данного множества окружений на интервале $(t_1 - t_n)$, но существует результат $(1<i<n)$, являющийся задачей для целеустремленного субъекта в этих окружениях на интервале $(t_1 - t_n)$, такой, что при его достижении возрастает возможность того, что целеустремленный субъект получит результат γ^* в более поздний момент времени t_i $(i < n)$.

Рассмотрим множество задач $\Gamma = \{\gamma_1, \gamma_2, ..., \gamma_i, ..., \gamma_n = \gamma^*\}$, $\Gamma = \bigcup_{i \in I} \Gamma_i$,

$\Gamma_i = [\gamma_i = (\gamma_{i-1} \cup \{\gamma_{il}^+ : l \in L\}) \setminus \{\gamma_{i\lambda}^- : \lambda \in \Lambda\}]$, $\forall i \in I, f_i : \Gamma_i \to E^1$.

Задача γ_i в момент i представляет множество мероприятий при решении задачи в момент (i-1),объединенных с множеством $\{\gamma_{il}^+ : l \in L\}$ «сильных» мероприятий, добавленных в момент i, и из которого в этот момент исключены «слабые мероприятия» $\{\gamma_{i\lambda}^- : \lambda \in \Lambda\}$. Тогда

$$\mu_{Y_i}(y_i) = \pi\{\gamma_i \in \Gamma_i : f_i(\gamma_i) = y_i\} = \pi\{\gamma_i \in f_i^{-1}\},$$

$$\mu_{Y_i}(y_i) = \sup_{\gamma_i \in f_i^{-1}} \mu_{f^{-1}}(\gamma_i = (\gamma_{i-1} \cup \{\gamma_{il}^+ : l \in L\}) \setminus \{\gamma_{i\lambda}^- : \lambda \in \Lambda\}).$$

В этом случае также применено нечеткое суждение. Если множества $\{\gamma_{il}^+ : l \in L\}$ и $\{\gamma_{i\lambda}^- : \lambda \in \Lambda\}$ являются нечеткими, то

$$\mu_{Y_i}(y_i) = \min\{\max\{\sup_{\gamma_{i-1} \in f_{i-1}^{-1}} \mu_{f_{i-1}^{-1}}(\gamma_{i-1}), \min_{l \in L} \mu_{il}(\gamma_{il}^{+})\}, (1 -$$

$$- \min_{\lambda \in \Lambda} \mu_{i\lambda}(\gamma_{i\lambda}^{-}))\}$$

и задача возможностной оптимизации для каждого i=1,2,...,n будет иметь вид

$$f_i(\gamma_i) \to \max, \gamma_i \in \Gamma_i,\ f_i(\gamma_i) \geq y^*,\ \mu_{Y_i}(y_i) \geq \mu^*.$$

3 Возможностная оптимизация в целеустремленных группах

Рассмотрим группу целеустремленных субъектов $j \in J$, которые стремятся к достижению своих целей с помощью действий $x \in X$ и $x_j \in X_j$. Введем возможностную переменную достижения цели группы y и возможностные переменные достижения целей субъектов v_j. Цели группы и субъектов описываются с помощью целевых критериев $z \in Z$ и $z_j \in Z_j$. Пусть

$$Z : X \to E^n,\quad f : Z \to E^1,\ \pi : P(Z) \to E^1,$$

$$y = f(z(x)),\quad z \in Z, x \in X,\ \mu_Y(y) = \pi\{z \in Z : f(z) = y\} = \pi\{z \in f^{-1}\},$$

$$\mu_Y(y) = \pi\{z \in Z : f(z) = y\} = \pi\left\{z \in f^{-1}\right\},$$

$$\mu_Y(y) = \sup_{z \in f^{-1}} \mu_{f^{-1}}(z),$$

Пусть для каждого целеустремленного субъекта будет выполняться следующее.

$$\forall j \in J \quad Z_j : X_j \to E^n \quad V_j : Z_j \to E^1$$

$$v_j = V_j(z_j(x)), z_j \in Z_j, x \in X,$$

$$\mu_{V_j}(v_j) = \pi\{z_j \in Z_j : V_j(z_j) = v_j\} = \pi\{z_j \in v_j^{-1}\},$$

$$\mu_{V_j}(v_j) = \sup_{z_j \in V_j^{-1}} \mu_{V_j^{-1}}(z_j),$$

$$R_j = Arg\max\{V_j(z_j(x)) : z_j \in Z_j, x \in X\}, R = \bigcap_{j \in J} R_j.$$

Рассмотрим возможностную переменную w, оценивающую возможность выполнения ограничения $x \in R$, причем.

$$W : X \to E^1,\ \pi : P(X) \to E^1,\ w = W(x) \text{ для } \forall x \in X,$$

$$\mu_W(w) = \pi\{x \in X : W(x) = w, x \in R_j, j \in J\} = \pi\{x \in W^{-1}, x \in R_j, j \in J\}$$

$$\mu_W(w) = \min\{\sup_{x \in W^{-1}} \mu_{W^{-1}}(x), \min_{j \in J} \{\mu_{R_j}(x), j \in J\}.$$

В этом случае также рассмотрено нечеткое суждение, а задачу возможностной оптимизации в целеустремленных группах можно записать в виде:

$$f(z(x)) \to \max, z \in Z, x \in X,$$

$$y = f(z(x)) \geq y^*,\ v_j = V_j(z_j(x)) \geq v^*,\ \mu_Y(y) = \sup_{z \in f^{-1}} \mu_{f^{-1}}(z) \geq \mu^*,\ w = W(x) \geq w^*,$$

$$\mu_{V_j}(v_j) = \sup_{z_j \in V_j^{-1}} \mu_{V_j^{-1}}(z_j) \geq \mu^*,$$

$$\mu_W(w) = \min\{\sup_{x \in W^{-1}} \mu_{W^{-1}}(x), \min_{j \in J} \{\mu_{R_j}(x), j \in J\} \geq \mu^*.$$

Рассмотрим случай, когда осуществляется оптимизация уровня k, определенного с помощью целевых критериев z, при ограничениях по возможности удовлетворенности y^* и по силе убежденности μ^*:

$$k(x) \to \max, x \in X,$$

$$k(x) \geq y^*, \mu_Y(y) = \sup_{k \in f^{-1}} \mu_{f^{-1}}(k) \geq \mu^*,\ w = W(x) \geq w^*,$$

$$\mu_W(w) = \min\{\sup_{x \in W^{-1}} \mu_{W^{-1}}(x), \min_{j \in J} \{\mu_{R_j}(x), j \in J\} \geq \mu^*.$$

В этом случае также рассмотрено нечеткое суждение. Рассмотрим модельное пространство следующего вида:

$$\Gamma = \bigcap_{j \in J} \Gamma_j,\ \Gamma_j = \{< f_j(z_j(x)), Z, X, x = \arg\max\{f_j(z_j(x)) :$$

$$z_j \in Z, x \in X >\}, j \in J.$$

Введем возможностную переменную w, определенную с помощью отображения W на модельном пространстве Г, меру возможности π и определенное с ее помощью распределение возможностной переменной $\mu_W(w)$. Справедливо утверждение

$$W : \Gamma \to E^{-1}$$

$$\mu_W(w) = \pi\{\gamma \in \Gamma : W(\gamma) = w\} = \pi\{\gamma \in W^{-1}\},$$

$$\mu_W(w) = \min\{\sup_{\gamma \in W^{-1}} \mu_{W^{-1}}(\gamma), \mu_\Gamma(\gamma) = \min_{j \in J} \mu_{\Gamma_j}(\gamma_j) : \gamma \in \Gamma, \gamma_j \in \Gamma_j\}.$$

Тогда задача возможностной оптимизации будет иметь вид

$$W(\gamma) \to \max, \gamma \in \Gamma, W(\gamma) \geq w^*, \mu_W(w) \geq \mu^*.$$

Решение данной задачи обеспечивает максимальную возможность удовлетворенности целеустремленного субъекта на множестве доступных для него решений задачи оптимизации γ при гарантированной возможности w^* и силе его убежденности μ^*.

Заключение

Рассмотрен подход к решению проблемы субъективного выбора на основе суждений субъекта о свойствах ситуации выбора и эмоциональных оценок свойств ситуации выбора. Несмотря на очень большое число параметров, воздействующих на организм, эмоциональная оценка текущего состояния в каждый момент только одна. Это интегральная оценка. Хотя в принципе эмоциональных оценок несколько и они выражаются вербально и делятся на классы объектов: эмоциональные оценки прошлого, настоящего и ожидаемого будущего.

Обычная ситуация выбора – враждебная окружающая среда старается ввести агента в неблагоприятное для него состояние. Аппарат эмоций реагирует на это «неприятной» эмоциональной оценкой. Агент, мотивированный эмоциями, старается сделать все возможное, чтобы повысить свою эмоциональную оценку в более или менее отдаленном будущем, выбирая оптимальный вариант будущего именно по прогнозируемым им эмоциональным оценкам. Определение таких воздействий на среду, которые могли бы помочь агенту целенаправленно выходить из плохих состояний, и переходить в хорошие, предлагается сделать на основе результатов теории возможностей.

Показано, что аппарат эмоций решает несколько различных задач и является сложной многофункциональной подсистемой системы управления агента, которая устанавливает отношение между состояниями системы и его эмоциональными ощущениями. Кроме того, аппарат эмоций задает постоянное стремление к улучшению эмоциональных ощущений, тем самым являясь причиной постоянной внутренней активности системы управления агента, например, запускает механизм рассудочной деятельности агента.

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ РАН (грант № 17-01-00728).

Список литературы

[1] Gennadiy Vinogradov, Nataliy Vinogradova. Decision-Making by Agents with Endogenous Aims. III International Scientific Conference “Information Technologies in Science, Management, Social Shfere and Medicine” (ITSMSSM 2016). – 2016, Tomsk, Russian Federation, May 2016. – pp. 77-83.

[2] Виноградов, Г.П. Самоорганизующиеся сетевые экспертные среды в системах с эндогенным принципом целеуказания / Г.П. Виноградов, Н.Г. Виноградова // Онтология проектирования. – 2016. – Т. 6, № 1(19). - С. 39-54. – DOI: 10.18287/2223-9537-2016-6-1-39-54.

[3] 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.

[4] Пытьев, Ю.П. Возможность: элементы теории и применения. - М. : Эдиториал УРСС, 2000. - 190 с.

ЭВЕРГЕТИКА И ФЕНОМЕНОЛОГИЯ

В.А. Виттих

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт проблем управления сложными системами Российской академии наук
443020, Самара, ул. Садовая, 61, Россия
vav1940@gmail.com
тел: +7 (846) 332-39-27, факс: +7 (846) 333-27-70

Ключевые слова: *эвергетика, феноменология, жизненный мир, повседневность, проблемная ситуация, очевидность, актор, интерсубъективность, интенциональность, рациональность.*

Abstract

The article substantiates the application of phenomenology as a methodological foundation of the Evergetics - the science of management processes in the society focused on the immediate participation of people - actors from everyday life (who are not professional managers) in settling those problem situations that they are experiencing. Evergetics, in contrast to the "objective" classical management science, is subjective and value-oriented science, and the phenomenological method is exactly unique by the fact that it considers the physical world and the consciousness of the individual as related parts of a single. This is of decisive importance for the Evergetics, proceeding from the fact that the activity of actors should be based on the unity in their minds of the contemplative and rational beginnings. The concept of everyday life world, borrowed by the Evergetics from the phenomenology, includes into consideration the sphere of initial pre-predictive truths and evidences (intuitive experience), which opens up new opportunities to improve the quality of decisions made by the actors. Since each problem situation is unique, then the perceiving of its essence (meaning) is possible if we distract from the number of observations and focus our attention only on one example. For this, phenomenology offers an intuitive-contemplative procedure called ideation. Therefore, if the classical management science assumes a certain goal-oriented rationality of managers from the "world of systems", then the Evergetics is designed to empower actors from the "world of everyday life" with phenomenological rationality.

Введение

Каждый человек в повседневной жизни постоянно сопоставляет свои ожидания, которые представляются ему потенциальным благом, с наличной реальностью, с тем, что сейчас с ним происходит, и, обнаружив расхождение между ними, предпринимает какие-то действия для того, чтобы исправить не устраивающее его положение дел. Можно предположить, что человек принимает решение о способе своего действования абсолютно самостоятельно, независимо от кого-либо, исходя из его сугубо субъективного понимания складывающейся проблемной ситуации. Однако это было бы слишком сильной идеализацией, поскольку сознание человека интерсубъективно, и он всегда, если не разделяет, то по крайней мере принимает во внимание позиции других людей, озабоченных той же проблемой, и начинает коммуницировать с ними, если собственных ресурсов ему недостаточно для решения проблемы.

Несмотря на различные ценностные предпочтения и амбиции, люди из повседневности начинают объединяться в ассоциации, где каждый из них, по-своему осмысливая проблемную ситуацию, тем не менее понимает необходимость выработки некоторого общего интерсубъективного смысла проблемы, который позволил бы им соединить усилия для её решения. Ассоциация, таким образом, рассматривается как сообщество, цель которого ещё не обособилась от целей его ассоциированных членов, стремящихся найти устраивающее всех направление дей-

ствий для урегулирования проблемной ситуации. В процессе этих поисков вырисовываются объекты исследований и управления как некоторые области непосредственно наблюдаемой реальности, для которых выявлены устойчивые и необходимые связи между её отдельными составляющими, а одновременно членам ассоциации становится всё более ясным, какие задачи нужно решать и при каких ограничениях.

Описанный в самых общих чертах фрагмент из повседневной жизни общества можно было бы назвать зарождением проблемы (germing of problem). Люди, осознающие эту проблему и заинтересованные в получении ожидаемых благ, естественным образом стремятся принять непосредственное участие в её решении, но могут не достичь успеха из-за недостатка их объединённых материальных, интеллектуальных и волевых ресурсов. И вот тогда они обращаются за помощью к посредникам из «мира систем» - государственным органам и бизнес – структурам, располагающим действенными рычагами управления – властью и денежными ресурсами. Если их согласие на участие в урегулирование проблемной ситуации получено (хотя, конечно же, не исключена была возможность отказа), то функционеры из мира систем (чиновники и менеджеры) включаются в процесс решения проблемы (problem solving).

Оценка результатов (outcome evaluation) принятых решений, выразившихся в изменении ситуации, производится в мире повседневности, и если новое (трансформированное) положение дел потребителей благ устраивает, то ситуация признаётся урегулированной. Если – нет, то происходит возврат на этап зарождения проблемы, после чего рассмотренная процедура повторяется.

Здесь следует отметить одно важное обстоятельство. Дело в том, что классическая наука управления (management science) концентрирует своё внимание на решении проблем : объект, цель и задачи управления считаются заданными; необходимо разработать методы и средства их решения, которыми будут пользоваться профессиональные управленцы, являющиеся «элементами» систем управления и занимающиеся управлением системами [1]. Заботы жизненного мира оказываются на периферии её внимания, а понятие «благо», заключающее в себе определённый положительный смысл и значимое для людей из повседневности, исключается из рассмотрения и заменяется прагматичным и измеряемым понятием «ресурсы». Более того, практика показывает, что чиновники и менеджеры, ориентированные на повышение показателей эффективности самих систем, в которых они выполняют возложенные на них функции, начинают корректировать не только цели и задачи жизненного мира, но и самостоятельно оценивать результаты своей собственной деятельности, отодвигая на задний план интересы людей из повседневности. Жизненный мир оказывается под прессом мира систем, а рядовые граждане отстраняются от участия в процессах управления, в результате чего возрастает социальная напряжённость, чреватая своими негативными последствиями.

В этих условиях всё возрастающую роль должно играть непосредственное участие людей из повседневности в процессах управления, обеспечивающее принятие сбалансированных социально значимых решений, ставящих во главу угла идею блага. В жизни различных человеческих сообществ можно увидеть примеры, иллюстрирующие движение в этом направлении. Однако для перехода от получения фрагментарных результатов к теоретически обоснованным программам действий, для создания нормативно – правовой базы, обеспечивающей возможность практического применения «непосредственного управления», необходимо иметь соответствующее научное основание. С этой целью и создаётся эвергетика (от греческого «эвергет» - благодетель) – субъектно – и ценностно-ориентированная наука о процессах управления в обществе [2–4] (в отличие от субъектно- и ценностно-инвариантной классической науки). По этой причине эвергетика не может опираться на традиционную гносеологию – теорию познания, ставшую в 17 веке центром внимания всей западной философии; эту функцию может выполнить феноменология [5], которая по замыслу своего создателя Э.Гуссерля претендует на статус учения о первоистоках знания, исповедующего принцип беспредпосылочности познания: феноменологический опыт должен быть ограждён от любых привносимых извне допуще-

ний. Тогда с классической наукой управления эвергетика будет находиться в отношении дополнительности, поскольку они будут представлять собой два взаимоисключающих, но дополнительных подхода к описанию одной и той же реальности [6]. Поскольку в предшествующих работах взаимосвязь эвергетики и феноменологии только обозначена, в данной статье даётся более развёрнутое обоснование использования феноменологии в качестве методологического фундамента эвергетики.

1 Повседневный жизненный мир и мир науки

В феноменологии Э.Гуссерля ключевую роль играет понятие «жизненный мир», в развитие которого в своей социальной феноменологии А.Шюц ввёл термин «повседневная жизнь», или «повседневность». Поскольку авторы не прояснили соотношения между этими терминами, будем использовать их как близкие по значению понятия, как синонимы. И несмотря на то, что некоторые исследователи, занимающиеся интерпретацией феноменологического наследия, считают необходимым различать понятия «жизненный мир» и «повседневность», по-видимому следует согласиться с позицией автора статьи [7], в которой утверждается, что до сих пор границы, где кончается повседневность и начинается жизненный мир человека, остаются размытыми.

Определение жизненного мира, всегда отнесённого к субъекту, Э.Гуссерль даёт путём противопоставления его конструкциям объективной классической науки, в более узком смысле естествознания. Именно жизненный мир является той общей почвой, на которой вырастают все науки, а поэтому при выработке научных понятий всегда происходит обращение к этому открытому, пред – данному нам миру. Э.Гуссерль подчёркивает, что «подлинное понимание того, о чём речь идёт в естественных науках, невозможно без соотнесения с жизненным миром и его практическими реалиями» [8]. Иными словами, жизненный мир – это сфера первоначальных допредикативных истин и очевидностей.

Тем не менее, как отмечается в [9], жизненный мир «не осознаётся нами непосредственно и сохраняет статус полной анонимности. Поэтому мы заслоняем его научной картиной мира и исходим не из доксического (от греческого «докса» - верование) опыта чистых незамутнённых интуиций, а из предикативного опыта научных конструктов, наивно полагая, что эти последние и образуют аутентичное представление о мире. Именно здесь, по Э.Гуссерлю, следует искать радикальную причину кризиса европейской духовной жизни… Преодоление кризиса Э.Гуссерль усматривает в радикальном повороте философского внимания от научных построений к очевидностям жизненного мира».

Вслед за Э.Гуссерлем прояснение отношений между реальностью мира повседневной жизни и реальностью теоретического, научного созерцания совершил А.Шюц в своей работе [10]. «Мир повседневной жизни должен обозначать интерсубъективный мир, который существовал задолго до нашего рождения, пережитый и проинтерпретированный другими, нашими предшественниками, как организованный мир. Теперь он дан нашему переживанию и интерпретации. Любая интерпретация этого мира основана на запасе предыдущих его переживаний, переживаний наших собственных и переданных нам нашими родителями и учителями… Мир с самого начала является не частным миром одного индивида, но интерсубъективным миром, общим для всех нас, в котором нами движет не теоретический, а в наивысшей степени практический интерес. Мир повседневной жизни есть сцена и одновременно объект наших действий и взаимодействий. Мы должны овладеть им и мы должны преобразовать его».

При этом «мы должны отличать учёного в качестве человеческого существа, действующего и живущего своей повседневной жизнью среди других, от теоретического мыслителя, который, мы повторяем это, заинтересован не в подчинении мира, а в приобретении знаний путём наблюдений за ним… Теоретический мыслитель заключает своё физическое существование, и значит своё тело, в скобки». Следовательно он не способен «схватить – даже как по-

тенциальность – Я Другого как неразрывное единство. Все эти высказывания можно суммировать в одном : теоретизирующее Я одиноко, и у него нет социальной среды; оно находится вне социальных соотношений» [10].

«Именно в жизненном мире сокрыты очевидности, обеспечивающие доступ к реальности. Поэтому обыденный человек, погружённый в жизненный мир и непосредственно переживающий его, обладает бесконечными преимуществами перед человеком науки» [11], а поэтому классический научный подход нельзя рассматривать как панацею от всех бед при решении жизненных проблем. Например, ещё в 60-е годы прошлого столетия в [1] поднимался вопрос о чрезмерном преувеличении роли «чистой» науки при управлении предприятиями и о низкой отдаче, получаемой от вложений в научные разработки, выполненные в этом направлении. Известный специалист в области менеджмента К.В.Черчмен писал тогда : «Некоторые из моих учеников опрашивали авторов работ, помещённых в журнале «Исследование операций» за первые 6 лет его существования, чтобы выяснить, сколько предложенных ими рекомендаций было внедрено в практику управления предприятиями. Им не удалось найти достаточно убедительного примера того, чтобы рекомендации были приняты» [1].

В качестве причины такого негативного результата было названо отсутствие взаимопонимания между руководителями (начальниками) и научными работниками – разработчиками рекомендаций, с чем нельзя не согласиться. Но разве дело только в этом? Рекомендации специалистов в области исследования операций, приглашённых со стороны, могли быть отторгнуты не топ-менеджерами, а простыми людьми, не являющимися профессиональными управленцами, погружёнными в жизненный мир предприятия и переживающие «изнутри» проблемные ситуации, возникающие в нём. Будучи заинтересованной и готовой к урегулированию ситуаций, активная часть людей из повседневности, называемых акторами [12], «запускает» процессы управления, изначально интерпретируя жизненный мир и являясь по своей сути источником зарождения проблемы. Но тогда получается, что если внешние эксперты будут работать, не принимая во внимание деятельности акторов, то их рекомендации окажутся несостоятельными, поскольку приглашённые управленцы – теоретики с необходимостью должны интерпретировать мир, уже интерпретированный этими «обыденными управленцами».

Тем не менее классическая наука управления исходит из пред - данности объекта управления, полагая, что выбор критериев, целей и задач управления осуществляют «люди системы» - менеджеры и чиновники различных рангов [1], которые затем и решают поставленные задачи. «Повседневный жизненный мир» и «актор» в арсенале её понятий отсутствуют. В то же самое время, если трактовать жизненный мир как «некий маточный раствор, обусловливающий кристаллизацию всех без исключения наук» [9], то становится понятной его ключевая роль в эвергетике, для которой принципиально важными являются прежде всего допредикативные очевидности жизненного мира и интуиция акторов.

2 Очевидности жизненного мира и интуиция акторов

Жизненный мир, являющийся субъективным, повседневным и обыденным, представляет собой сумму непосредственных очевидностей, определяющих возможность сознательного принятия решений человеком. Категория очевидности и интуиция принципиально отличают феноменологический анализ от объективного научного анализа, что отмечается в [9] : «Феноменология есть «археология» знания; поэтому внимание её устремлено к истокам всяческого знания, и добраться до этих истоков значит для неё в первую очередь следовать во всём требованию беспредпосылочности, т.е. отказу от бессознательных, наивных, непроверенных или некритически усвоенных предпосылок. Единственная предпосылка, которую она методически утверждает во всех тематических зонах познания, есть сфера первоначального интуитивного опыта, или сфера очевидности, играющая здесь роль «принципа всех принципов»».

В поисках выхода из любой проблемной ситуации человек всегда опирается на эту «сферу очевидности», в том числе, как утверждал Э.Гуссерль, на очевидностях жизненного мира основывается объективное научное знание, приобретаемое в процессах решения научных проблем : все понятия науки формируются путём идеализации тех или иных очевидностей жизненного мира. Разумеется, что многие научные понятия используются и в повседневной жизни людей. Однако абсолютизация роли классической науки, идеалом которой является точное математизированное естествознание, привела к тому, что создаваемый мир науки стал приниматься за подлинное бытие, продукты научного метода – за живую действительность, а научная рациональность стала лишать жизненный мир всего человеческого. Всё это сопровождалось (и продолжает сопровождаться) практическим отсутствием интереса к проблематике жизненного мира с его очевидностями со стороны учёных, в том числе тех, которые работают в сфере управления.

В то же самое время, ни в коей мере не отрицая значения классических научных методов, следует признать основополагающую роль очевидностей и интуиции в процессах принятия решений человеком. В самом деле, в различных жизненных ситуациях мы, не сильно задумываясь, интуитивно, решаем и действуем сообразно обстоятельствам, чаще всего опираясь именно на очевидности и интуицию, а не на научные положения, поскольку наука позволяет нам описывать лишь ограниченную часть реальности. Ведь научное знание представляет собой, по С.Л.Франку [13], отвлечённое знание, «выраженное в суждении посредством понятий» и имеющее «всегда свой предмет вне себя», а очевидности можно ассоциировать со знанием – жизнью (знанием – переживанием), «где субъект вообще уже не противостоит объекту, а знает объект в силу того, что слит с ним в самом своём бытии». Такое непосредственное «живое» отношение человека и мира, преодолевающее расчленение реальности на субъект и объект, постулируется как «последнее основание» бытия и познания в интуитивизме [14].

В эвергетике актор, осознающий и переживающий те или иные ситуации в повседневной жизни, рассматривается как человек, обладающий способностью мыслить интуитивно, в то время как классическая наука управления акцент делает на том, что функционер из мира систем должен иметь формализованный, «калькулирующий» разум, поскольку его основная задача – мыслить и действовать «по правилам». Поэтому исследование проблем интуиции и очевидностей в процессах принятия решений должно стать одним из актуальных научных направлений в эвергетике. В широком понимании интуиция – это способность прямого, ничем не опосредованного понимания истины, и в такой «иррациональной» трактовке она всегда вызывала, прямо скажем, сдержанный интерес со стороны учёных. «Однако современные научные представления об интуиции не опровергают возможности мгновенного «схватывания» истины, но определяют интуицию не как трансцендентное озарение, а исключительно как важный (но не необходимый) момент сложного и неосознаваемого по своему механизму взаимодействия чувств, разума и опыта» [14].

Для того чтобы более рельефно показать роль интуиции в эвергетике, воспользуемся метафорой, проведя аналогию между классической наукой и классической музыкой, а эвергетику уподобив джазовой музыке. Композитор создаёт свои музыкальные произведения, подобно тому, как учёный – научные теории, а музыканты – исполнители воспроизводят и доносят до публики пред-данный им замысел композитора, аналогично применению на практике научных результатов заинтересованными и подготовленными их пользователями (например, менеджеры в своей деятельности опираются на науку управления). Классические музыкальные опусы и научные труды, создаваемые «на века» в тиши кабинетов, роднит их нетленность, фундаментальность и объективность, поскольку произведения композиторов и учёных после опубликования становятся отделёнными от своих авторов.

В джазовой музыке ключевую роль играет импровизатор, который на выбранную (или придуманную им самим) тему «здесь» и «теперь» сочиняет и исполняет своё музыкальное творение, взаимодействуя с партнёрами в рамках джазового ансамбля. Созданная «на глазах

публики» музыкальная пьеса является неповторимой и уникальной, поскольку, если попросить самого автора воспроизвести её заново, он не сможет этого сделать. В эвергетике аналогом джазового импровизатора является актор – человек, который переживает и стремится урегулировать волнующую его проблемную ситуацию, действуя в реальном масштабе времени (т.е. в темпе её развития) и кооперируясь со своими коллегами, озабоченными той же проблемой. Любая жизненная ситуация и способ её урегулирования являются уникальными и неповторимыми, она не является априорным, пред-данным объектом для акторов, поскольку формируется в их сознании; а поэтому здесь вообще нельзя говорить о построении и применении какой-либо научной теории в её классическом понимании (равно как джазового импровизатора нельзя рассматривать как только «сочинителя»- композитора, произведение которого будет исполнено кем-то и когда-то).

Джазовый музыкант сочиняет и тут же исполняет, подобно тому как актор познаёт и действует. Каждый из них повинуется своей интуиции и кажется абсолютно непредсказуемым, хотя в их действиях можно усмотреть рациональное начало. Например, в музыкальной сфере исследуются проблемы и преподаются курсы джазовой импровизации, исходящие из того предположения, что импровизатор во время исполнения использует «очевидности» своего жизненного мира (характерные для него музыкальные фразы, интонации и т.п.), которые делают его узнаваемым и уникальным. Аналогично, изначально интуитивно действующий актор, для того чтобы овладеть ситуацией, тем не менее опирается на какие-то свои «персональные очевидности», явившиеся результатом его субъективного жизненного опыта (поэтому, кстати сказать, эвергетика и исходит из предположения о неоднородности акторов [12]).

Таким образом, мы сталкиваемся здесь с известной антитезой иррационального и рационального, образно говоря, с антитезой «сердца» и «головы», которая в философии со времён Античности рассматривается как проблема соотношения «эйдоса» и «логоса», «созерцания» и «мышления». При этом, как отмечается в [9], «между рассудком и созерцанием, презрительно отвергающим всякого рода «силлогизмы», разгорелась смертоубийственная распря, пронизывающая почти всю историю философии и шумно врывающаяся в современность… Даже Кант, достигший прямо рекордных результатов в разъятии мышления и созерцания, обмолвился – таки контрабандным намёком на их «общий, но неизвестный нам корень»». Обнаружив это противоречие в классической «объективной» науке, Э.Гуссерль с целью нахождения выхода из кризиса создавал свою феноменологию, ориентированную на единение «созерцательного» и «рассудочного», которую он рассматривал как теорию «логических переживаний». Применительно к эвергетике эта теория должна помочь сбалансировать в сознании актора «интуитивное» и «рациональное» начала.

3 Феноменологическая рациональность акторов

В эвергетике неоднородный актор – это обычный человек из повседневности, не являющийся профессиональным управленцем, но в достаточной степени мотивированный, чтобы принимать участие в процессах управления волнующей его конкретной проблемной ситуацией. Если полагаться только на интуицию акторов при принятии решений, то маловероятной будет результативность их совместных действий, поскольку они (действия) будут несогласованными по причине отсутствия какой-либо их упорядоченности. Поэтому каждый изначально свободный актор должен действовать рационально. «Свобода всегда впереди рациональности, но рациональность постоянно её настигает, превращая свободную деятельность одного в рациональную деятельность для всех» [15]. И это должна быть феноменологическая рациональность [16], поскольку гуссерлевский интуитивизм принципиально рационален (интуитивное познание не содержит мистических тайн, а интуиции функционируют в нём в пределах чистой логики).

В феноменологии используется интуитивно – созерцательная процедура – идеация, называемая также эйдетической интуицией, усмотрением сущности или категориальным созерцанием. Идеацию можно определить также как метод созерцания всеобщего. Идеировать – значит усматривать сущность предмета, отвлекаясь от количества наблюдений и индуктивных выводов и сосредоточивая внимание лишь на одном примере. Э.Гуссерль противопоставлял идеацию традиционным методам абстрагирования, извлекающим понятие путём вычленения из массы явлений общих признаков, т.е. молчаливо и априори предполагающих наличие понятия в самом акте сравнения и различения единичных вещей. Согласно Э.Гуссерлю, понятие образуется в процессе интуитивно – созерцательной процедуры, в которой дан единичный предмет посредством особой установки сознания и усмотрен в этом единичном предмете всеобщий предмет. Сознание, интуитивно созерцая единичный предмет, «идеирует» его понятие [11]. Во 2 томе своих «Логических исследований» Э.Гуссерль писал : «В акте абстракции данным для нас является само общее; мы мыслим его не чисто - сигнитивным способом, как это имеет место в случае простого осмысления общих имён, а схватываем его, созерцательно овладевая им. Вполне позволительно, поэтому, говорить здесь о созерцании или, точнее, о восприятии общего» [17].

Вот это «схватывание общего» в единичном предмете является для эвергетики принципиально важным, поскольку актор всегда «мысленно созерцает» какую-то единственную, уникальную в своём роде, ситуацию и должен «овладеть» ею в реальном масштабе времени, т.е. в темпе развития ситуации. Поэтому актор должен быть готов к тому, чтобы «идеировать», а не познавать, абстрагируясь в рамках традиционной гносеологии. В этом смысле он и должен обрести феноменологическую, а не классическую научную, рациональность, которая должна придать его действиям определённую долю логики. Но как следует понимать, что такое логика? Ответ на этот вопрос, приводящий к дуализму, даёт М.Хайдеггер в своём «Гераклите» [18].

Он пишет, что под термином «логика» с давних пор понимают учение о правильном мышлении. «И сегодня изучать «логику» для нас означает : учиться правильно мыслить, узнавая о структуре, формах и правилах мышления; запечатлевать их в своей памяти, чтобы потом в тех или иных случаях применять». Но, с другой стороны, утверждение «это логично», подразумевает, что «нечто становится ясным как вывод, как следствие из имеющегося положения дел и предшествующих обстоятельств, известных каждому. Таким образом, «логичное» - это последовательное : то, что соответствует «логике». Но здесь под «логикой» мы подразумеваем не столько законность мышления и его соответствие установленным правилам, сколько внутреннюю последовательность самой вещи, положения, процесса. Тогда получается, что сами вещи имеют в себе некую «логику», свою «логику»» [18]. М.Хайдеггер называет её «логикой вещей», в отличие от «логики мышления».

В большинстве случаев, конечно же, логику мы понимаем традиционно, как «логику мышления», т.е. в смысле учения о формах и правилах мышления. Когда же мы говорим о некой внутренней «логике вещи», то это означает, как утверждает М.Хайдеггер, что мы «мыслим «вещно», то есть мыслим из вещей и «вмысливаемся» в них» [18]. Иными словами, понятие «логика вещей» изначально предполагает единение реального мира вещей и сознания человека, а такое единение является фундаментальным положением феноменологии; в ней «феномен» представляет собой вещь, которая не существует «сама по себе», отдельно от человека. Феноменология постулирует, что сознание человека интенционально, т.е. всегда направлено на предмет, является «сознанием о …». Поэтому понятие «логика вещей» соответствует именно феноменологическому взгляду на мир.

Главной особенностью феноменологического метода Э.Гуссерля является то, что в своём непосредственном опыте человек переключает внимание с воспринимаемых вещей на самый акт восприятия, в котором эти вещи «являются» ; при этом он «покидает» сферу обыденного эмпирического сознания и оказывается в зоне феноменологического сознания, реальность ко-

торого составляют указанные «явления», или упомянутые «феномены» [9]. «Интенциональность» выражает предметную направленность переживаний сознания, его соотнесённость с предметами опыта. Эта соотнесённость сознания и предмета понимается как смыслообразующая; сознание есть не что иное как смыслообразование» [19]. Иными словами, сознание имеет дело не с эмпирически-вещественной природой предмета, а со смысловой структурой, которую само же образует.

Здесь уместно отметить ту общечеловеческую, дополняющую философскую, роль феноменологии Э.Гуссерля, о которой писал Ж.-П.Сартр в своей работе «Основная идея феноменологии Гуссерля : интенциональность». «Но сознание, которым воспринимаются вещи, для Гуссерля и феноменологов отнюдь не ограничивается познанием этих вещей. Познание или чистое «представление» - далеко не единственно возможная форма моего сознания об этом дереве (Сартр рассматривает пример, в котором предметом его внимания является дерево – примечание моё); я мог бы также любить, опасаться, ненавидеть его, и это самостоятельное выхождение сознания за свои пределы, называемое интенциональностью, снова обретает себя в страхе, ненависти и любви… Сами вещи внезапно открываются нам как ненавистные, привлекательные, ужасные и приятные… Гуссерль вновь внедрил ужас и очарование в сами вещи. Он возвратил нам мир художников и пророков : пугающий, враждебный, опасный, с убежищами благодати и любви».

Феноменологически рациональный актор, таким образом, в своём сознании не просто «имеет», «отражает» проблемную ситуацию, а «образует», конституирует её, постигая одновременно смысл этой ситуации. Он учитывает разные модусы «явленности» ситуации сознанию: восприятие, воображение, припоминание и т.д., то есть, воспринимая ситуацию как целостность, актор что-то фантазирует, воображает, а возможно и вспоминает. И это очень важно для человека, переживающего ситуацию «изнутри», в отличие от внешнего наблюдателя – функционера, который познаёт её объективно, «со стороны». Но сознание актора не только интенционально; его характеризует интерсубъективность – структура индивидуального сознания, отвечающая факту существования других индивидов. Мир, который актор обнаруживает в сознании, есть интерсубъективный мир. Поэтому, постигая смысл проблемной ситуации, требующей своего урегулирования, акторы действуют не изолированно, а коммуницируют друг с другом; ведь прояснение своего собственного существования, с точки зрения феноменологии, одновременно сопровождается пониманием других. Иными словами, акторам присуща коммуникативная рациональность, являющаяся составной частью их феноменологической рациональности.

Заключение

Человек может участвовать в процессах управления в обществе непосредственно и опосредованно. Опосредованное участие предполагает, что человек делегирует свои конституционные права, данные ему изначально как источнику власти, тем или иным сформированным в обществе управляющим органам, системам управления, в основу построения которых положена классическая наука управления. В этой науке, исходящей из объективности процессов, происходящих в общественной жизни, разделяется «объект управления» и «система управления», в которой функционируют посредники – чиновники и менеджеры различных рангов. Их отличают, как известно, характерные для веберовской «идеальной бюрократии» целерациональность, узкая функциональная специализация и стремление игнорировать личные качества людей в процессах принятия управленческих решений. Кроме того, приверженность интересам систем управления, «элементами» которых эти посредники являются, стимулирует их вырабатывать «свои» цели и критерии управления, ставить и решать «нужные им» задачи, отодвигая на задний план интересы людей из повседневного жизненного мира, то есть интересы тех, кто принадлежит «объекту управления», и которых классическая наука не рассматривает

как «действующих лиц» в процессах управления этим объектом - обществом. В результате жизненный мир оказывается под прессом мира систем, что является причиной всё возрастающей социальной напряжённости.

Непосредственное участие людей из повседневности в процессах управления в обществе следует рассматривать как действенный способ решения указанной проблемы. Однако попытки применения для разработки механизмов такого «непосредственного управления» классической науки управления не дают желаемых результатов. Нужна новая наука, ориентированная на субъекта и его представления о ценностях и благе. Эвергетика, создаваемая для акторов и ставящая их в центр внимания, призвана восполнить этот пробел. Несмотря на различные, даже противоположные исходные позиции, классическую науку управления и эвергетику объединяет конкретная проблемная ситуация в общественной жизни, являющаяся общим объектом их внимания. Только акторы её переживают «изнутри», а посредники (функционеры из мира систем) – наблюдают «со стороны»; тем не менее они «обречены» на диалог при в процессе урегулирования проблемной ситуации.

Назначение и задачи эвергетики предопределяют выбор феноменологии в качестве её методологического фундамента; при этом «жизненный мир» с его «очевидностями», «повседневность», «феномен», «интерсубъективность», «интенциональность», «интуиция» и «идеация» становятся ключевыми понятиями эвергетики, которая призвана наделить акторов из мира повседневности феноменологической рациональностью.

Список литературы

[1] Johnson R.A., Kast F.E., Rosenzweig J.E. The Theory and Management of Systems (second edition) //McGraw – Hill Book Company, New York, 1967 (перевод с английского, М.: Советское радио, 1971. – 648 с.).

[2] Виттих В.А. Проблемы эвергетики. – Проблемы управления, № 4, 2014, с.69 – 71.

[3] 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.

[4] Vittikh V.A. Evergetics : Science of Intersubjective Management Processes in Everyday Life. – International Journal Management Concepts and Philosophy, volume 9, no.2, 2016, p.63 – 72.

[5] Виттих В.А. Феноменологический подход к построению теории управления обществом. – Сборник трудов XII Всероссийского совещания по проблемам управления. Москва, ИПУ РАН, 16- 19 июня 2014. – М.,2014, с.6182 – 6186.

[6] Виттих В.А. Принцип дополнительности в науке о процессах управления в обществе. – Вестник Самарского государственного технического университета, серия «Технические науки», № 4 (52), 2016, с.15 – 21.

[7] Хасанов М.Р. Проявление индивидуальности человека в повседневном мире. – Вестник Челябинского государственного университета, № 18 (233). Философия. Социология. Культурология, вып.21, с.38 – 45.

[8] Гайденко П.П. Научная рациональность и философский разум. – М., Прогресс – Традиция, 2003. – 528 с.

[9] Свасьян К.А. Феноменологическое познание. Пропедевтика и критика – 2-е изд. М. : Академический Проект; Альма Матер, 2010. -206 с.

[10] Шюц А. О множестве реальностей. – Социологическое обозрение, том 3, № 2, 2003, с.2 – 34.

[11] Современный философский словарь. = Лондон, Франкфурт-на-Майне, Париж, Люксембург, Москва, Минск// ПАНПРИНТ, 1998. – 1064 с.

[12] 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.

[13] Франк С.Л. Предмет знания. Душа человека.- Мн. : Харвест, М. : АСТ, 2000. – 992 с.

[14] Новая философская энциклопедия (в четырёх томах). – М.: Мысль, 2010. – 2806 с.

[15] Никифоров А.Л. Соотношение рациональности и свободы в человеческой деятельности. - В сборнике «Исторические типы рациональности». – Институт философии РАН, т.1. : М., 1995. – 350 с.

[16] Паткуль А.Б. Проблема научности философской рациональности в феноменологии. – В сборнике статей по материалам международной научной конференции «Рациональность и свобода», том 2. СПб : 2006,с.241 – 259.
[17] Husserl E. Logische Untersuchungen. Bd. 2. T. 2. Elemente einer phanomenologischen Aufklarung der Erkenntnis. Halle, 1901. S. 634.
[18] Хайдеггер М. Гераклит. - Санкт – Петербург, издательство «Владимир Даль», 2011. – 503 с.
[19] Словарь философских терминов.- М. : ИНФРА – М, 2004. – 731 с.

ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ ИНДИВИДУАЛЬНОГО СОЗНАНИЯ НА УПРАВЛЕНИЕ СОЦИАЛЬНЫМИ СИСТЕМАМИ

Д.В. Вырыпаев

ООО «Интер-Сервис»
443099, Самара, ул. Ст. Разина, 89-8, Россия
dvyrypaev@mail.ru
тел: +7 (927) 701-12-22
Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва
443068, Самара, ул. Академика Павлова, 1-504, Россия
dvyrypaev@yandex.ru
тел: +7 (917) 013-47-77

***Ключевые слова**: управление, социум, сознание, психика*

Abstract
The history of mankind is full of examples of the emergence, functioning and destruction of various social management systems. These systems are created by people and their functioning is strongly dependent on the abilities of psyche and consciousness. The article deals with cognitive features and limitations of the functioning of human psyche and consciousness. These features determine the specificity of social management systems' functioning at various stages of its life circle. Understanding of the objective aspects of these influences allows one to manage the society more consciously.

Введение

С момента появления человека и первых социумов появились проблемы его управления, тесно связанные как с культурными традициями, так и с особенностями психики и сознания человека. Любая система управления социумом (СУС) является иерархически-сетевой надстройкой социума, объединяющей в систему группу субъектов, которая осуществляет управление всем социумом или его частью в пределах определенного набора параметров. В любом социуме чаще всего образуется более одной СУС. Образовавшиеся СУС конкурируют между собой за доминирование и расширение набора параметров и зоны управления.

Управление социумом может осуществляться стихийно, на интуитивной основе, и осознанно – с достаточно четким прогнозом последствий тех или иных управляющих воздействий. Большое значение для понимания социальных процессов играют различные теории психологии личности и социального поведения человека. В этих теориях описываются различные подходы к описанию психологических основ мотивов принятия решений. Для примера можно отметить пассионарную теорию этногенеза Гумилева Л.Н. [1], теорию человеческой мотивации Маслоу А. [2], теорию поля Левина К. [3]. Большинство таких теорий рассматривают влияние психоэмоциональной составляющей в процессе принятия решения.

В данной работе мы предпримем попытку сузить предмет исследования до чисто когнитивных возможностей и ограничений субъекта оценивать текущую ситуацию управления, а, следовательно, до возможности принимать адекватные решения управления.

Степень эффективности работы СУС можно соотнести с различными режимами функционирования сознания. Эта эффективность связана с проблемой адекватного соотношения сложившихся в системе правил управления и реального состояния объекта управления (социума). В работе термин «социум» понимается как совокупность отдельных субъектов и отношений, которыми они связаны между собой.

В контексте данной работы проблема адекватности управления инвариантна к видам систем управления: государственной, идеологической, экономической.

В общем перечне обстоятельств, влияющих на принятие решения субъектом в любой из систем управления, конечно же, гораздо больше факторов, чем рассматривается в данной работе. Но рассмотрение всех факторов, влияющих на субъект в процессе управления, требует гораздо более широких исследований.

Нами предпринята попытка рассмотреть достаточно ограниченную ситуацию, когда в определенных режимах функционирования сознания субъект может потерять способность к адекватному пониманию реальной ситуации управления и поэтому не может принимать эффективные решения ни в личных, ни в общественных интересах, независимо от тех или иных эмоциональных состояний.

1 Режимы функционирования психики и сознания

Для определения психики и сознания в статье используется понятие информации как структуры неоднородностей текущего состояния материи и энергии, и постоянные изменения этих структур. Психика и сознание рассматриваются как функции различения соответствия физиологических, психических и смысловых неоднородностей к физическим неоднородностям.

Информация по отношению к субъекту разделяется на следующие виды:

- физическая (неоднородности материи и энергии),
- физиологическая (реакции рецепторов и нейронов),
- психическая (чувственное восприятие субъектом целостных фрагментов реальности),
- смысловая.

Функции психики и сознания в совокупности можно определить таким образом:

- физическая информация - материя и энергия - воздействует на рецепторы человека и преобразуется в физиологическую дискретную информацию;
- дискретная информация рецепторов распространяется по телу, и в результате человек осознает непрерывную психическую информацию (например, цветной зрительный образ), которая на основе накопленного смыслового опыта субъекта, дискретизируется или фрагментируется на отдельные смысловые фрагменты информации (например, в цветовых пятнах выделяются смысловые объекты).

Соответственно можно определить память как универсальное свойство биологических систем сохранять в едином фрагменте физиологическую, психическую и смысловую информацию.

Психика и сознание могут функционировать:

- в аналитическом режиме, когда смысловая информация воспринимается и обрабатывается по частям, разделяется, фрагментируется, дискретизируется,
- в синтетическом (холистическом [4]) режиме, когда смысловая информация воспринимается целостно, непрерывно (внелогически [5]).

Эти два режима функционирования сознания описал академик Раушенбах Б.В. [5]. А в своей работе Александров Ю.И. [4] отметил влияние культуры и окружающей среды на смещение режимов функционирования сознания в сторону преобладания одного режима над другим.

Следует подчеркнуть, что психика и сознание постоянно функционируют в обоих режимах, но при принятии решений выбор смещается либо в сторону аналитического и объясняемого, либо в сторону синтетического и интуитивного, тяжело поддающегося объяснению даже самому себе. Аналитический и синтетический режимы функционирования психики и сознания можно представить как два конкурирующих между собой прямо противоположных способа

обработки информации и принятия решений. Аналитический способ основан на алгоритме (логике, математике и количественных сравнениях), а синтетический – на чувстве.

Каждый режим функционирования психики и сознания имеет свою степень соответствия реальности [6]:

- в аналитическом режиме внимание фокусируется на отдельных фрагментах реальности или схеме описания реальности; ограничения режима: восприятие разорвано на части и теряется множество взаимосвязей между частями, которые составляют смысл целого, и реальность становится не наблюдаемой; в этом режиме человек имеет больше возможностей управления и манипуляцией смыслами;
- в синтетическом режиме воспринимается целостная взаимосвязанная картина мира; ограничение режима: накопленный опыт, а также способность нервной системы к синтезу больших фрагментов информации с определенной дискретностью (это аналогично зернистости фотопленки); в этом режиме принятие решения неуправляемо - оно приходит в осознание в уже завершенном состоянии, как мы уже «видим» смыслы в зрительном образе такими, какие они есть в реальности, не управляя их определением.

Адекватность перехода от физической к психической и смысловой информации для любого органа чувств зависит от двух составляющих:

- объема опыта или памяти, увеличение которого дает утончение различения;
- способности совместного использования режимов функционирования сознания.

Только постоянное комбинирование и взаимное дополнение режимов функционирования сознания позволяют замечать различия и соответствия описания и реальности. В случае если у человека преобладающий аналитический режим функционирования сознания, то через собственный опыт аналитических описаний он может не замечать реальности. Этот эффект мы часто наблюдаем, когда одно и тоже общественное событие описывается людьми с различным опытом с совершенно противоположным смыслом. По этой же причине происходит задержка признания новых научных открытий, описания которых сильно отличаются от традиционных концепций текущей эпохи.

К сожалению, совместному функционированию психики и сознания в двух режимах сильно мешает выработанная в некоторые периоды жизни привычка к одному из режимов. Привычка или автоматизм поведения вырабатывается чаще всего неосознанно под влиянием внешних обстоятельств, и человек обычно не замечает последствий. Осознание ограничений собственной психики и сознания, накладываемые привычкой, дает возможность корректировки собственных действий.

2 Жизненные циклы систем управления социумом

Для каждой СУС, как и для любой другой системы, можно выделить три основных этапа жизненного цикла:

- создание;
- устойчивое функционирование;
- разрушение.

На момент создания любой СУС на начальных этапах она не имеет устоявшихся правил своего внутреннего и внешнего функционирования. На данном этапе минимальное количество правил дает возможность к постоянной адаптации системы управления к изменениям объекта управления - социума.

В каждом элементе системы управления субъекты вынуждены принимать решения, используя по управлению синтетический режим функционирования сознания. Синтетический режим функционирования сознания позволяет на интуитивном внелогическом уровне соотносить многообразие состояний управляемого социума с управляющими воздействиями и их последствиями. Этот опыт накапливается у субъектов, принимающих участие в этапе

создания системы управления. На этом этапе управление многообразное, трудно формализуемое в инструкции и логические описания, требующее постоянной обратной связи. Обратная связь управления более адекватно воспринимается субъектами в синтетическом режиме функционирования сознания в каждом элементе СУС.

По мере перехода СУС в устойчивое состояние, в системе появляются формализованные описания ситуаций управления. Субъекты в системе управления переводятся на преимущественно аналитический режим функционирования сознания и принятия решений. Субъекты, не сумевшие это сделать, постепенно вытесняются из СУС. В результате большинство субъектов СУС переходит на аналитический режим функционирования сознания и СУС, вместе с субъектами, постепенно теряет обратную связь с объектом управления (социумом).

Непосредственный постоянный реальный контакт с объектом управления (социумом) в основном имеют нижние уровни СУС. Потеря способности воспринимать в каждом элементе нижнего уровня реальную ситуацию управления информационно разъединяет СУС и объект управления (социум).

Пока объект управления (социум) находится в устойчивом состоянии и его отклонения от этого состояния соответствуют уже известным инструкциям, система управления справляется со своими функциями в аналитическом режиме функционирования сознания субъектов СУС. Но как только объект управления переходит по каким-либо причинам в нестабильное и неизвестное ранее состояние, то аналитического режима функционирования сознания уже недостаточно для реализации адекватного новой ситуации управления. Предполагается, что любое управляющее воздействие или «инструкция» учитывает «знание» текущего реального состояния объекта управления. А это «знание» может возникать с нижних уровней СУС в виде обратной связи от воспринимающих социум субъектов в синтетическом режиме функционирования психики и сознания. Но в СУС накапливается огромное количество правил, блокирующих любые действия, соответствующие реальной ситуации, а не правилам.

И система управления плавно переходит в последнюю стадию своего жизненного цикла – разрушение.

Заключение

Постепенное увеличение количества правил функционирования СУС происходит неизбежно в процессе жизненного цикла СУС. А резкий рост количества правил, обычно, происходит при выходе социума за привычные границы состояний, и этот рост может привести к еще большему рассогласованию СУС и социума.

Как только происходит очередное разрушение СУС и правил управления в образовавшемся свободном пространстве в борьбе формируются новые СУС и жизнь совершает новый оборот. Есть ли выход из этой странной повторяющейся ситуации, где в каждом очередном цикле человек с надеждой думает, что уж сейчас-то непременно произойдет что-то новое? А ничего нового не происходит и борцы за новые системы управления со временем дряхлеют сознанием и повторяют надоевшие всем исторические циклы.

У реальности нет никаких шансов адекватно восприниматься сознанием в аналитическом режиме его функционирования.

И, несмотря на наличие вполне естественных причин давления внутри СУС на сознание её субъектов, переводящее их в аналитический режим функционирования, осознание этой проблемы дает шанс проявить свободу воли и попытаться уравновесить свое сознание между синтетическим и аналитическим режимами функционирования.

Благодарности

Автор признателен Чекалову Леониду Леонидовичу за участие в обсуждении предложенного подхода.

Список литературы

[1] Гумилев Л.Н. Этногенез и биосфера Земли. - СПб.: Издательство «Кристалл», 2001.
[2] Холл К.С. Линдсей Г. Теории личности. Пер. с англ. – М.: «КСП+», 1997.
[3] Левин К. Теория поля в социальных науках. Пер. с англ. – СПб.: «Сенсор», 2000. – 368 с.
[4] Александров Ю.И., Александрова Н.А. Комплементарность культуроспецифичных типов познания. Вестник Московского Университета, сер.14. ПСИХОЛОГИЯ. 2010. №1,3.
[5] Раушенбах Б.В. Увидеть красоту. Пристрастие. - М.: Издательство «Аграф», 1997. - 432 с.
[6] Вырыпаев Д.В. Некоторые современные проблемы описания сознания. Психологические исследования. Сборник научных трудов. Выпуск 13. Самара. Издательство «Самарский университет», 2016.

МНОГОСВЯЗНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬЮ НАУЧНОЙ ШКОЛЫ НА ОСНОВЕ ЗНАНИЙ

Н.К. Криони, Б.Г. Ильясов, И.Б. Герасимова, А.Г. Карамзина

ФГБОУ ВО Уфимский государственный авиационный технический университет
450008, Уфа, ул. К. Маркса, 12, Россия
rector@ugatu.su, ilyasov@tc.ugatu.ac.ru, tarot_gera@mail.ru, karamzina@tc.ugatu.ac.ru
тел: +7 (347) 273-79-27, факс: +7 (347) 272-29-18

Ключевые слова: *научная школа, динамическая модель, нелинейная многосвязная система управления*

Abstract

The results of the analysis of the controls processes by scientific school are presented. The activity of the scientific school is considered: the training of scientific personnel, the production of scientific products and the execution of scientific projects. The dynamic model of the description of the processes of the activity of the scientific school as a nonlinear multiply connected system is presented for the first time. The intellect of the collective, his practical skills and abilities, as well as his creative abilities are used as management resources. The areas of dynamic stability of the controls system by activity of the scientific school are defined by methods of mathematical modeling. The conditions of effective interaction members of collective when making managerial decisions under the influence of various external factors are shown. The conditions for the appearance of periodic movements in the case of incorrect formation of the organization of the collective management of a scientific school are shown.

Введение

Наука играет большую роль в развитии общества. Проблемами зарождения научных идей, их развитием и становлением занимаются ученые-исследователи с незапамятных времен. Наука является не только предметом изучения философии (теории познания, философии науки), психологии, социологии, науковедения, но и теории систем, математики, логики и т.д. При этом развитие и становление науки начинается с элементарной частицы научной школы (НШ), определение которой разнообразно [1-4]. Научная школа рассматривается как один из основных факторов развития современной науки, как существенный активный элемент гражданского общества, как инструмент воспитания исследовательского стиля мышления и определенного способ решения проблемы, как социальный феномен, как организация неформального общения ученых, обмена идеями и коллективного обсуждения результатов.

В качестве основы в данной работе возьмем определение: «Научная школа – это интеллектуальная, эмоционально-ценностная, неформальная, открытая общность ученых разных статусов, разрабатывающих под руководством лидера, выдвинутую им исследовательскую программу» [2]. Поскольку это отражает взгляд на НШ как на объект управления. Многие исследователи считают, что один из признаков НШ заключается в том, что в них одновременно решаются три задачи:

- подготовка молодых научных кадров;
- разработка и защита научных идей в форме статей, докладов, патентов и монографий;
- комплексное, коллективное выполнение или решение крупномасштабной проблемы, задачи, проекта.

Это позволяет сказать, что НШ как сложный динамический объект функционирует и развивается благодаря организационной и самоорганизационной деятельности всего коллектива.

Все же нигде не рассматривается проблема управления деятельностью научной школы как сложным динамическим объектом.

1 Научная школа как организационный объект управления

На современном этапе развития теории управления наиболее распространен (но нигде в литературе конкретно к НШ не отражен) взгляд на управление НШ как на процесс организационно-функционального управления, осуществляемый научным руководителем (НР) в различных проблемных, критических, нестандартных и прочих ситуациях [5, 6]. Структура такой оргсистемы управления НШ представлена на рисунке 1.

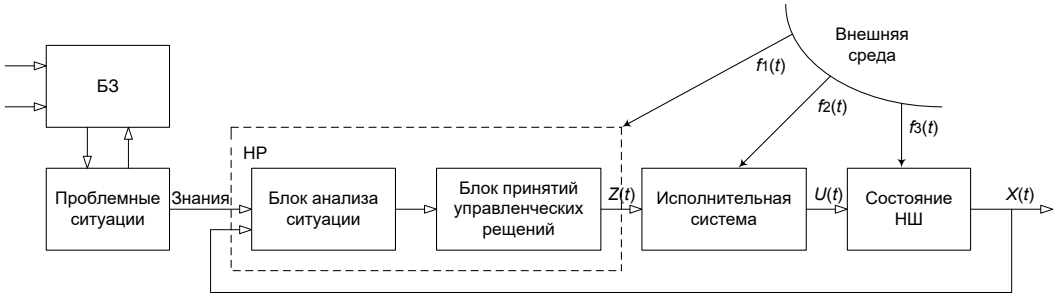


Рисунок 1 – Структура оргсистемы управления НШ

Переменная $X(t)$ характеризует то или иное состояние НШ (финансовое, кадровое, ресурсное, организационное, конкурсное, конфликтное и т.д.) и, отражает проблемную ситуацию (ПС), которая изменяется во времени, переходя в критическую, нештатную и даже в катастрофическую ситуацию, если своевременно не принять необходимых управленческих решений.

Управленческую деятельность НР поддерживают знания, которые находятся в базе знаний (БЗ) в виде множества возможных различных ситуаций в состоянии НШ и желаемых управленческих действий в этих ситуациях. Кроме этих знаний НР получает информацию о текущем состоянии $X(t)$ НШ, возникшем в результате действия как внутренних, так и внешних $f(t)$ факторов.

НР как лицо, принимающее решение, выполняет следующие функции:

- анализирует возникшую ПС и классифицирует ее;
- подбирает из БЗ тот прецедент (случай), который близок к возникшей проблемной ситуации;
- анализирует возможность применения управленческого решения для прецедента из БЗ к возникшей ситуации;
- соглашается с этим решением, либо его корректирует с учетом характера возникшей ситуации и направляет принятое управленческое решение коллективу для исполнения (реализации).

Принятое решение в виде управляющего воздействия $U(t)$ реализует исполнительная система в качестве которой выступает коллектив или его часть. Управляющего воздействия $U(t)$ изменяет состояние $X(t)$ НШ в желаемом направлении (цикл управления повторяется до тех пор, пока состояние НШ не придет в желаемое состояние).

Отметим, что, учитывая инерционность оргпроцессов, на устойчивость данной оргсистемы управления сильное влияние оказывают чистые запаздывания, возникающие как в процессе принятия управленческого решения, так и в процессе исполнения этого решения. Здесь следует соблюдать следующее системное правило: управляющее воздействие $U(t)$ должно дейст-

вовать на любом отрезке Δt_i таким образом, чтобы на этом отрезке Δt_i произошли допустимые качественные и количественные изменения состояния $X(t)$ в желаемом направлении. Тогда можно ожидать устойчивость процесса управления.

Следует отметить, что никто в научной литературе по науковедению, по социологии не рассматривал с точки зрения кибернетики процесс управления НШ как многоцелевым многосвязным динамическим объектом, в котором весь коллектив на основе своих знаний принимает участие как в принятии управленческих решений, так и в реализации этих решений.

2 Многосвязное управление деятельностью научной школы как динамическим объектом (нелинейная модель)

НШ с участием всего коллектива согласно исследовательской программе лидера решает три задачи:

- подготовка научных кадров (ПНК) (X_1);
- выпуск научной продукции (X_2) в виде статей, докладов, патентов, монографий, технологий, методик и т.д., которые отражают и в правовом плане защищают, полученные новые идеи, знания, научные результаты;
- количество и качество выполняемых научно-прикладных проектов (X_3) на основе полученных знаний и научных результатов.

Плановые значения переменных X_i рассмотрим в качестве целей многосвязной системы управления НШ. В качестве управляющих переменных U_i рассмотрим следующие ресурсы, которые формируются коллективом в целом:

- знания (U_1), характеризующие интеллект коллектива НШ, в том числе знания инновационных технологий и методов, алгоритмов принятия решений, а также умение их своевременно применять при управлении;
- умения и навыки своевременно и эффективно применять эти знания (U_2) на основе накопленной практики и опыта при решении задач управления;
- творческая (креативная) способность (U_3), которая на основе системных, синергетических, физических, кибернетических и прочих принципов может создавать инновационные знания и использовать психологические факторы (эмоцию, интуицию, образное мышление и т.п.) для получения оригинальных нестандартных управленческих решений.

Полагаем, что все три управляющих фактора (в виде агентов коллектива) участвуют одновременно в определенной степени в достижении всех трех целей в аддитивной форме.

Пусть каждый управляющий фактор U_i (i=1, 2, 3) участвует с долей α_{ij} в формировании X_i и их производных X'_i. При этом $\sum\alpha_{ij}=1$ для каждого U_i в силу ограниченного значения его величины, а α_{ij} выступает как коэффициент распределения U_i ресурса.

Следует отметить, что $\sum\alpha_{ij}$ при этом может быть равна, больше или меньше 1. Если, например, $\sum\alpha_{ij}>1$ для X_i, то это значит, что коллектив направляет больше своих усилий ($\sum\alpha_{ij}U_i$) на увеличение скорости (темпа) движения параметра X'_j.

С учетом вышесказанного составим уравнение движения НШ как многомерного объекта управления с переменными X_i и запишем его в следующем виде:

$$(1)\quad \begin{cases} X_1^{'} = -\beta_1 X_1 + \alpha_{11}U_1 + \alpha_{21}U_2 + \alpha_{31}U_3 \\ X_2^{'} = -\beta_2 X_2 + \alpha_{12}U_1 + \alpha_{22}U_2 + \alpha_{32}U_3, \\ X_3^{'} = -\beta_3 X_3 + \alpha_{13}U_1 + \alpha_{23}U_2 + \alpha_{33}U_3 \end{cases}$$

где β_i – коэффициент отрицательной обратной связи по переменной X_i, характеризующий уменьшение ее темпа X'_i движения в виду ограничения физических возможностей агентов коллектива.

Отметим, что с одной стороны, β_i определяет постоянную времени $T_{i0}=1/\beta_i$ (инерционность) процесса достижения i-ой цели в свободном движении. С другой стороны, β_i определяет коэффициент $T_{i0}=1/\beta_i$ восприятия переменной X_i всего множества управляющих воздействий. Если все $\beta_i>1$, то инерционность переменных мала, а восприятие управляющих воздействий слабое. Если $\beta_i<1$, то инерционность процессов велика, и восприятие управлений сильное. Для простоты возьмем все $\beta_i=1$, что не влияет на качество конечного результата.

Особенностью управления НШ как многосвязной системой является то, что каждая переменная X_i имеет свою управляющую часть, за которую отвечают агенты коллектива, и она же образует свою отдельную подсистему управления, которая осуществляет достижение планового значения X^0_i этой переменной. Управляющая часть подсистемы формирует управление U_i в функции от отклонения (ошибки) ε_i текущего значения переменной X_i от ее планового значения X^0_i. Пусть, например, формирование управляющего сигнала U_i осуществляется пропорционально отклонению (ошибке) ε_i и интегралу по этой ошибке $\int\varepsilon_i dt$, т.е. управление каждой подсистемой осуществляется по пропорционально интегральному закону (алгоритму).

При этом следует учесть как инерционность управляющей части, так и наличие чистого запаздывания в принятии решения в каждой подсистеме.

Тогда управляющая часть многосвязной системы в операторной форме будет иметь следующий вид:

$$(2)\quad \begin{cases} \varepsilon_i(s) = X_i^0(s) - X_i(s) + \gamma_i X_i^{'} \\ U_i(s) = k_{ii}\dfrac{(T_{ii}s+1)}{(\tau_{ii}s+1)}\cdot e^{-\tau_i s}\cdot\varepsilon_i \end{cases},$$

где i=1, 2, 3; k_{ii} – коэффициент передачи управляющей части, τ_{ii} – постоянная времени определяющая инерционность управляющей части, T_{ii} – постоянная времени, определяющая форсирующие свойства управляющей части, τ_i – величина чистого запаздывания в принятии решения, γ_i – обратная связь по скорости X'_i координаты X_i.

Методом математического моделирования проведен анализ динамических свойств системы с учетом ряда допущений:

- все плановые значения X^0_i будем считать равными единице, которая в относительной форме выражает плановое значение подготовки научных кадров (X^0_1), план выполнения запланированных публикаций (X^0_2) в виде статей, монографий, методик, а также план выполнения количества проектов (X^0_3) или плановые объемы работ по проектам, которые должны быть выполнены к намеченному сроку;
- в каждой i-ой подсистеме управления координатой X_i осуществляется в основном за счет ресурса U_i, а остальные ресурсы играют как дополнительную, так и необходимую роль. По этой причине все коэффициенты $\alpha_{ii}>\alpha_{ij}$. Например, возьмем, $\alpha11=\alpha22=\alpha33=0{,}6$, а все $\alpha_{ij}=0{,}2$ (i=1, 2, 3, j=1, 2, 3, $i\neq j$).

При анализе деятельности НШ необходимо учитывать нелинейные факторы, которые оказывают существенное влияние на динамические свойства целей системы.

К таким факторам можно отнести:

- ограничение по уровню темпов U'_i выработки управляющих факторов, что моделируется нелинейной функцией $f_i(U'_i)$ в виде ограничения физических возможностей быстрой выработки необходимых знаний;
- ограничение $\psi_i(X'_i)$по скорости X'_i изменения управляемых переменных X_i в виду ограничения физических возможностей человека по темпу выполнения запланированной работы.

Кроме того, приходится при анализе деятельности НШ учитывать и действие неблагоприятных факторов в виде возмущений $\varphi_i(t)$, снижающих значение скорости X'_i управляемых переменных $X_i(t)$.

С учетом перечисленных факторов общая структура многосвязной нелинейной системы управления деятельностью НШ будет иметь вид, представленный на рисунке 2.

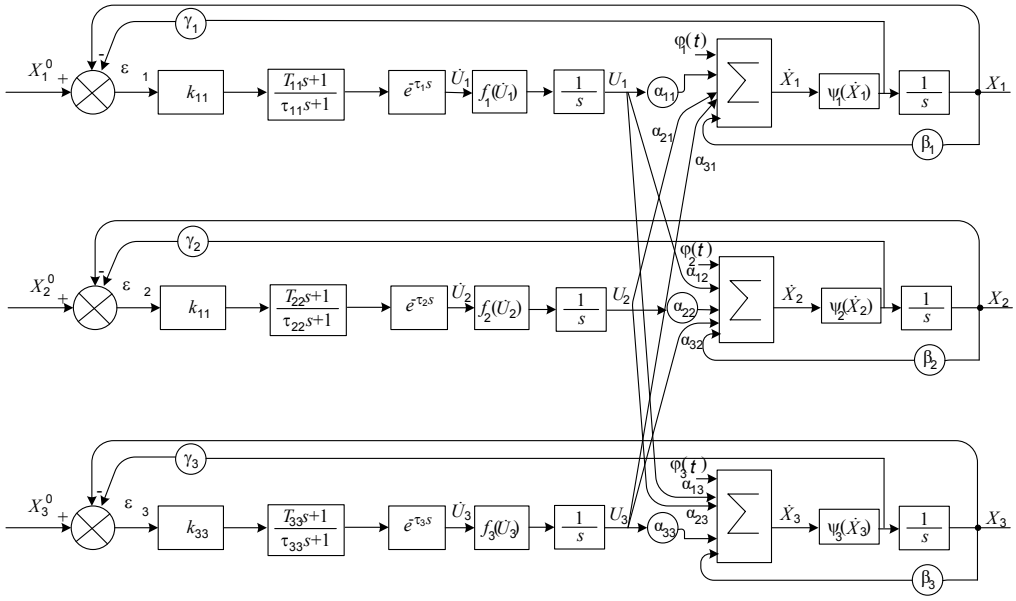


Рисунок 2 – Нелинейная многосвязная система управления деятельностью НШ как динамическим объектом

Исследования показали, что наличие нелинейностей в многосвязной системе управления деятельностью НШ приводит к возникновению в системе автоколебательных (устойчивых) периодических движений (рисунок 3).

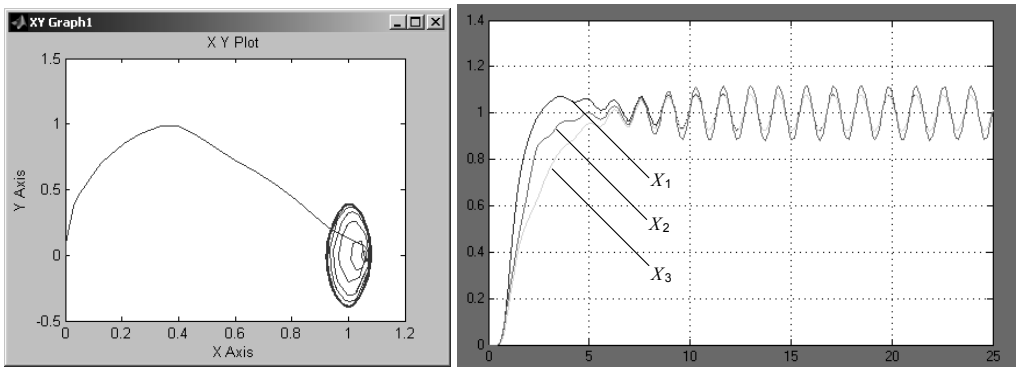


Рисунок 3 – Фазовый портрет и переходные процессы

Физически это соответствует возникновению в деятельности НШ неритмичных движений, что сказывается на качестве конечной продукции и производительности всей деятельности:

- аспирант должен проходить несколько раз предзащиту, исправляя ошибки в работе;
- сотрудники должны много раз переписывать статьи, отчеты и т.д., доводя их до качественного уровня;

- проект необходимо многократно доделывать, доводить до требований заказчика.

Следовательно, при управлении деятельностью НШ нельзя допускать возникновения автоколебательных режимов.

При хорошей самоорганизации управление деятельностью НШ все управляемые процессы протекают монотонно (рисунок 4).

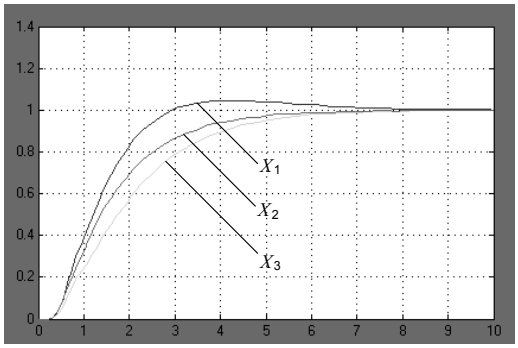


Рисунок 4 – Переходные процессы управления основными видами деятельности НШ

Заключение

Представлены результаты исследований многосвязной системы управления деятельностью научной школы как динамическим нелинейным объектом.

Разработанные математические модели многосвязной системы управления деятельностью научной школы отличаются тем, что в качестве ресурса использован интеллект коллектива, его практические способности и творческие возможности, т.е. управление осуществляется на основании знаний коллектива.

Проведенное исследование на разработанных моделях показало, что наличие запаздывания в принятии управленческих решений приводит в линейной системе к потере устойчивости, а в нелинейной системе к появлению устойчивых периодических движений темпов выполнения основных видов деятельности научной школы. К сожалению, на практике это явление проявляется достаточно часто.

Дальнейшие исследования предполагается продолжить в направлении исследования влияния несимметричности изменения параметров отдельных подсистем на устойчивость всей системы в целом.

Благодарности

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 15-08-01334.

Список литературы

[1] Вернадский В. И. Труды по истории науки в России. – М.: Наука, 1988. – 464 с.
[2] Школы в науке/ под ред. С. Р. Микулинского, М. Г. Ярошевского, Г. Креба, Г. Штейнера. – М.: Наука, 1977. – 523 с.
[3] Грезнева О. Ю. Научные школы: принципы классификации // Высшее образование в России. – 2004. №5. С. 42-43.
[4] Логинова Н. А. Феномен ученичества: приобщение к научной школе// Психологический журнал. 2000. №5. Т.21. С. 106-111.
[5] Новиков Д. А. Теория управления организационными системами. – М.: Физматлит, 2007. – 584 с.
[6] Новиков А. М., Новиков Д. А. Методология. – М.: СИНТЕГ, 2007. – 668 с.

СОЦИОГУМАНИТАРНАЯ СОСТАВЛЯЮЩАЯ ИНТЕРСУБЪЕКТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ИННОВАЦИОННЫМ РАЗВИТИЕМ СОЦИОТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

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: *инновационное развитие, проблемная ситуация, интерсубъективное управление, актор, социогуманитарные проблемы.*

Abstract

Today much attention is paid to innovative development of socio-technical objects and society in general. New principles of innovative development management are based on intersubjective management. Innovative idea as the basis of innovative development is the result of reflection by the actors of the problem situation, which articulates the idea of innovation by which it could be resolved and that will create added value for actors. The decision on how to resolve the problem situation by the actors collectively in the negotiation process. Argumentative discourse which purpose is consensus achievement is applied for the decision making. Man becomes a key figure in the process of intersubjective management. The interaction of heterogeneous actors searching for innovative ideas generate socio-humanitarian problems that need to be considered in developing the intersubjective methodology of innovative development of socio-technical objects management.

Введение

Исследованию вопросов инновационного развития социотехнических объектов и общества в целом сегодня уделяется большое внимание. Новые принципы управления инновационным развитием, базирующиеся на интерсубъективном управлении [1], были изложены на общетеоретическом уровне в [2] и применительно к инновационному развитию социотехнического объекта (вуза) - в [3]. В соответствии с [2], инновационная идея, как основа инновационного развития, есть результат осмысления акторами проблемной ситуации, который формулирует представление о некотором нововведении, с помощью которого ее можно было бы урегулировать и которое создаст дополнительную ценность для акторов. Решение о том, как следует урегулировать проблемную ситуацию, принимается акторами коллегиально, в ходе переговорного процесса. Для принятия решения применяется аргументированный дискурс, целью которого является достижение консенсуса [4]. Человек становится ключевой фигурой процесса интерсубъективного управления, а особенности взаимодействия гетерогенных акторов в ходе поиска инновационной идеи и порождаемые в результате социогуманитарные проблемы, которые необходимо учитывать, разрабатывая методику интерсубъективного управления инновационным развитием социотехнических объектов, оказываются предметом пристального изучения.

1 Традиционное и инновационное развитие социотехнических объектов

Современные предприятия в большинстве своем представляют собой сложные технические системы, управление которыми, в первую очередь, было сосредоточено на технологиях и производственных процессах. Однако относиться к ним исключительно как к техническим системам сегодня не приходится, поскольку социальная составляющая начинает играть все большую роль. Появляется понимание важности роли, которую играют все сотрудники любого предприятия. Поэтому сегодня мы говорим о *социо*технических объектах, подчеркивая важность человека, который играет ключевую роль в любой организации.

Попытки организовать инновационное развитие социотехнических объектов на базе традиционного управления не увенчались успехом. Сегодня в обществе доминирует «преимущественное понимание инноватики как чего-то конкретного, «технического», или, по крайней мере, как некоего решения в области производства, именно поэтому и обладающего ценностью» [5], а попытки что-то изменить не затрагивают главного – процессы управления социотехническими объектами, которые выстраиваются по классической схеме «идеальной бюрократии» М. Вебера: иерархия власти, функциональная специализация, игнорирование личных качеств людей в процессах принятия решений и др., в общем, преобладает обезличенный, механистический подход к управлению, который не может соответствовать инновационному развитию. Более того, инновации подчас выступают как некий мешающий фактор, препятствующий реализации начертанных планов и программ. Поэтому успехов в инновационном развитии практически не видно. Наблюдаемый сегодня стиль управления отдает приоритет подчинению и дисциплине, а не использованию личных качеств человека, консерватизму, а не модернизму, традициям, а не инновациям. В результате, социальные структуры, тяготеющие к традиционным («бюрократическим») подходам к управлению, что соответствует традиционной культуре общества, обладают слабой восприимчивостью к его новым формам, поскольку традиционная культура характеризуется наличием определенных образцов поведения, которым люди неукоснительно следуют, высоким уровнем стандартизации и нормативности. В сознании людей доминирует конформистский дух, поэтому общественное мнение играет важную роль. Общества с господствующей традиционной культурой отличаются антипатией и нетерпением ко всему малознакомому и непривычному, их характеризует осуждение любых действий, нацеленных на изменение сложившихся норм жизни и деятельности. Очевидно, что такая ксенофобия, принятая в обществе, является препятствием не только для инновационного развития социотехнических объектов, но и для нововведений, изменений в мышлении и образе жизни людей в целом.

Инновационное развитие социотехнических объектов опирается на инновационную культуру общества, формирующую инновационно восприимчивую среду, и возможно только при изменении принципов управления на субъектно-ориентированные, базирующиеся на интерсубъективном подходе [3]. Ключевыми факторами, определяющими ход любого инновационного развития, являются характеристики человека (а говоря об инновационном развитии социотехнических объектов, следует, в первую очередь, выделить человека, как главное действующее лицо). Мотивация акторов, субъективные реакции и многие другие ценностные установки в значительной степени определяются культурой.

Инновационная культура, доминирующая над традиционностью и принятая в обществе, нацелена на восприятие нового, что стимулирует движение, или развитие, общества. Важнейшей ценностью становится личность, настроенная на прогрессивные изменения, отказ от первоначально занятых позиций, учет разных мнений и взглядов, их анализ и обобщение, творческое развитие, что приводит к появлению и распространению новых смыслов. Инновационная культура порождает смысловое поле, в котором открывается возможность найти новое решение проблемы, преодолеть ограниченность ранее сложившихся культурных форм, что позволяет говорить о возможности рождения в обществе инновационных идей, определяемых в [2] как «результат осмысления акторами проблемной ситуации, который

формулирует представление о некотором нововведении, с помощью которого ее можно было бы урегулировать и которое создаст дополнительную ценность для акторов».

2 Социогуманитарные проблемы интерсубъективного управления инновационным развитием социотехнических объектов

Итак, инновационному развитию соответствует интерсубъективный подход к управлению, ориентированный на включение простых людей в традиционные схемы управления (что соответствует современному состоянию научной рациональности - постнеклассической научной рациональности), дополняя их возможностью разрешения проблемных ситуаций, в которых оказываются неоднородные акторы, взаимодействующие друг с другом и представляющие собой активную составляющую социотехнических объектов..

Любое взаимодействие и коммуникации людей порождают социогуманитарные проблемы, требующие изучения и разрешения. Эти проблемы могут быть связаны как с факторами окружающей акторов среды (социо), так и с их собственными особенностями (гуманитарные), определяемыми принятыми в обществе нормами, правилами, обычаями и традициями, сформированными под влиянием фундаментальных, организационных и социетальных факторов [6], в соответствии с которыми человек живет, коммуницирует с другими людьми и привык принимать решения в проблемных ситуациях.

Социогуманитарные проблемы интерсубъективного управления, в первую очередь, связаны с тем что в контур управления *включается живой человек* (кладовщик Иванов, а не объект Х), характеристики которого (образование, семейное положение, вероисповедание, с какой ноги он сегодня встал) следует учитывать, а не усреднять и типизировать. В теории управления, применяемой сегодня, принято как раз наоборот, строить модели, не учитывающие личные особенности каждого человека, а использующие общие характеристики каждого элемента. Новый подход потребует разработку и применение новых средств, ориентированных именно на эти особенности (в какой-то степени современные мультиагентные технологии позволяют учесть многогранность и индивидуальность агентов).

Простые люди (не профессионалы - управленцы), включенные в контур управления, *не имеют навыков участия в управлении* социотехническими объектами. Несмотря на то, что основные формы участия работников в управлении организацией (в соответствии со статьей 53 ТК РФ) [7] включают в себя и получение информации по вопросам, непосредственно затрагивающим интересы работников; и обсуждение с руководством вопросов, связанных с деятельностью организации, и участие в ее совершенствовании; и обсуждение планов социально-экономического развития организации, следует отметить, что сотрудники организаций не привыкли пользоваться этим правом, заранее уверенные в бесполезности или опасаясь репрессий. В какой-то степени это связано с тем, что традиционный подход к отношениям между работниками и работодателями складывался как отношения конфронтации. Менеджеры стремились унифицировать поведение всех элементов системы (прописывая должностные инструкции и требуя их неукоснительного исполнения), не учитывая возможности и особенности конкретных людей, оказавшихся на месте этих элементов. В результате возникала оппозиция работников социотехнического объекта его руководству. Со временем пришло понимание того, что управление социотехническими объектами более эффективно, если все субъекты заинтересованы в успехе дела. Многие специалисты (ученые и руководители предприятий) отмечают, что участие работников в принятии решений по вопросам, связанным с непосредственно их затрагивающими проблемными ситуациями, уменьшает противостояние между руководством предприятия и его персоналом, повышает производительность труда. Однако работоспособных схем такого взаимодействия до сих пор выработано не было. Управление на базе интерсубъективного подхода либерализирует взаимоотношения всех участников производственных процессов, переводя их из плоскости конфронтации в сторону сотрудничества.

Поэтому еще одна проблема связана с тем, что в процессе управления необходимо организовать *взаимодействие профессионалов-менеджеров, управленцев-бюрократов* (из мира систем) *с людьми* (из жизненного мира), которые становятся в новой парадигме управления не объектами, а равноправными субъектами. Сложность организации таких взаимоотношений связана с тем, что сегодня нет легитимизирующего их законодательства, не определены правила взаимодействия и полномочия всех субъектов - участников разрешения проблемной ситуации. Первым шагом в этом направлении должна стать разработка механизма урегулирования проблемной ситуации, начало которой было положено в [8], где было описано взаимодействие неоднородных акторов из мира повседневности, объединившихся в сообщества («ситуативные ассоциации»), и органов власти из мира систем («конвентов»).

Следует признать, что, как ни парадоксально, зачастую люди, оказывающиеся в проблемных ситуациях, опускают руки, не попытавшись что-то изменить и найти выход из создавшегося положения. Граждане не верят, что можно достичь результата, обратившись к власти. Подчиненные также не пытаются апеллировать к руководству социотехнических объектов, внося свои предложения по урегулированию проблемных ситуаций, в которых они оказываются. В какой-то степени это может быть связано с *патернализмом*, характерным для нашего общества, когда складывается система отношений, при которой власти обеспечивают потребности граждан, которые в ответ позволяют диктовать им модели поведения [9]. Таким образом граждане превращаются в потребителей, перекладывающих ответственность на государство и начальников и требующих от них разрешения их проблемных ситуаций. Однако в последнее время мы видим все больше и больше проявлений антипатернализма. Повышение стоимости проезда в общественном транспорте и на такси, например, привело к тому, что люди организовались в сообщество, и через Интернет-сайт BlaBlaCar могут договариваться о совместных поездках по городу и в другие города практически по цене бензина, что выгодно и для водителя, и для пассажира. Как видим, не найдя поддержки со стороны государства, понимая, что проблема не решается, люди были вынуждены искать выход самостоятельно.

Оказавшись в проблемной ситуации, актор предполагает, что есть и другие акторы, осознавшие аналогичную проблему, и начинает их искать. Чем больше людей будет объединено, тем быстрее и с меньшими затратами можно будет спродуцировать инновационную идею. Поэтому еще одна проблема, с которой могут столкнуться акторы в процессе поиска других акторов, это *сложность поиска* тех, кто оказался в той же проблемной ситуации. Следует отметить, что Интернет сегодня предоставляет все больше и больше возможностей для такого поиска и объединения, а «смена традиционных управленческих манипулятивных отношений между объектом и субъектом на равноправные, и распространение субъект-субъектной парадигмы делает Интернет ресурсом, каналом, площадкой, наиболее адекватно соответствующей всем типам коллаборативной коммуникации в инновационном дискурсе» [10]. Популярные Интернет-сообщества Facebook, ВКонтакте и прочие позволяют не только организовать поиск среди тех, с кем непосредственно общается актор, но и используя возможности перепостов сообщений, увеличивать количество посвященных со скоростью геометрической прогрессии. Специалисты отмечают, что развитие Интернет-технологий приводит к тому, что «массовое многостороннее коммуницирование пользователей переходит в их коллегиальное взаимодействие» [10].

Применение современных информационных и телекоммуникационных технологий позволяет организовать переговоры акторов, сформировать общее смысловое пространство, сократить время принятия решения. Проблема заключается в том, что *старшее поколение акторов*, в большинстве своем, *не владеет этими технологиями,* с трудом поддается обучению или сопротивляется применению нововведений, а молодежь, наоборот, стремится использовать средства коммуникаций в виде социальных сетей, например, и ориентируется в них, как рыба в воде. В одной проблемной ситуации могут оказаться люди разных поколений,

совместно наполняющие общее смысловое пространство различными взглядами, которые должны договориться друг с другом. Поэтому разрабатываемые в соответствии с новым подходом средства общения должны иметь простой и понятный интерфейс, ориентированный и на «непродвинутых» пользователей, с одной стороны, и похожий на интерфейс современных программных средств, которыми пользуются пользователи сети Интернет, с другой.

В конечном итоге, для принятия решения акторы должны владеть коммуникативными навыками, хотеть и уметь договариваться. Социогуманитарная проблема заключается в том, что *мы не умеем договариваться,* соблюдать установленные правила и исполнять то, что приняли. Нам трудно достичь консенсуса, не имея коммуникативных навыков, и создать гаражный кооператив, ТСЖ, общественное движение или партию. Как отмечает Уильям Юри, в основе наших неверных реакций в моменты ведения переговоров лежит «состязательное мышление типа «выиграл-проиграл», предположение, что либо мы, либо они достигнут желаемого. Негласной идеей выступает вера в единственный способ: один оппонент выиграет только в случае проигрыша другого. Даже если мы хотим сотрудничать, мы боимся, что второй человек воспользуется нами» [11]. В результате в проигрыше оказываются все стороны, пытающиеся договориться, и акторам оказывается трудно прийти к консенсусу. Обучение, направленное на то, чтобы научить людей влиять на себя до попыток воздействовать на окружающих, превращая себя самого из своих худших противников в лучшие союзники, даст им больше шансов удовлетворить и свои потребности, и потребности других людей.

3 Что делать?

Для разрешения социогуманитарных проблем, возникающих при интерсубъективном управлении социотехническими объектами, следует вооружить акторов определенными знаниями и умениями (в области выстраивания отношений с другими акторами, равноправными участниками проблемной ситуации, например), что невозможно без реконструкции системы образования, начиная со школьного воспитания и обучения, и продолжая в вузах и при повышении квалификации специалистов. Важно и обучить обучающих - учителей, преподавателей, вооружив их знаниями, технологиями, методологией интерсубъективного подхода. Людей формирует система воспитания, главные центры которой (семья и школа) меняются медленно. Авторитарность педагогики приводит к тому, что современное образование практически не реализует свою главную функцию - развитие и саморазвитие человека как личности в процессе его обучения. В результате количество людей, готовых отстаивать свои интересы и брать на себя ответственность за принимаемые решения (т. е. акторов) в обществе ничтожно мало.

Для того чтобы человек, оказавшийся в проблемной ситуации в центре разнообразных форматов интеракций, включился в новые для себя модели внешних отношений, он должен уделять особое внимание внутренней коммуникации и саморазвитию. Специалисты отмечают, что в современном обществе «саморазвитие как особый вид коммуникации становится все более социально и экономически значимым» [10].

Высшее образование, традиционно представленное гуманитарным и естественно-научным (технократическим), уже давно вызывает нарекания специалистов в области педагогики. Погруженные в отдельные предметы и дисциплины, студенты не видят их связи друг с другом, не понимают, как можно применить полученные знания в жизни, не видят цельной картины окружающего их мира. Поэтому необходимость вовлечения каждого ученика в активный познавательный, творческий процесс признается уже давно. Еще в начале прошлого века Дж.Дьюи и его последователи пытались реализовать метод проектов, который также называли методом проблем [12]. Идея Дж.Дьюи, которая заключалась в том, чтобы вовлечь каждого ученика в активный познавательный, творческий процесс, была подхвачена

впоследствии многими педагогами. Направить обучение студентов в новое русло может применение интерсубъективного подхода, использующего анализ проблемных ситуаций, предложенное автором в [13, 14].

Заключение

Социогуманитарные проблемы, возникающие при интерсубъективном управлении [15], порождаются процессом взаимодействия человека с социумом. С одной стороны, возможности их разрешения кроются в желании акторов разрешить проблемную ситуацию и найти из нее выход. С другой стороны, иногда присутствует нежелание и неумение акторов действовать так, чтобы прийти к консенсусу и договориться с другими акторами. Поэтому важными элементами продвижения интерсубъективного управления в обществе являются обучение методике и пропаганда новых подходов к управлению процессами в обществе.

Список литературы

[1] 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.

[2] Виттих, В.А., Горбунов, Д.В., Моисеева, Т.В., Смирнов, С.В. Принципы управления процессом рождения инновационных идей / В.А. Виттих , Д.В. Горбунов , Т.В. Моисеева , С.В. Смирнов // Проблемы управления и моделирования в сложных системах: Труды XVII Международной конференции. - Самара, СНЦ РАН, 2015. - с. 202-215.

[3] Моисеева, Т.В. Инновационное развитие вуза. Интерсубъективное управление / Т.В. Моисеева // Инфокоммуникационные технологии. - 2016. - Том 14. - №1. - С. 92-99.

[4] Арпентьева, М.Р. Переговоры в теории интерсубъективного управления / М.Р. Арпентьева, Т.В. Моисеева // Онтология проектирования. – 2017. – №1(23). – С.102-114. DOI: 10.18287/2223-9537-2017-7-1-102-114.

[5] Неклесса, А.И. Инновация и революция // Дружба Народов. 2003. № 4. С. 45-55, с. 52

[6] В.М. Полтерович. Институциональные ловушки и экономические реформы. 1999

[7] Система ГАРАНТ: http://base.garant.ru/12125268/8/#ixzz4eayYYjuJ

[8] Моисеева, Т.В. Интерсубъективное управление: от теории к практике / Т.В. Моисеева // Проблемы управления и моделирования в сложных системах: труды XVIII Междунар. конф. – Самара: Изд-во ООО «Офорт», 2016. – 464с. С. 53-62.

[9] Википедия.

[10] Шилина, М.Г. Интеграция социальной коммуникации в дискурсе инноваций / М.Г. Шилина // Вестник Пермского университета. Философия. Психология. Социология. - 2015. - №2 (22). - С.95-104.

[11] Договорись с собой… и другими достойными оппонентами», Уильям Юри; пер. с англ. Е. Ивченко. – М. : Манн, Иванов и Фербер, 2015 г. http://www.psychol-ok.ru/lib/ury_w/dss/dss_01.html

[12] Дьюи Дж. Понятие рефлекторной дуги в психологии // Интеракционизм в американской социологии и социальной психологии первой половины XX века: Сб. переводов / РАН. ИНИОН. Центр социал. научн.-информ. исследований. Отд. социологии и социал. Психологии. Сост. и переводчик В.Г. Николаев. Отв. ред. Д.В. Ефременко. - М., 2010. - Сер.: Теория и история социологии) - с. 70-83.

[13] Моисеева, Т.В. Инновационное развитие вуза. Интерсубъективное управление обучением в техническом вузе / Т.В. Моисеева // Инфокоммуникационные технологии. - 2016. - Том 14. - №3. - С. 328-336.

[14] Виттих В.А., Моисеева Т.В. Концепция интерсубъективного обучения. Вестник Московского университета им. С.Ю. Витте. Серия 1: Образовательные ресурсы и технологии. 2014. №3. С. 4-8. [Электронный ресурс]. URL: http://www.muiv.ru/vestnik/pdf/pp/ot_2014_3_04_08.pdf / (дата обращения: 15.07.16)

[15] Виттих, В.А. Понятие интерсубъективности в эвергетике / В.А. Виттих // Онтология проектирования. – 2014. – №4(14). – С. 90-97.

СРЕДСТВА ДОСТИЖЕНИЯ КОНСЕНСУСА В ШИРОКИХ ГРУППАХ ЛЮДЕЙ, ОБЪЕДИНЕННЫХ ОБЩЕЙ ПРОБЛЕМНОЙ СИТУАЦИЕЙ

Ю.В. Мятишкин

Институт проблем управления сложными системами РАН
443020, Самара, ул. Садовая, 61, Россия
myat2008@mail.ru
тел: +7 (846) 332-39-27, факс: +7 (846) 333-27-70

Ключевые слова: *консенсус, интерсубъективное управление, договороспособность, управление общим, групповое взаимодействие, жилищно-коммунальное хозяйство, гражданское общество, принятие решений, самоуправление.*

Abstract

The article is devoted to analysis of consensus achieving economic expenses made by the group united by common problem situation. Economic relations improvement in the group with the help of payment for organizational roles executed by its members is proposed. The economic benefit of all participants involved in the adoption of common solutions is discussed. Possibility of the community negotiability improvement is analysed.

Введение

Интерсубъективное управление процессами, протекающими в обществе, рассматривает людей, оказавшихся в проблемных ситуациях, как гетерогенных акторов, которые ведут переговоры друг с другом [1], и стремятся договориться, принимая решение по урегулированию создавшейся ситуации [2].

При этом сами акторы существенно заинтересованы в разрешении проблемной ситуации, в которой они оказались, и готовы вкладывать в достижение результата собственные ресурсы (финансовые, материальные, временные). Однако иногда для решения имеющейся проблемы должны быть привлечены и другие люди (не акторы), личная заинтересованность которых может быть ниже, и делать свой вклад в общее дело они тоже готовы, но не в такой степени как акторы, при этом без их участия и одобрения решение не может быть реализовано.

Особенно остро эта проблема встает в тех случаях, когда группа с общей проблемной ситуацией достаточно большая или (и) имеющаяся проблема требует существенных ресурсов для своего решения, и сил акторов не достаточно для этого. Для решения такой проблемы можно пойти различными путями: привлечь частного инвестора или ресурсы государства, однако можно напрямую воспользоваться возможностями остальных людей данной группы.

Главной отличительной особенностью больших сообществ является то, что в них необходимо тратить дополнительные силы на убеждение и оказание влияния на людей, слабо заинтересованных в разрешении общей проблемной ситуации. Такова ситуация, например, при принятии решений, связанных с управлением общим имуществом многоквартирного дома.

Отметим, что сегодня участники группы, находясь перед выбором, осуществлять дискуссию для достижения полного понимания в группе или обойтись без нее, чаще предпочитают самостоятельно действовать. Это можно объяснить опасением потратить время, материальные ресурсы, но при этом не расширить свои возможности. Так зачастую происходит по причине слабой развитости социально-экономических навыков у акторов и участников проблемной ситуации. При этом в обществе сложно найти людей, которые к консенсусу (стопроцентному согласию в группе, принимающей решение) не относились бы как к явлению положительному,

однако, в случаях, когда возникает необходимость его достижения, к нему стремятся далеко не все, предпочитая навязывать свое решение, достигая при этом посредственных результатов.

В данной статье сделана попытка провести анализ институциональных издержек управления, необходимых для достижения консенсуса в больших сообществах. Общей целью исследования является поиск путей увеличения вложений ресурсов членов группы, состоящей как из акторов, осуществляющих концентрацию ресурсов для решения проблемной ситуации, так и не-акторов, заинтересованных в преодолении проблемы, но в меньшей степени.

Достижение поставленной цели позволит расширить экономические границы коллективного принятия решений, а так же увеличить масштабы взаимодействия, развив возможности создания крупных и сложных сообществ людей, решающих общие задачи.

1 Консенсус как средство привлечения ресурсов акторами

В настоящее время, как правило, организаторы разрешения проблемной ситуации принимают решения самостоятельно, и извещают участников объединенной общей проблемой группы о том, какое вложение в общее дело те должны сделать для реализации их решения. В данном случае затраты сил на обсуждения минимальны. Главный недостаток этого подхода заключается в том, что группа, не доверяя такому решению, опасаясь, что желаемый результат не будет ею достигнут, тратит свои ресурсы ограниченно или вовсе уклоняется от вложений.

Достижение консенсуса в группе позволило бы преодолеть данную проблему. При таком способе принятия решения все участники группы должны согласиться с принимаемым решением. Это вызывает доверие у участников группы, и тогда они охотнее вкладывают свои трудовые, материальные и финансовые ресурсы в реализацию совместно выбранных планов. Принятие решения с достижением полного согласия ее участников (акторов и не-акторов) способствует привлечению дополнительных вложений (в том числе не-акторов) для решения проблем, поставленных акторами.

Чем больше круг согласных с принятым решением, тем больше вложений в его реализацию можно получить. Консенсус, таким образом, является инструментом повышения готовности добровольно вкладывать ресурсы в разрешение общей проблемной ситуации всеми лицами, участвующими в принятии решения[3], [4].

Принятие решений, не ведущих к привлечению дополнительных ресурсов, может осуществляться и не путем консенсуса. Сюда относятся, например, многие административные вопросы, решение по которым может быть принято не стопроцентным количеством голосов. Однако консенсус здесь также полезен для повышения вероятности исполнения договоренностей, легитимности решения.

Очевидно, что достижение консенсуса - это дополнительные трудозатраты, как для участников группы, так и (особенно) для акторов-организаторов. Однако повышенные издержки на принятие решений способствует не только привлечению инвестиций, но и компенсируются улучшением их качества. Кроме того, выявление широкого круга мнений существенно повышает уровень компетентности группы людей.

2 Управление принятием группового решения

Для того чтобы группа людей собралась для обсуждения и принятия общего решения, этим процессом консолидации сил необходимо оперативно управлять (проводить опросы, назначать встречи, вести делопроизводство и т.д.), что требует затрат времени и вложения прочих ресурсов. Причем квалификация лидера, влияющего на людей без инструментов власти и манипуляций, необходима достаточно высокая. Лидером в этом процессе может стать наиболее активный, образованный, владеющий навыками коммуникации актор. Оперативное управление группой снижает общие расходы участников и, вообще, делает реализацию общего пла-

на возможным. Поэтому расходы на управление следует отнести к части общих расходов на разрешение проблемной ситуации.

Так как у актора-лидера нет ни силового аппарата власти, ни финансовых возможностей для сбора и объединения причастных к проблемной ситуации людей, ему доступны в качестве инструмента управления только личное влияние и средства убеждения, подкрепленные очевидной заинтересованностью в достижении результата остальных участников сообщества. Осуществление управления при этом требует большего времени, оно более инертно, однако эти недостатки компенсируются доступностью метода при отсутствии у акторов собственных ресурсов в объеме, необходимом для поиска выхода из проблемной ситуации и реализации принятого решения.

Даже если уровень готовности к самоорганизации в группах людей, осознавших общую проблемную ситуацию, достаточно высок, а участники группы без принуждения, под воздействием собственных убеждений выполняют определенные действия в общих интересах, они все же нуждаются в осуществлении оперативного руководства, связывающего совместные действия и, соответственно, снижающего общие непроизводительные расходы.

Достижение консенсуса в малой группе людей, объединенных общей проблемной ситуацией, обычно осуществляется без какой-либо оплаты актора–лидера – модератора принятия решения и организатора взаимодействия. Участвуя в очном собрании, все тратят примерно одинаковое время, и хотя у участников принятия решения различается квалификация, данная разница во вложениях не учитывается. Когда размер этого сообщества увеличивается, то разницу во вложениях в принятие консолидированного решения уже нельзя не учитывать.

Актору приходится тратить время на коммуникации с прочими участниками группы для достижения согласия по многим вопросам. Издержек у акторов-лидеров в большой группе становится очень много. В этом случае сообщество рискует потратить время, но не решить свою проблему, так как для актора по каким-то причинам может оказаться невыгодным тратить слишком много своих средств на объединение ресурсов группы. Ожидаемая выгода для актора не будет компенсироваться понесенными им расходами.

Еще одним негативным последствием привлечения актором собственных избыточных средств на достижение общей цели является появление у него дополнительной мотивации компенсировать «несправедливость» за счет однобокой деформации решения в свою пользу путем сокрытия или искажения каких-то фактов от других участников проблемной ситуации. Интересы остальных участников группы окажутся ущемлены, общий результат взаимодействия для рядовых участников обеднен, что может привести к недовольству и конфликтам.

Если сообщество осознанно оплатит хлопоты по приведению общего мнения к единому, устраивающему всех или почти всех, то в итоге сообщество получит больше ресурсов на достижение желаемого результата за счет повышенной готовности каждого участника вкладывать в общее дело и более качественное решение по способу вложения.

Сегодня отсутствие культуры оплаты трудозатрат акторов как в постоянных сообществах, так и временных, заметно снижает возможности использования собственных сил участников взаимодействия.

3 Расходы на урегулирование межличностных отношений в группе

Как известно, любое решение человек принимает исходя из своего рационального видения или находясь под эмоциональным воздействием. Чтобы достичь эмоциональной мотивации участия в обсуждении и последующих вложений в общее дело урегулирования проблемной ситуации, группа должна иметь позитивное эмоциональное подкрепление: доброжелательность, признание, радость и т.д.

В данной статье мы не будем рассматривать психологические аспекты участия в формировании коллективного ресурса, отметим лишь очевидную вещь - то, что позитивная добро-

желательная атмосфера в группе способствует более высокому участию в общем деле, чем негативные отношения в ней. Поэтому психологическая цель достижения консенсуса - укрепление позитивных отношений.

Рациональное поведение - это то, что поддается логической или идеологической формализации. Сегодня, как правило, основной целью достижения консенсуса является экономическая выгода для членов сообщества. Однако, данная мотивация акцентирует внимание участника группового взаимодействия на достижении строго личного интереса, а не общего, это может послужить источником возникновения конфликтов в группе и её дальнейшему ослаблению или, вообще, распаду.

Поэтому, в качестве основного целеполагания следует выбрать достижение улучшения отношений между участниками в группе на почве удовлетворения совместного интереса, что не вступает в противоречие с природой самообеспечения человека. Однако, налицо расширение целеполагания: не просто выгода, а выгода с улучшением отношений.

Для решения данной задачи необходимо выделить улучшение отношений между участниками в отдельный процесс для того, чтобы отделить внешние источники конфликтов от конфликтов интересов, связанных с урегулированием проблемной ситуации, а также для своевременного выявления противоречий и снижения уровня напряженности в группе и выстраивания позитивных отношений.

Далеко не каждое сообщество, принимающее групповые решения, имеет необходимые ресурсы для снятия межличностных конфликтов путем оплаты работы специалистов в этой области. Это подходит для крупных постоянных хозяйственных сообществ с большими суммарными ресурсами, таких как предприятия, потребительские кооперативы, организации собственников МКД, а также территориальное общественное самоуправление (ТОС). Однако, поставить цель улучшения межличностных отношений может любое сообщество не зависимо от своего размера. Это позволит снизить риски возникновения конфликтов и, соответственно, повысить вероятность достижения успеха в решении своих задач сообществом.

4 Отношения с иррациональными участниками группы

Помимо естественных конфликтов, вызванных различием или не полным сходством интересов участников группы, существуют и личностные конфликты, когда кто-либо из участников препятствует принятию решения. Причиной может быть зависть, завышенная самооценка, патологический страх брать на себя ответственность и прочие личностные психологические особенности. Поведение таких людей иррационально, или точнее, эмоционально. Оно препятствует получению таких личных выгод, как экономия денег и времени, более высокое качество потребления, снижение угрозы для здоровья и прочих рациональных интересов [5]. В основе их выбора лежат фобии, комплексы и другие психологические недостатки или острая химическая зависимость.

С такими людьми невозможно договориться, опираясь на рациональную логику. На практике их поведение выглядит как бескультурное, эгоистичное. Оно вызывает агрессивный настрой к ним у остальных участников взаимодействия. Поэтому было бы более целесообразно не включать таких людей в группы, создаваемые акторами для достижения консенсуса, поскольку это грозит серьезными потерями временных и материальных ресурсов. Однако, бывают случаи, когда это не представляется возможным. Например, такое вынужденное взаимодействие приходится осуществлять в многоквартирных домах.

Интерсубъективное управление требует от своих участников развитых социальных навыков взаимодействия и коммуницирования, договороспособности и доброжелательности в отношениях. С недоброжелательными людьми очень дорого выстраивать равноправные партнерские отношения. Однако, если в этом есть необходимость (акторам не хватает только собственных ресурсов для решения проблемной ситуации), то группе придется тратить дополни-

тельные ресурсы на перевоспитание, возможно, ограничив недоброжелательных участников в правах, создавая у них таким образом мотивацию к личным изменениям. Для этого необходимы такие институты, требующие расходов средств сообщества на свое содержание, как товарищеский, или моральный суд, который может служить инструментом разрешения и прочих конфликтов, связанных, например, с разрешением хозяйственных вопросов [6], [7].

Моральные правила и нормы, на которые будут опираться эти суды, должны представлять собой свод общечеловеческих норм, которые признает подавляющее большинство людей. Приведение их в удобную для применения форму требует научных исследований и высокой квалификации специалистов, эти правила разрабатывающих [8].

Цель создания самофинансируемых сообществом судов — повышение инвестиционной активности членов сообщества в реализацию совместных планов. Прагматичная, а не эмоциональная направленность данного института способна сделать его финансирование устойчивым. Позиционирование товарищеского (морального) суда как средства улучшения отношений в группе позволит сформировать правила, которым будет подчиняться подавляющее большинство участников взаимодействия, так как отклонение от них послужит естественным механизмом коллективного психологического давления на нарушителей моральных норм.

5 Организационные расходы, необходимые для принятия решения группой

Организация процесса взаимодействия участников группы людей, объединенных общей проблемной ситуацией, в которую входят и акторы, и люди, не готовые к активным действиям, требует вложения существенных временных, материальных и финансовых ресурсов, которых организаторы (акторы-лидеры) просто не имеют, или не всегда готовы взять на себя такие расходы, поэтому многие проблемы так и остаются нерешенными.

Чтобы расширить возможности сообщества по организации решения проблемы, рассчитывая на поддержку всей группы, ее участникам необходимо:

- обучение групповому принятию решений;
- развитие соответствующих организаторских навыков объединения людей в группы для принятия групповых решений;
- создание системы оплаты работы акторов-лидеров;
- обучение пользованию программными продуктами, снижающих издержки на принятие совместных решений [9].

Поскольку такие вложения в приобретение навыков совместного равноправного взаимодействия достаточно велики, было бы целесообразно производить соответствующее обучение в устоявшихся сообществах, где они смогут пригодиться для решения разных проблем многократно, а устойчивое сообщество сможет получать выгоду от совместных действий постоянно. К таким сообществам можно отнести предприятия, сообщества жильцов многоквартирных домов, объединения граждан в сельских и прочих локальных поселениях, ТОСы. Развитие навыков совместных действий позволит расширить возможности группы при решении общих проблем путем концентрации и привлечения ресурсов разных лиц и организаций.

Временные сообщества, самоорганизующиеся для однократного решения проблемной ситуации, могут не успеть оправдать вложения в образование участников, поэтому в них лучше собирать людей, уже подготовленных к групповому взаимодействию.

6 Ограничения договороспособности группы

Даже если группа согласилась оплачивать (трудовым, имущественным или финансовым участием) хлопоты по достижению общего согласия, это не означает, что любое решение она способна принять консенсусом.

Первое, на что хотелось бы обратить внимание, это то, что на достижение полного консенсуса (стопроцентное согласие) требуются наибольшие трудозатраты для группы по сравне-

нию даже с неполным консенсусом (1 человек не согласен или отсутствует на текущем собрании, но его решение обязательно для 100% голосования). При этом прямая противоположность консенсуса - принятие единолично-авторитарного решения - является самым дешевым способом принятия решения, так как это требует затрат времени только одного человека (лица, принимающего решение). Все остальные варианты (более 50%, 75% и т. д.) являются промежуточными с точки зрения их себестоимости.

Вторым важным экономическим свойством консенсуса является то, что приближение к полному консенсусу нелинейно увеличивает «трудовые издержки» по убеждению каждого оставшегося непроголосовавшего или несогласного, так как, как правило, напоследок остаются наиболее трудно убеждаемые члены сообщества, а также те, явку которых сложнее всего обеспечить.

Третье. Чем выше уровень компетентности группы по принимаемому вопросу, тем меньше трудозатрат требуется на его принятие, то есть чем сложнее принимаемое решение, тем выше его себестоимость.

В конечном итоге не все решения могут быть приняты. Проблема может остаться нерешенной до появления более благоприятных условий или, возможно со временем, она перестанет быть актуальной.

Четвертое. Сама техника взаимодействия участников группы при принятии общего решения может быть более или менее эффективной. Культура общения, последовательность обсуждений, модерация и протоколирование итогов, а также применение прочих приемов, связанных с достижением наилучших решений с наименьшими затратами времени на дискуссии, также определяют себестоимость групповых решений и их качество.

Таким образом, издержки, необходимые для достижения договороспособности группы, обусловлены величиной сообщества, образованностью её членов, наличием необходимых навыков для взаимодействия в сообществе. Инвестиции в повышение образовательного уровня и развитие навыков принятия совместных решений позволят расширить спектр вопросов, по которым можно достичь группового соглашения.

7 Пути снижения себестоимости процесса принятия общего решения

Возможны следующие варианты снижения себестоимости принятия общего решения в большой группе.

1) При принятии решения большой группой сужение круга людей, участвующих в реальных дискуссиях, приведет к уменьшению затрат на процедуру обсуждения. Необходимо разделить обсуждение на предварительную подготовку принимаемого решения со сбором информации, с очными обсуждениями и непосредственное принятие общим собранием этого заранее заготовленного решения.

   Дискуссионная группа подготовки решения должна состоять из тех, кто способен оказать наибольшее влияние на преодоление имеющихся проблем, по которым оно принимается. В общем случае это наиболее весомые инвесторы, представители власти, специалисты, наиболее компетентные в вопросах, связанных с решаемой задачей, а также люди, пользующиеся доверием во всем сообществе участников и, конечно же, те, кто является двигателем процесса решения проблемной ситуации - акторы. Однако, при этом сильное сужение подготавливающей общее решение группы обедняет качество её решений.
2) Можно не достигать полного консенсуса, голосовать большинством. Однако, это повышает риск принять некачественное решение. К тому же полное согласие в группе обеспечивает наиболее высокий уровень инвестиционной активности в реализацию самой обсуждаемой темы.
3) Вынесение на общие собрания сложных вопросов потребует высокую компетентность группы и дополнительные расходы на дообучение менее грамотных в решаемых вопросах членов сообщества. Поэтому предлагается сузить круг вопросов, выносимых на общее обсуждение.

4) Достижение консенсуса акторов с некомпетентными участниками сообщества - задача сложная, но достижимая. Для этого необходимо доверие участников как к акторам-лидерам, так и ко всей остальной группе (акторам и не-акторам). Оно порождается доброжелательностью и компетентностью остальных членов сообщества. Поэтому в задачи акторов (не только лидеров, но и прочих участников) входит и поддержание благоприятной моральной обстановки в сообществе, и повышение уровня социализации его участников. Вложения в воспитание участников являются способом повышения договороспособности сообщества и, в итоге, увеличения инвестиционной активности.

8 Риски и ответственность за подготовленное решение

Наибольшую ответственность за то, будет ли принято решение, несут его организаторы. Это обусловлено тем, что они:

- больше остальных вкладывают свои ресурсы в организацию принятия решения;
- на подготовку предварительного решения нужно потратить свои ресурсы, и если оно будет принято, то организаторы не смогут ни компенсировать свои издержки, ни разрешить ту проблемную ситуацию, для решения которой они собирали участников;
- если итог общего дела будет отрицательным, то организаторам в следующий раз потребуется существенно больше вкладывать своих сил, чтобы собрать ресурсы участников.

Очевидно, что себестоимость организации принятия общего решения достаточно существенна. Если в группе не найдется людей, готовых взять на себя издержки и риски по организации принятия решения, то оно просто не будет принято. Это либо принесет ущерб членам группы, либо участники группы будут пытаться решать общую проблемную ситуацию индивидуально, что окажется существенно дороже, так как не будут использованы возможности разделения труда и рисков между участниками, а так же, например, будут совершены покупки в розницу вместо совместной закупки.

При этом каждому все равно придется тратить время на принятие собственного частного решения на сбор информации и обдумывание. В случае принятия совместного решения, при правильной организации дела, сбор и переработка информации осуществляются с меньшими суммарными издержками для членов сообщества. Происходит своего рода приобретение решения по оптовой цене. Это дополнительная экономическая выгода в оплате участниками издержек по организации принятия решения как такового.

Заключение

Интерсубъективное управление в больших сообществах, объединенных общей проблемной ситуацией, подразумевает необходимость достижения консенсуса, который обеспечивает приток ресурсов на её решение. Сложность заключается в том, что достижение согласия в большом сообществе требует развитой системы взаимодействия людей и существенных расходов на организацию процесса принятия решений. Поэтому предлагается развивать оплату таких вещей как:

- подготовка проекта решения общего собрания сообщества;
- оперативное управление акторами процессом принятия решений;
- обучение участников навыкам совместного принятия решений;
- повышение образовательного уровня по принимаемым вопросам;
- средства профилактики и преодоления межличностных конфликтов в сообществе;
- товарищеский (моральный) суд для оказания влияния на нарушителей принятых общественных норм;
- прочие средства, повышающие вовлеченность в общее дело.

Достижение консенсуса - дорогостоящее мероприятие. Чтобы обеспечить согласие, в любой группе людей требуются серьезные институциональные расходы. Однако, издержки компенсируются дополнительным притоком ресурсов в решение проблем и повышением качества принимаемых решений. При этом, после обретения необходимых социальных навыков организационные расходы сообщества будут снижаться.

Несмотря на то, что затраты на организацию интерсубъективного управления кажутся достаточно большими, тем не менее её можно и необходимо развивать поэтапно, постепенно выращивая необходимые структуры.

Спектр решений, которые возможно принять всем сообществом, ограничен экономическими возможностями организаторов и сообщества. Чем выше уровень содействия участников в деле обсуждения общих задач, тем более дорогостоящие решения способна принять группа, тем выше уровень её договороспособности. В связи с низким начальным уровнем социальных навыков в групповом принятии ответственных решений, на первых порах целесообразно выбирать такие темы, с реализацией которых изначально согласно подавляющее большинство членов сообщества, или начать с решения административных вопросов.

Содействие государства развитию институтов, обслуживающих согласие в обществе, расширили бы возможности разрешения проблем на местном уровне. Финансирование институтов самоуправления со стороны коммерческих организаций послужит развитию торговли с формированием новых рынков сбыта. Однако, чтобы самоорганизованное сообщество устойчиво существовало, необходимо научиться содержать его собственными средствами участников. В противном случае оно ничем не будет отличаться от госструктур или обычных фирм и утратит свои преимущества.

Решение задачи формирования принципов управления на основе достижения консенсуса несет в себе существенные изменения в общественной жизни и повышает качество самой жизни граждан за счет улучшения отношений между людьми, а так же создания условий для новой инвестиционной привлекательности экономики.

Благодарности

Выражаю признательность ученому секретарю Института проблем управления сложными системами РАН к.э.н. Моисеевой Татьяне Владимировне, высказавшей замечания и давшей рекомендации по усовершенствованию данной статьи.

Список литературы

[1] Арпентьева, М.Р., Моисеева, Т.В. Переговоры в теории интерсубъективного управления / М.Р. Арпентьева, Т.В. Моисеева // Онтология проектирования. – 2017. – №1(23). – С.102-114.
[2] 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.
[3] Адлер Ю.П. Даешь консенсус! //Стандарты и качество. – 2017. – №1(23). – С.102-114..
[4] Управление фирмами в Японии. Перевод В.Б. Рамзеса // Изд-во «Прогресс» Москва, 1969г.
[5] Рубинштейн А.Я. Рациональность & иррациональность: эволюция смыслов //Журнал новой экономической ассоциации. – 2017. – №1(33). – С.146-151..
[6] Киселева А.В. Самый справедливый суд в мире (о деятельности товарищеских судов Горьковской области в 1965-1972 гг.) //Вестник нижегородского института управления. – 2017 – №1(42) – С.49-51
[7] Васильев В.А. Товарищеские суды: история, перспективы деятельности в условиях рынка. // Трудовое право. – 2008. – №1. – С.18-21.
[8] Варламова Н.В. Право и мораль: соотношение в контексте различных типов правопонимания. // Взаимодействие права и морали: Материалы Международной научной конференции. отв. ред. Т. А. Сошникова. (г. Москва, 20 мая 2014 г.). – г. Москва: Московский гуманитарный университет, 2014. - С. 56-63.
[9] Виттих, В.А., Принятие решений на основе консенсуса с применением мультиагентных технологий / В.А. Виттих, Т.В. Моисеева, П.О. Скобелев // Онтология проектирования. – 2013. – №2(8). – С. 20-25.

«СПОР О ТЕХНИКЕ» Ф. ДЕССАУЭРА И ПРОБЛЕМА ИСПОЛНЕНИЯ

А.Ю. Нестеров

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

Ключевые слова: *семиотика техники, философия техники, Ф. Дессауэр, онтология техники, исполнение*

Abstract

The report formulates the classical opposition for the philosophy of technology of Platonism and Constructivism. A mechanism for overcoming this opposition is shown in terms of general semiotics. Within the framework of the semiotic concept of technology, an interpretation of technical performance in the form of a reference is proposed, that is, the implementation of semantic and pragmatic rules for a propositional function.

Введение

Философия техники отвечает на вопросы о сущности и существовании техники (технических объектов и сред), об эпистемологических основаниях технического знания, о влиянии техники на способы целеполагания и целереализации человека. Ключевой проблемой для философии техники выступает проблема нового, того, что с техническим открытием впервые входит в человеческую жизнь и продолжает на неё воздействовать безотносительно к технику-первооткрывателю. Возникновение нового, изобретение – это реализация или исполнение задачи, описываемые в той или иной традиции философии техники. В настоящем рассуждении в терминах общей семиотики обсуждается платонистская концепция техники и вопрос об «исполнении» как осуществлении технического действия от возникновения замысла (инобытия действительного, способного удовлетворить ту или иную потребность) к логической форме и, наконец, артефакту, удовлетворяющему законам физического мира.

1 Платонистская концепция техники Ф. Дессауэра

В посвящённых понятию техники работах Ф. Дессауэра («Философия техники» 1928 [1], «Спор о технике» 1958 [2]) последовательно развёртывается платонистское понимание техники. Суть этого понимания заключается в том, что то новое, которое впервые входит в человеческую жизнь с техническим изобретением, уже присутствует в «потенциальной части космоса»: сущность технического предшествует существованию технического артефакта. Альтернативное понимание техники формулируется в работах Г. Рополя [3] и связано с конструктивистской критикой «четвёртого царства» как мира предустановленных форм решений в технической деятельности, сформулированного Ф. Дессауэром.

В обоих классических случаях определения сущности техники она предстаёт как форма рефлексии, как проективный семиозис, в котором взаимодействуют фантазия, исчисление и законы физического мира. Семиотическое выражение контроверзы платонизма и конструктивизма показывает, что техника как проективная деятельность имеет дело с опытом (в смысле памяти), как он получен в рецептивных актах познания и сформулирован в виде «знаний» (как обоснованных истинностных убеждений), и с навыками фантазии, логического мышления (исчисления) и в целом рассудочного представления, с практической реализацией в физическом

мире, доступном чувственному восприятию. Соответственно техника – это акт деятельности, обеспечивающий проективное взаимодействие трёх сред семиозиса (разума, рассудка и восприятия) для решения некоторой проблемы, достижения цели, удовлетворения потребности.

Как форма рефлексии и как деятельность, техника представима в виде языка, то есть набора семантических, синтаксических и прагматических правил. Правила связывают фантазию, исчисление и физический мир. Если в реалистски определённом познании (например, по Н. Гартману) их взаимодействие носит рецептивный характер – сознание приспосабливается и трансформируется под воздействием «внешнего», то в случае рефлексии, то есть творческой и технической деятельности, их взаимодействие является проективным – сознание создаёт «новое» и трансформирует внешнее.

Техническое действие берёт начало в фантазии, продолжается в мышлении и завершается построением объекта в чувственном восприятии. Каждая из этих трёх сред семиозиса обладает собственным набором синтаксических, прагматических и семантических правил. Объективность и иерархическая сложность этих правил – это открытие платонизма; приведение правил разных сред в состояние проективного взаимодействия, способного изменить среду, реальность – это открытие конструктивизма. Представление техники в терминах языка (как семиозиса особого типа) – это претензия семиотического подхода.

Эволюция технического объекта, развитие техники как формы саморефлексии человеческого сознания связано с последовательным расширением сферы искусственного. Начав с доисторических артефактов, действующих в рамках законов природы в сфере физического мира, техническое в виде искусственных языков, автоматизированных инструментов вычисления, экзосоматической памяти, алгоритмов коммуникации, поиска и т.п. с середины XX века проникает в сферу рассудка и в настоящее время (в трансгуманистических проектах [4]) претендует на сферу разума. Это развитие может быть описано в терминах становления и распространения техники как «мировой силы» Ф. Дессауэра или «технического мировоззрения» П.К. Энгельмейера [5] как последовательное замещение естественной среды искусственной, сопровождающееся трансформацией прагматического правила семиозиса как отношения между знаком и фоном.

Один из наиболее интересных моментов в концепции Ф. Дессауэра с точки зрения социальных проекций техники связан с понятием «силы» технических объектов в пространстве и во времени. Сила заключается в расположении элементов искусственного объекта и принадлежит «космосу», не человеку. Человек лишь вызывает её путём последовательного приближения к идеальному решению и пользуется ею, исполняя задачи и удовлетворяя потребности. Силы отдельных технических объектов, складываясь, формируют технику как «мировую силу». Закономерен вопрос, в какой мере эта сила оказывается выражена или проявлена в человеческой деятельности, как эту силу измерять? В какой мере к ситуации человек-техника применимо понимание свободы Г.-Г. Гадамером («сила, которая больше своего выражения, всегда есть свобода» [6. с.210])? Ответы на эти вопросы существенно влияют на предметное содержание представлений о технико-гуманитарном балансе в смысле А.П. Назаретяна, равно как и на видение эволюции технической среды.

2 Проблема исполнения

Понятие «исполнения» в философии техники используется для обозначения удовлетворения человеческих желаний или потребностей посредством того или иного артефакта. Термин «исполнение» используется в экономике и социальной философии, в логике и математике, в теории литературы употребляются его эквиваленты. Задача настоящего рассуждения в том, чтобы, во-первых, показать синонимичный «исполнению» ряд терминов в философских дисциплинах, описывающих проективный семиозис или, другими словами, творческую деятельность человека, и во-вторых, проинтерпретировать процедуру «исполнения» в терминах референции в рамках семиотической модели технического сознания.

В логике понятие исполнения (Erfüllung) используется А. Тарским [7] для конкретизации корреспондентского определения истины, связывающего выражение в метаязыке и языке-объекте. Под «исполнением» понимается исполнение переменной предикативной функции некоторым именем высказывания. Под предикативными функциями Тарский понимает высказывания метаязыка, содержащие переменные, например, «х бел» или «х любит у»; под именами – слова или термины языка-объекта, например, «снег», «Ромео», «Джульетта». Соответственно процедура исполнения описывается как реализация семантического правила семиозиса: «х» интерпретируется как «снег», «Ромео» и т.д. В логике такого рода понимание исполнения является общепризнанным [8, с. 571f.; 3], однако оно показывает процедуру исполнения лишь как внутриязыковую перекодировку, то есть как отношение, не выходящее за пределы языка как формы организации рассудочных категорий.

Более общее представление об исполнении даёт теория литературы, если допустить, что «исполнение» эквивалентно «выражению». Классическим представлением о художественной деятельности является рассуждение В. Дильтея [9] о том, что поэт – это человек особой силы переживания, способный облечь это переживание в рассудочный язык. Художественное выражение, осуществляемое в поэтическом творчестве, – это исполнение переживания в художественной форме того или иного языка искусства. Сложность художественного высказывания, исторически обусловленная эволюцией формы выражения, определяется тем, что для поэта оно исполняет невыразимое иначе переживание, а для читателя служит руководством, ключом, кодом или нитью Ариадны для воссоздания переживания поэта. И для поэта, и для читателя исполнение, как выражение и как понимание соответственно, – это осуществление семантического правила относительно действительного набора денотатов, где язык в проективном или рецептивном режиме обозначает те или иные конфигурации рефлектирующего сознания. Таким образом, чтобы проанализировать содержание понятия исполнения в терминах теории литературы, необходимо язык как форму организации рассудка проинтерпретировать на фоне неязыковой структуры переживающего, действующего сознания.

В философии техники понятие исполнения обладает существенно большим объёмом, допуская сравнение форм исполнения потребностей человека в литературе и технике. Например, Ф. Дессауэр, демонстрируя антропологические следствия платонистского понимания техники, пишет: «…В сказках исполнения ложны, а желания, стремления к золоту, силе, благоденствию, роскоши и владычеству подлинны» [2, с. 173]. «Исполнение» оказывается термином, способным фиксировать внутриязыковые отношения, отношения языка к неязыковым элементам рефлексирующего сознания и отношения между потребностями и их действительным удовлетворением в физическом мире.

Ф. Дессауэр определяет технику как «реальное бытие из идей посредством финалистского формирования и обработки из данного природой инвентаря» [8. с. 406]. Сфера потребностей является частью потенциального, то есть ненаблюдаемого и логически неизвлекаемого космоса, доступ к которой открывается человеку в соответствии с его образованием, воспитанием, уровнем социализации и т.п. Техника исполняет потребности с точки зрения действительного мира, то есть с точки зрения законов физической реальности и логики; техническое исполнение потребности противопоставляется сказочному, фикциональному или литературному исполнению потребностей. И то, и другое исполнение могут быть заданы и сравнены в терминах семиозиса в виде осуществления семантического правила.

Понятие потребности фиксирует некоторую неполноту или неопределённость в осуществлении той или иной системы сознания. «Потребность» – это вербальное имя логической переменной, где само понятие переменной фиксирует «знание о незнании» в эпистемологическом смысле или «возможность» в онтологическом смысле. Зафиксировать некоторую потребность – значит сравнить в акте рефлексии две и более системы, например, систему физического восприятия цвета, присущую человеческому организму и заданную его физиологическими особенностями, и систему наименований цветов того или иного языка. При

наложении этих систем в каждой из них возникает неполнота (Р. Ингарден обозначил её как «место неопределённости» [10]), требующая дополнительной – рефлексивной и технической – деятельности.

Собственно платонистское понимание техники у Ф. Дессауэра позволяет понять сферу потребностей как неизменный во времени формат жизни, включающий на базисном уровне природные потребности в пище, размножении и укрытии. К их удовлетворению человек стремится, фиксируя возможность их исполнения сначала фикционально, сугубо художественными средствами (например, в греческих мифах мы обнаруживаем богов, которым атрибутированы исполненные человеческие потребности: боги пируют, удовлетворяют свои плотские желания и живут в защищённом месте), а затем технически, путём изобретения. Исполнение, осуществление, реализация, воплощение – это термины, фиксирующие процесс технического изобретения и включения его в структуры деятельности. Собственно техническое исполнение заключается в том, что форма проективной рефлексии, то есть способ решения проблемы или удовлетворения базовой потребности, подразумевает здесь не только невербализуемые образы фантазии, не только предметы языка, но и искусственные артефакты, новые объекты, занятые исполнением задач в сфере физического мира.

Можно представить себе условного архаического человека, перед которым в рефлексии возникают два образа: мифологический образ пирующего бога и сказочный образ скатерти-самобранки. Собственно техническое действие будет связано с пересмотром оснований рефлексии [11]: на место синкретического магического понимания себя и мира должен был прийти рациональный анализ оснований и условий возможности как самой потребности, так и форм её удовлетворения. В этом смысле можно утверждать, что техника как форма рефлексии подразумевает свою специфическую онтологию, допускающую собственно техническое исполнение. С точки зрения онтологии техники утверждение о существовании – это утверждение о технической исполнимости, утверждение о сущности – это утверждение о знании законов природы, обеспечивающих техническое исполнение.

Заключение

Техническое действие берёт начало в фантазии, продолжается в мышлении и завершается построением объекта в чувственном восприятии. Каждая из этих трёх сред семиозиса обладает собственным набором синтаксических, прагматических и семантических правил. Объективность и иерархическая сложность этих правил – это открытие платонизма; приведение правил разных сред в состояние проективного взаимодействия, способного изменить среду, реальность – это открытие конструктивизма. Представление о техническом исполнении как о референции, то есть о последовательном отображении фантазии на рассудочных структурах, а рассудочных структур – на чувственном восприятии – это тезис, формулируемый в рамках семиотики.

Техническое исполнение как последовательное осуществление семантического правила в проективной интерпретации от фантастического образа к языковому выражению и далее к соответствующему законам физического мира артефакту может быть описано как трансформация и финалистское упорядочивание референции: логически корректные смыслы создают истинностные значения как новые объекты, соответствующие законам природы.

Благодарности

Работа выполнена при поддержке Совета по грантам Президента Российской Федерации, проект МД-6200.2016.6 "Семиотические основания техники и технического сознания".

Список литературы

[1] Dessauer F. Philosophie der Technik. Das Problem der Realisierung. – Bonn, 1928.
[2] Dessauer F. Streit um die Technik. – Freiburg in Breslau, 1959.
[3] Ropohl G. Allgemeine Technologie. Eine Systemtheorie der Technik. – Karlsruhe, 2009.
[4] Глобальное будущее 2045. Конвергентные технологии (НБИКС) и трансгуманистическая эволюция. – М., 2013.
[5] Энгельмейер П.К. Философия техники. – СПб., 2013.
[6] Gadamer H.-G. Wahrheit und Methode. – Tübingen, 1990.
[7] Tarski A. Die semantische Konzeption der Wahrheit und die Grundlagen der Semantik // Skirbekk G. (Hrsg.) Wahrheitstheorien. – F.a.M., 1977. S.140-188.
[8] Дессауэр, Ф. К философии техники. Что есть техника? – Термин и сущность / Ф. Дессауэр // Онтология проектирования. – 2016. – Т. 6, №3(21). – С. 390-406.
[9] Дильтей В. Воображение поэта. Элементы поэтики // Дильтей В. Собрание сочинений. Т.4. – М., 2001. С.263-421.
[10] Ingarden, R. Das literarische Kunstwerk. – Tübingen, 1960.
[11] Cassirer, E. Form und Technik / Cassirer E. Symbol, Technik, Sprache. – Hamburg: Meiner, 1985. – S.39-91.

ПОСТНЕКЛАССИЧЕСКАЯ ПАРАДИГМА СЛОЖНЫХ СИСТЕМ В ИНЖЕНЕРНО-ПСИХОЛОГИЧЕСКОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ

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: *виртуальное прототипирование, инженерно-психологическое проектирование, постнеклассическая рациональность, сложные системы*

Abstract

Deals with the engineering-psychological problems that occur in automated design systems including virtual prototyping and polyparametric optimization solutions. The prospects of applying post-non-classical models of complex systems for the analysis of emerging system design interactions between the operator and the artificial intelligence design system.

Введение

Методы и технологии проектирования сложных технических систем, их содержание, оптимизация и автоматизация управления проектной деятельностью человека являются классическим объектом не только инженерных наук, но и определяют ключевые проблемы инженерной психологии [1]. Их изучению посвящены работы видных представителей технического направления инженерно-психологического знания (Галактионов А.И., Губинский А.И., Коротеев Г.Л., Крылов А.А., Львов В.М., Ломов Б.Ф., Нафтульев А.И., Падерно П.И., Чернышев А.П., Шадриков В.Д., Щедровицкий Л.П. и др.). Общий вывод полученный в их работах заключается в том, что индивидуальное человеческое сознание способно создавать объекты и системы высокой сложности, но их реализации не отвечают критериям оптимальности в силу биологически обусловленных ограничений когнитивной системы человека действующей по ассоциативному принципу, исключающему точное знание. Возможности коллективной деятельности при реализации сложных проектов значительно выше, но требуется длительное время для формирования коллектива и конституирующей его коммуникации. В среднем создание эффективного коллектива разработчиков технических комплексов и систем требует не менее 10–15 лет. Единственным разумным выходом из сложившегося положения считается автоматизация проектной деятельности, обеспечивающая снижение когнитивной нагрузки на человека. Однако возникает новая проблема – обеспечение эффективного симбиотического взаимодействия проектировщика (группы проектирования) с виртуальной моделирующей средой, осуществляющей перевод идеи продукта в физический оригинал и его оптимизацию. Данная задача не решается только созданием сенсорных интерфейсов, важно и эффективное включение когнитивной системы человека в среду проектирования. К сожалению научного решения данной проблемы, в настоящее время нет.

Обращение представителей технических и инженерных наук к новым формам научной рациональности оперирующими сложными и саморазвивающимися системами далеко неслучайно. Это вполне обоснованная реакция на кризисное состояние современной методологии проектирования сложных технических систем и комплексов, исчерпавшей свои возможности в рамках классических механистических представлений, которые не позволяют создавать искус-

ственные системы организованной сложности [2]. Основная проблема – необходимость работы с высокоточными моделями полипараметрических физических систем.

Обращение к киберфизическим системам, технологиям «Индустрия 4.0» и технологиям бионического проектирования (бионический дизайн) является следствием борьбы со сложностью создания современных продуктов инженерной деятельности [3].

Развивается новый класс инструментов инженерной деятельности обеспечивающих автоматизированное проектирование в виртуальной среде, сопряженной с переводом виртуальных продуктов в реальный физический мир с использованием технологий и платформ CAD/CAE/CAM/PLM [4]. Их появление на переднем крае науки и технологии обусловлено потребностями практики и эволюцией техногенной среды человеческой цивилизации.

Процессы развития техногенной среди инструментов и принципов ее порождения в последнее десятилетие приобретают глобальный характер [5]. Мы оказались совершенно безоружными перед новой реальностью, связанной с появлением сложных сетевых систем, реализующих функции искусственного интеллекта, взаимодействующего с естественным интеллектом. Сложные системы — это особый класс систем. Он требуют смены парадигмы технического проектирования, использования нового категориального аппарата, включающего междисциплинарные дискурсы, порожденные в гуманитарных науках, биологии, нейрофизиологии, генетике и др. Но и этого оказывается недостаточно. В более глубоком варианте речь идет об изменении научной картины мира, появлении новой философии, отражающей законы формирования сложного мира, выходящего за пределы представлений обыденного сознания, работающего в рамках моделей классической рациональности [6].

Проблема проектной сложности в развивающихся системах

Проблему порождения сложных биологических организмов и экосистем природа решает за счет эволюционного процесса путем естественного отбора, который занимает исторические периоды, достигающие миллионов лет. Человечество не имеет такого резерва времени и проблемы проектирования объектов искусственной среды обитания и познания мира пытается решить путем эффективной организации группового опыта и созданием форм и методов селекции удачных решений. Использование суперкомпьютеров и алгоритмов машинного обучения позволяют спрессовать время необходимое на проектирование и решать задачи за счет быстрого перебора и выбора вариантов, сравнения их с заданными эталонами.

Проблему проектирования сложных систем нельзя решить без введения категориальных форм, отражающих существенные черты этого класса объектов. В современном научно-психологическом знании о психической и личностной регуляции субъектов проектной деятельности (Абульханова-Славская К.А., Анцыферова Л.И., Бодров В.А., Завалова Н.Д., Журавлев А.Л., Ломов Б.Ф., Обознов А.А., Ошанин Д.А., Пономаренко В.А., Сергиенко Е.А. и др.) личностная, субъектная компонента является решающей в формировании профессионала и его возможностей в эргатической системе. Согласно положениям субъектно-деятельностного подхода (Рубинштейн С.Л, Ананьев Б.Г., Леонтьев А.Н., Ломов Б.Ф., Брушлинский А.В., Климов Е.А. и др.), человек в результате включения в трудовую деятельность приобретает специфические свойства и качества самоорганизации, саморегуляции, самоутверждения и самоконтроля, согласования внешних и внутренних условий и средств активности.

Циклическое взаимодействие разработчиков с виртуальной средой при решении проектной задачи не является гарантией появления порядка в сложной системе из неупорядоченных, хаотически перемешанных потенциально возможных представлений о будущем изделии. Факт «опережающего отражения» давно известен в психологии и сформулирован в известном афоризме К. Маркса о том, что самый плохой архитектор от наилучшей пчелы с самого начала отличается тем, что, прежде чем строить ячейку из воска, он уже построил ее в своей голове. В

конце процесса труда получается результат, который уже в начале этого процесса имелся в представлении человека, т. е. идеально.

Проектирование в виртуальной реальности обеспечивает свободу субъекта в выборе вариантов проекта (продукта), а суперкомпьютинговая и моделирующая части системы проектирования обеспечивают физическую реализацию.

Коммуникация в интеллектуальной среде проектирования

Процессы коммуникации в системе проектирования рассматриваются в классическом подходе как обмен информацией между человеческой и машинной частями системы, но современные постнеклассические взгляды на коммуникацию свидетельствуют о ее самоорганизующемся характере, подчиняющем «субъектные-квазисубъектные» отношения [7]. В системе проектирования существуют субъекты проектирования и средства организации взаимодействия между ними и моделирующими средами. Проектировщик осознают проблемную ситуацию в сложной развивающейся среде моделирования и затем совместно с интеллектом среды симбиотически принимает решение о ее урегулировании. Используется интерактивный способ взаимодействия, в котором среда гибко реагирует на действия проектировщика формируя проектный дискурс в виде оптимизированных решений, из которых выбирается конечный вариант. Формируется «интеграционная платформа», содержащая признаваемые и разделяемые всеми проектантами знания о проблемной ситуации, в рамках которой и происходит выработка решения. Анализ процессов, происходящих в суперкомпьютинговой системе проектирования, по нашему мнению, возможен при введении в нее описания внутрисистемной коммуникации с точки зрения парадигмы кибернетики второго порядка (Heinz von Foerster, Humberto Maturana, Francisco Varela, Соколов Б.В., Юсупов Р.М.). Этот подход позволяет решить классическую проблему поиска источников порядка в самоорганизующихся системах (в том числе и в эргатической системе проектирования). Логично, по нашему мнению, использование рефлексивных моделей в развивающихся сетевых и групповых системах проектирования (Лепский В.Е., Лефевр В.А.). В системном аспекте под рефлексией понимается способность некоторых систем строить модели себя и других систем, и одновременно видеть себя, строящими такие модели. На этом пути удается провести конструктивные различия между знанием человека о себе и осознанием себя как носителя такого знания, что важно при переносе субъективных моделей в их физические воплощения.

В докладе фокусируется внимание исследователей на необходимость при создании систем автоматизированного проектирования использования неклассических методов междисциплинарного синтеза и тесного взаимодействия представителей гуманитарного и технического знания. Это особенно важно при создании сложных эргатических и социотехнических систем с интегрированным искусственным интеллектом, вступающим в симбиотические отношения с интеллектом и опытом проектировщика.

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 выполнена в рамках исполнения государственного задания Минобрнауки России № 25.8444.2017/БЧ по проекту «Инженерно-психологическое проектирование тренажеров и обучающих систем на базе симбиотических полимодальных техногенных сред».

Список литературы

[1] Сергеев С.Ф. Введение в инженерную психологию и эргономику иммерсивных сред. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2011.

[2] Сергеев С.Ф. Проблема сложности в эргатических системах // Материалы конференции «Управление в технических, эргатических, организационных и сетевых системах» (УТЭОСС-2012). – СПб: ГНЦ РФ ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», 2012. – С. 802–805.

[3] 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.

[4] Вальдхаузен М., Ахвенайнен Э. «Умное производство»: первые шаги // Rational Enterprise Management. 2017. – №2. – С.44–46.

[5] Сергеев С.Ф. Эргономика и инженерная психология техногенного мира: вопросы методологии, теории и практики // Современные тенденции развития психологии труда и организационной психологии / Отв. ред. Л. Г. Дикая, А. Л. Журавлев, А. Н. Занковский. – М.: Изд-во «Институт психологии РАН», 2015. – С. 47–56.

[6] Сергеев С.Ф. Методологические проблемы проектирования сложных эргатических систем // Проблемы управления и моделирования в сложных системах: Труды XVI Международной конференции (30 июня – 03 июля 2014 г. Самара, Россия) / Под ред.: акад. Е. А. Федосова, акад. Н.А. Кузнецова, проф. В. А. Виттиха. – Самара: Самарский научный центр РАН, 2014. – С. 386–392.

[7] Сергеев С.Ф., Сергеева А.С. Обучающая коммуникация и интерфейс в компьютерных образовательных системах и средах // Открытое образование. – 2014. – № 5 (106). – С. 41–48.

АНАЛИЗ СВОЙСТВ СИСТЕМНЫХ ОЦЕНОК СРАВНИТЕЛЬНОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИННОВАЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ

М.В. Цапенко

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт проблем управления сложными системами Российской академии наук
443020 г. Самара, ул. Садовая, 61, Россия
E-mail: mcap@mail.ru
тел./факс: +7 (846) 333-27-70

***Ключевые слова**: эффективность инновационного проекта, локальные и глобальные критерии эффективности, многокритериальное оценивание, метод Data Envelopment Analysis*

Abstract
This article describes how to obtain systematic estimates of the effectiveness of innovative projects based on local indicators. The method of multi-criteria evaluation of Data Envelopment Analysis was used. The received estimations of system efficiency of innovative projects have been analyzed. As a result of the research, the rankings of innovation projects were obtained.
This work was supported by RFBR Grant № 15-46-02135.

Введение

На основе формального метода многокритериального оценивания Data Envelopment Analysis [1, 2] (далее по тексту статьи – DEA) реализована процедура свёртки локальных показателей качества инновационных проектов в системную оценку сравнительной эффективности. В качестве локальных критериев эффективности инновационных проектов были выбраны пять общепринятых показателей экономической эффективности инвестиционных проектов [3]:

PV – стоимость проекта, руб.

E – объём товарного рынка, руб.

PP – срок окупаемости, лет.

CP – рентабельность проекта, %.

IC – требуемые инвестиции в проект, руб.

Выбор этого состава локальных показателей эффективности обусловлен их широким распространением при формировании заявок на отбор и финансирование инновационных проектов. Эти показатели позволяют сопоставлять различные проекты и определять их приоритетность.

Однако, даже минимизируя состав локальных параметров оценки, сделать однозначный выбор при наличии альтернативных проектов затруднительно, так как проекты могут иметь различный масштаб, первоначальную стоимость, потенциальный размер товарного рынка, запрашиваемый объём финансирования, сроки окупаемости и реализации.

Поэтому для решения задачи системной оценки сравнительной эффективности инновационных проектов была использована процедура, обеспечивающая свёртку локальных характеристик в единый обобщённый системный показатель эффективности.

Конструктивным способом решения этой задачи стал способ DEA-оценки. В соответствии с алгоритмом DEA-метода [4, 5], на первом этапе его реализации, были сконструированы обобщённые альтернативные критерии оценивания и предложены три различных варианта функционалов оценивания системной эффективности инновационных проектов. Далее были проведены расчёты и получены численные значения системных оценок

сравнительной эффективности для 22 анализируемых инновационных проектов. Полученные оценки эффективности были систематизированы, а оцениваемые проекты распределены по трём приоритетным группам, проанализирована теснота связи между результатами оценки по различным обобщённым функционалам оценивания.

Исследование выполнено в рамках гранта РФФИ № 15-46-02135.

1 Конструирование обобщённых критериев системного оценивания

Рассмотрим три различных варианта функционалов оценивания системной эффективности инновационных проектов.

Постановку первого обобщённого критерия сформируем на основе базовой гипотезы DEA-модели, заключающейся в максимизации результирующих параметров и минимизации характеристик, определяющих затраты ресурсов.

В качестве результирующих (выходных) показателей инновационного проекта возьмём: объём товарного рынка (*E*) и рентабельность (*CP*). В качестве затратных (входных) показателей выберем характеристики ресурсов – времени и денег: срок окупаемости (*PP*), стоимость проекта (*PV*), требуемые инвестиции (*IC*).

На основе сформулированных предположений первый обобщённый критерий имеет следующий вид:

$$(1) \qquad f_1 = \frac{E \cdot v_1 + CP \cdot v_2}{PP \cdot v_3 + PV \cdot v_4 + IC \cdot v_5} \rightarrow max,$$

где:

E, CP, PP, PV, IC – соответствующие показатели проекта;

$v_1 - v_5$ – весовые коэффициенты, определяющие вклад локального показателя в обобщённый критерий.

Идея формирования второго обобщённого критерия основана на принципе аддитивной свёртки локальных показателей. Основной гипотезой, при формировании этого критерия, было предположение о том, что максимизация каждого слагаемого – локального показателя – должна приводить к росту общей системной эффективности инновационного проекта.

Таким образом, максимизируются выходные параметры: объём рынка (*E*) и рентабельность (*CP*).

Предположим, что для увеличения системной эффективности проекта необходимо минимизировать срок окупаемости (*PP*), стоимость проекта (*PV*) и требуемые инвестиции (*IC*). Поэтому значения этих показателей введены в состав критерия в виде обратных значений.

На основе сформулированной гипотезы второй обобщённый критерий оценивания имеет следующий вид:

$$(2) \qquad f_2 = E \cdot v_1 + CP \cdot v_2 + \left(\frac{1}{PP}\right) \cdot v_3 + \left(\frac{1}{PV}\right) \cdot v_4 + \left(\frac{1}{IC}\right) \cdot v_5 \rightarrow \mathbf{max},$$

где:

E, CP, PP, PV, IC – соответствующие показатели проекта;

$v_1 - v_5$ – весовые коэффициенты, определяющие вклад локального показателя в обобщённый критерий.

В основу идеи третьего обобщённого критерия, также положен принцип аддитивной свёртки трёх относительных локальных характеристик: удельной стоимости проекта и объёма рынка по отношении к требуемым инвестициям, а также рентабельности проекта.

Срок окупаемости не принимается во внимание, т.к. является абсолютным индикатором.

Третий обобщённый критерий имеет следующий вид:

(3) $$f_3 = \left(\frac{PV}{IC}\right) \cdot v_1 + \left(\frac{E}{IC}\right) \cdot v_2 + CP \cdot v_3 \rightarrow \mathbf{max},$$

где:
PV, IC, E, CP – соответствующие показатели проекта;
$v_1 – v_3$ – весовые коэффициенты, определяющие вклад локального показателя в обобщённый критерий.

Конструирование обобщённого критерия на основе только относительных показателей позволяет учитывать фактор масштаба и адекватно сравнивать проекты, имеющие различные объёмные характеристики – первоначальную стоимость, требуемые инвестиции, объём целевого рынка.

На основе сформулированных критериев проведём апробацию моделей DEA-оценки. Для этого определимся с исходной информацией относительно выбранных локальных критериев эффективности для конкретного набора инновационных проектов.

2 Исходные данные

В качестве исходной информационной базы по характеристикам инновационных проектов воспользуемся данными представленными на сайте технопарка «Жигулёвская долина» [6].

В разделе «Проекты резидентов» представлена информация о 101 инновационном проекте – рисунок 1.

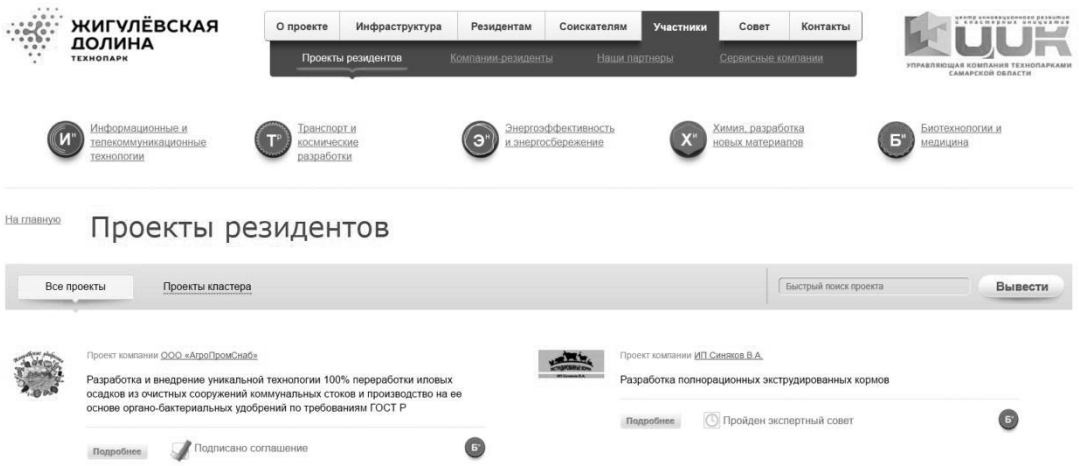


Рисунок 1 – Исходная информационная база по инновационным проектам

При анализе первичной информации существенное затруднение вызвало то, что не для всёх проектов представлены данные о локальных показателях качества, введённых нами ранее.

В связи с этим проведём формирование генеральной совокупности проектов, отвечающей требованию наличия информации по всем пяти исходным локальным показателям. Из общего пула проектов этому требованию отвечает 22 проекта.

3 Численная реализация алгоритма системного оценивания

На основе исходных данных сформируем постановки DEA-моделей для функционалов (1) – (3).

Постановка DEA-модели для первого проекта по первому функционалу (1) с соответствующей системой ограничений имеет вид:

$$f_{1_1} = \frac{14900000000 \cdot v_1 + 22 \cdot v_2}{3 \cdot v_3 + 1510200 \cdot v_4 + 1 \cdot v_5} \to \mathbf{max}$$

$$(4)\quad \begin{cases} (14900000000 \cdot v_1 + 22 \cdot v_2)/(3 \cdot v_3 + 1510200 \cdot v_4 + 1 \cdot v_5) \le 1 \\ (124000000000 \cdot v_1 + 20 \cdot v_2)/(2.5 \cdot v_3 + 20874000 \cdot v_4 + 20874000 \cdot v_5) \le 1 \\ (32500000000 \cdot v_1 + 132.5 \cdot v_2)/(2.75 \cdot v_3 + 12500000 \cdot v_4 + 12000000 \cdot v_5) \le 1 \\ (50000000 \cdot v_1 + 15 \cdot v_2)/(5 \cdot v_3 + 100000000 \cdot v_4 + 1 \cdot v_5) \le 1 \\ (5200000000 \cdot v_1 + 1024 \cdot v_2)/(2 \cdot v_3 + 204030000 \cdot v_4 + 15305200 \cdot v_5) \le 1 \\ (17200000000 \cdot v_1 + 35 \cdot v_2)/(5 \cdot v_3 + 103000000 \cdot v_4 + 43000000 \cdot v_5) \le 1 \\ (60300000000 \cdot v_1 + 100.3 \cdot v_2)/(5 \cdot v_3 + 10965000 \cdot v_4 + 4500000 \cdot v_5) \le 1 \\ (634000000000 \cdot v_1 + 200 \cdot v_2)/(1.5 \cdot v_3 + 1365000 \cdot v_4 + 1300000 \cdot v_5) \le 1 \\ (10000000000 \cdot v_1 + 11 \cdot v_2)/(5 \cdot v_3 + 1759985300 \cdot v_4 + 1758885300 \cdot v_5) \le 1 \\ (14300000000 \cdot v_1 + 7 \cdot v_2)/(2 \cdot v_3 + 37125000 \cdot v_4 + 3000000 \cdot v_5) \le 1 \\ (100000000 \cdot v_1 + 20 \cdot v_2)/(4.5 \cdot v_3 + 1400000000 \cdot v_4 + 400000000 \cdot v_5) \le 1 \\ (10000000000 \cdot v_1 + 11 \cdot v_2)/(5 \cdot v_3 + 655200000 \cdot v_4 + 12000000 \cdot v_5) \le 1 \\ (1000000000 \cdot v_1 + 133 \cdot v_2)/(7 \cdot v_3 + 191132600 \cdot v_4 + 60000000 \cdot v_5) \le 1 \\ (1000000000 \cdot v_1 + 23 \cdot v_2)/(3 \cdot v_3 + 22000000 \cdot v_4 + 10000000 \cdot v_5) \le 1 \\ (5000000000 \cdot v_1 + 25 \cdot v_2)/(3 \cdot v_3 + 45000000 \cdot v_4 + 18500000 \cdot v_5) \le 1 \\ (50000000000 \cdot v_1 + 30 \cdot v_2)/(4 \cdot v_3 + 244860000 \cdot v_4 + 27860000 \cdot v_5) \le 1 \\ (2000000 \cdot v_1 + 23 \cdot v_2)/(5 \cdot v_3 + 100000000 \cdot v_4 + 50000000 \cdot v_5) \le 1 \\ (50000000 \cdot v_1 + 25 \cdot v_2)/(3.8 \cdot v_3 + 94463000 \cdot v_4 + 1 \cdot v_5) \le 1 \\ (70000000 \cdot v_1 + 77.8 \cdot v_2)/(4 \cdot v_3 + 16096000 \cdot v_4 + 2500000 \cdot v_5) \le 1 \\ (70000000 \cdot v_1 + 40 \cdot v_2)/(3 \cdot v_3 + 15000000 \cdot v_4 + 10000000 \cdot v_5) \le 1 \\ (40000000 \cdot v_1 + 22 \cdot v_2)/(1.08 \cdot v_3 + 26212000 \cdot v_4 + 15000000 \cdot v_5) \le 1 \\ (240000000 \cdot v_1 + 100 \cdot v_2)/(5 \cdot v_3 + 113600000 \cdot v_4 + 120000000 \cdot v_5) \le 1 \\ \\ v_1, v_2, v_3, v_4, v_5 \ge 0. \end{cases}$$

Постановка DEA-модели для первого проекта по второму функционалу (2) с соответствующей системой ограничений имеет вид:

$$f_{2_1} = 14900000000 \cdot v_1 + 22 \cdot v_2 + \left(\frac{1}{3}\right) \cdot v_3 + \left(\frac{1}{1510200}\right) \cdot v_4 + \left(\frac{1}{1}\right) \cdot v_5 \to \mathbf{max}$$

(5)
$$\begin{cases}
14900000000 \cdot v_1 + 22 \cdot v_2 + (1/3) \cdot v_3 + (1/1510200) \cdot v_4 + (1/1) \cdot v_5 \le 1 \\
124000000000 \cdot v_1 + 20 \cdot v_2 + (1/2.5) \cdot v_3 + (1/20874000) \cdot v_4 + (1/20874000) \cdot v_5 \le 1 \\
32500000000 \cdot v_1 + 132.5 \cdot v_2 + (1/2.75) \cdot v_3 + (1/12500000) \cdot v_4 + (1/12000000) \cdot v_5 \le 1 \\
50000000 \cdot v_1 + 15 \cdot v_2 + (1/5) \cdot v_3 + (1/100000000) \cdot v_4 + (1/1) \cdot v_5 \le 1 \\
5200000000 \cdot v_1 + 1024 \cdot v_2 + (1/2) \cdot v_3 + (1/204030000) \cdot v_4 + (1/153052000) \cdot v_5 \le 1 \\
17200000000 \cdot v_1 + 35 \cdot v_2 + (1/5) \cdot v_3 + (1/103000000) \cdot v_4 + (1/43000000) \cdot v_5 \le 1 \\
60300000000 \cdot v_1 + 100.3 \cdot v_2 + (1/5) \cdot v_3 + (1/10965000) \cdot v_4 + (1/4500000) \cdot v_5 \le 1 \\
634000000000 \cdot v_1 + 200 \cdot v_2 + (1/1.5) \cdot v_3 + (1/1365000) \cdot v_4 + (1/1300000) \cdot v_5 \le 1 \\
10000000000 \cdot v_1 + 11 \cdot v_2 + (1/5) \cdot v_3 + (1/1759985300) \cdot v_4 + (1/758885300) \cdot v_5 \le 1 \\
14300000000 \cdot v_1 + 7 \cdot v_2 + (1/2) \cdot v_3 + (1/37125000) \cdot v_4 + (1/3000000) \cdot v_5 \le 1 \\
100000000 \cdot v_1 + 20 \cdot v_2 + (1/4.5) \cdot v_3 + (1/400000000) \cdot v_4 + (1/400000000) \cdot v_5 \le 1 \\
10000000000 \cdot v_1 + 11 \cdot v_2 + (1/5) \cdot v_3 + (1/655200000) \cdot v_4 + (1/12000000) \cdot v_5 \le 1 \\
1000000000 \cdot v_1 + 133 \cdot v_2 + (1/7) \cdot v_3 + (1/191132600) \cdot v_4 + (1/60000000) \cdot v_5 \le 1 \\
1000000000 \cdot v_1 + 23 \cdot v_2 + (1/3) \cdot v_3 + (1/22000000) \cdot v_4 + (1/10000000) \cdot v_5 \le 1 \\
5000000000 \cdot v_1 + 25 \cdot v_2 + (1/3) \cdot v_3 + (1/45000000) \cdot v_4 + (1/18500000) \cdot v_5 \le 1 \\
50000000000 \cdot v_1 + 30 \cdot v_2 + (1/4) \cdot v_3 + (1/244860000) \cdot v_4 + (1/27860000) \cdot v_5 \le 1 \\
2000000 \cdot v_1 + 23 \cdot v_2 + (1/5) \cdot v_3 + (1/100000000) \cdot v_4 + (1/50000000) \cdot v_5 \le 1 \\
50000000 \cdot v_1 + 25 \cdot v_2 + (1/3.8) \cdot v_3 + (1/94463000) \cdot v_4 + (1/1) \cdot v_5 \le 1 \\
70000000 \cdot v_1 + 77.8 \cdot v_2 + (1/4) \cdot v_3 + (1/16096000) \cdot v_4 + (1/2500000) \cdot v_5 \le 1 \\
70000000 \cdot v_1 + 40 \cdot v_2 + (1/3) \cdot v_3 + (1/15000000) \cdot v_4 + (1/10000000) \cdot v_5 \le 1 \\
40000000 \cdot v_1 + 22 \cdot v_2 + (1/1.08) \cdot v_3 + (1/26212000) \cdot v_4 + (1/15000000) \cdot v_5 \le 1 \\
240000000 \cdot v_1 + 100 \cdot v_2 + (1/5) \cdot v_3 + (1/113600000) \cdot v_4 + (1/120000000) \cdot v_5 \le 1 \\
\\
v_1, v_2, v_3, v_4, v_5 \ge 0.
\end{cases}$$

Постановка DEA-модели для первого проекта по третьему функционалу (3) с соответствующей системой ограничений имеет вид:

$$f_{3_1} = \left(\frac{1510200}{1}\right)\cdot v_1 + \left(\frac{14900000000}{1}\right)\cdot v_2 + 22\cdot v_3 \to \mathbf{max}$$

$$(6)\quad \begin{cases} (1510200/1)\cdot v_1 + (14900000000/1)\cdot v_2 + 22\cdot v_3 \le 1 \\ (20874000/20874000)\cdot v_1 + (124000000000/20874000)\cdot v_2 + 20\cdot v_3 \le 1 \\ (12500000/12000000)\cdot v_1 + (32500000000/12000000)\cdot v_2 + 132.5\cdot v_3 \le 1 \\ (100000000/1)\cdot v_1 + (50000000/1)\cdot v_2 + 15\cdot v_3 \le 1 \\ (204030000/153052000)\cdot v_1 + (5200000000/153052000)\cdot v_2 + 1024\cdot v_3 \le 1 \\ (103000000/43000000)\cdot v_1 + (17200000000/43000000)\cdot v_2 + 35\cdot v_3 \le 1 \\ (10965000/4500000)\cdot v_1 + (60300000000/4500000)\cdot v_2 + 100.3\cdot v_3 \le 1 \\ (1365000/1300000)\cdot v_1 + (6340000000000/1300000)\cdot v_2 + 200\cdot v_3 \le 1 \\ (1759985300/1758885300)\cdot v_1 + (10000000000/1758885300)\cdot v_2 + 11\cdot v_3 \le 1 \\ (37125000/3000000)\cdot v_1 + (14300000000/3000000)\cdot v_2 + 7\cdot v_3 \le 1 \\ (1400000000/400000000)\cdot v_1 + (100000000/400000000)\cdot v_2 + 20\cdot v_3 \le 1 \\ (655200000/12000000)\cdot v_1 + (10000000000/12000000)\cdot v_2 + 11\cdot v_3 \le 1 \\ (191132600/60000000)\cdot v_1 + (1000000000/60000000)\cdot v_2 + 133\cdot v_3 \le 1 \\ (22000000/10000000)\cdot v_1 + (1000000000/10000000)\cdot v_2 + 23\cdot v_3 \le 1 \\ (45000000/18500000)\cdot v_1 + (5000000000/18500000)\cdot v_2 + 25\cdot v_3 \le 1 \\ (244860000/27860000)\cdot v_1 + (50000000000/27860000)\cdot v_2 + 30\cdot v_3 \le 1 \\ (100000000/50000000)\cdot v_1 + (2000000/50000000)\cdot v_2 + 23\cdot v_3 \le 1 \\ (94463000/1)\cdot v_1 + (50000000/1)\cdot v_2 + 25\cdot v_3 \le 1 \\ (16096000/2500000)\cdot v_1 + (70000000/2500000)\cdot v_2 + 77.8\cdot v_3 \le 1 \\ (15000000/10000000)\cdot v_1 + (70000000/10000000)\cdot v_2 + 40\cdot v_3 \le 1 \\ (26212000/15000000)\cdot v_1 + (40000000/15000000)\cdot v_2 + 22\cdot v_3 \le 1 \\ (113600000/120000000)\cdot v_1 + (240000000/120000000)\cdot v_2 + 100\cdot v_3 \le 1 \\ \\ v_1, v_2, v_3 \ge 0. \end{cases}$$

Постановки DEA-моделей вида (4) – (6) для остальных 21 проектов различаются численными значениями переменных в функционалах, которые берутся на основе значений локальных показателей для каждого инновационного проекта из анализируемой совокупности.

Таким образом, для нахождения значений системной эффективности для каждого проекта по каждому функционалу необходимо сформировать в общей сложности 66 постановок задач линейного программирования и найти их решения.

4 Анализ свойств системных оценок эффективности

Проведём анализ полученных результатов оценивания. На графиках, представленных на рисунке 2, показаны системные оценки по функционалам оценивания: f_1, f_2, f_3.

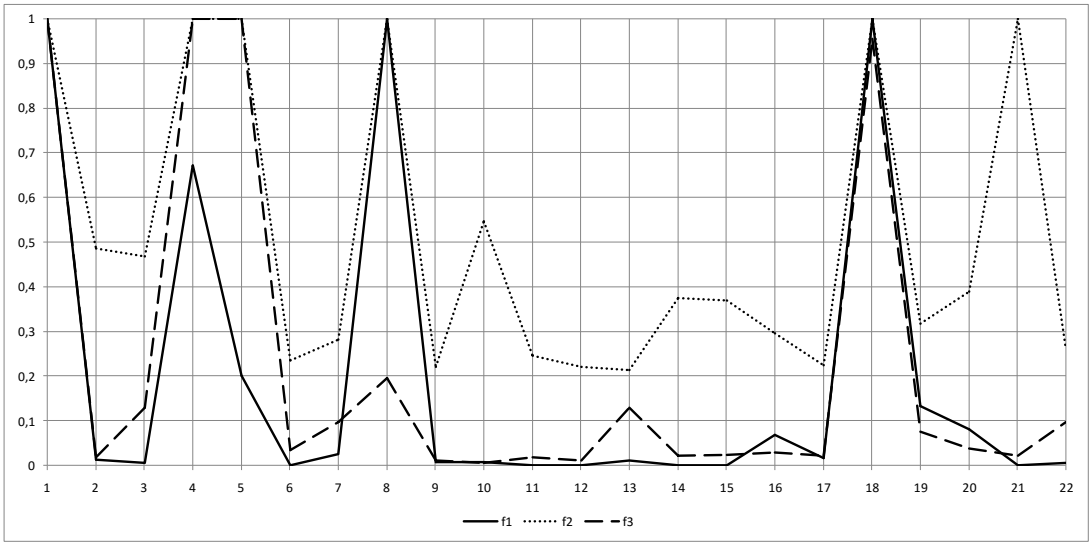


Рисунок 2 – Значения оценок системной эффективности проектов по трём функционалам f_1, f_2, f_3

Как видно из графиков, представленных на рисунке 2, по первому функционалу оценивания f_1 (значения показаны сплошной линией) максимальную системную эффективность имеют три проекта №1, №8 и №18, минимальное значение (f_1=0,0001) имеют проекты №11 и №21. Также для оценок по этому функционалу характерен максимальный разброс значений показателя системной эффективности.

По второму функционалу оценивания f_2 (значения показаны пунктирной линией) максимальную системную эффективность имею шесть проектов №№: 1, 4, 5, 8, 18, 21 минимальное значение имеет проект №13 – f_2=0,2136.

По третьему функционалу оценивания f_3 (значения показаны штриховой линией) максимальную системную эффективность имею три проекта №1, №4 и №5, минимальное значение имеет проект №10 – f_3=0,0068.

Для проектов №1 и №18 максимальные оценки по первому функционалу объясняются минимальными требуемыми вложениями в проект, параметр *IC* условно принят в размере 1 руб. Эти проекты не требуют сторонних инвестиций. Проект №8 имеет максимальный объём целевого рынка и высокую рентабельность, при низком сроке окупаемости – 1,5 года.

Проект №4 также не требует первоначальных вложений, но в связи с относительно небольшим объёмом целевого рынка и рентабельностью, а также большим сроком окупаемости – 5 лет получает оценку системной эффективности f_1=0,6734.

Эти четыре проекта можно отнести к приоритетной группе с высокой степенью эффективности по первому функционалу.

Средний приоритет составляют также четыре проекта №№: 5, 16, 19 и 20 их значения эффективности находятся в интервале от 0,2011 до 0,0691, соответственно – рисунок 2.

В этом приоритете необходимо обратить внимание на проект №5, который имеет максимальную, крайне высокую рентабельность – 1024%, которая заявлена в описании проекта и возможно требует обоснования.

К проектам с низким приоритетом по первому функционалу можно отнести четыре проекта №7, №17, №2 и №13 оценки эффективности которых составляют: 0,0267; 0,0167; 0,0128 и 0,012, соответственно.

Остальные 10 проектов имеют оценки эффективности не превосходящие f_1=0,008. Их можно признать неэффективными по первому функционалу оценивания.

Проанализируем оценки системной эффективности, полученные на основе функционала f_2 (2). Как видно из данных, представленных на графике рисунка 2, проекты №№: 1, 4, 5, 8, 18 и 21 имеют максимальную оценку системной эффективности f_2=1.

К проектам уже получившим максимальную оценку по функционалу f_1 добавились три новых проекта №№: 4, 5 и 21.

Отметим, что проекты №4 и №5 имели относительно высокие значения системной эффективности по первому функционалу и получили максимальные оценки по системному параметру f_2 за счёт минимальных первоначальных капиталовложений – проект №4 и максимальной рентабельности – проект №5.

Попадание в приоритетную группу проекта №21 объясняется минимальным значением срока окупаемости – 1,08 лет из всей анализируемой совокупности проектов.

Таким образом, аддитивный учёт факторов формирует более вариабельный системный критерий, в отличие от типовой постановки функционала (1) в DEA-модели.

Также следует отметить, что оценки по этому функционалу имеют меньший разброс – минимальное значение f_2 составляет 0,2136 для проекта №13.

В качестве критического значения f_2, разделяющего проекты на средний и низкий приоритеты можно выбрать уровень системной эффективности в 0,3 единиц.

Исходя из этого предположения к проектам, имеющим средний приоритет, можно отнести семь проектов с оценкой f_2 от 0,5463 до 0,3173 – это проекты №№: 10, 2, 3, 20, 14, 15 и 19.

К проектам с низким приоритетом относятся проекты значения показателей системной эффективности которых ниже 0,3. Это девять проектов с номерами №№: 16, 7, 22, 11, 6, 17, 9, 12 и 13.

Проанализируем оценки системной эффективности, полученные на основе функционала f_3 (3).

Как видно из данных, представленных на графике рисунка 2, три проекта №№: 1, 4, 5 имеют максимальную оценку системной эффективности f_3=1, также проект №18 имеет высокое значение оценки f_3=0,9554.

На основе таких значений параметра системной эффективности эти четыре проекта можно отнести к группе наивысшего приоритета.

Вторая по приоритетности группа проектов, включает шесть проектов со значениями f_3 от 0,1954 до 0,076 – это проекты №№: 8, 13, 3, 7, 22 и 19.

К проектам, имеющим низкий приоритет, можно отнести 12 проектов с параметром f_3 менее 0,05. К этой группе относятся проекты №№: 20, 6, 16, 15, 14, 17, 21, 2, 11, 9, 12 и 10.

Систематизируем оценки эффективности проектов по различным обобщённым критериям на основе сопоставления полученные группировок.

В таблице 1 представлены результаты сравнения группировок проектов, полученных на основе функционалов (1) – (3).

Таблица 1 – Группировки проектов (жирным шрифтом выделены номера совпадающих проектов в каждом из трёх приоритетов)

Группы приоритетов	f_1	f_2	f_3
1	*2*	*3*	*4*
Высокий приоритет	**1**, **4**, 8, **18**	**1**, **4**, 5, 8, **18**, 21	**1, 4,** 5, **18**
Средний приоритет	5, 16, **19**, 20	2, 3, 10, 14, 15, **19**, 20	3, 7, 8, 13, **19**, 22
Низкий приоритет	2, 3, **6**, 7, **9**, 10, **11**, **12**, 13, 14, 15, **17**, 21, 22	**6**, 7, **9**, **11**, **12**, 13, 16, **17**, 22	2, **6**, **9**, 10, **11**, **12**, 14, 15, 16, **17**, 20, 21

Как видно из данных, представленных в таблице 1, три проекта №№: 1, 4, 18 имеют высокий приоритет по всём трём функционалам.

Два проекта №8 и №5 получили высокие приоритеты по двум разным функционалам f_1, f_2 и f_2, f_3, соответственно.

Положение проекта №21 противоречиво – он имеет высокий приоритет по второму функционалу, при этом по функционалам f_1, f_3 этот проект получил низкий приоритет.

Таким образом, по результатам проведённого анализа можно сделать вывод о приоритетности проектов №№: 1, 4, 5, 8, 18.

К средней группе эффективности можно отнести проект №19, который соответствует этому уровню эффективности по всём трём функционалам. Также в эту категорию попадают проекты №20 и №3, имеющие средние оценки эффективности только по двум функционалам f_1, f_2 и f_2, f_3, соответственно.

Оставшиеся 14 проектов относятся к группе с низким приоритетом.

Проведя ранжировку проектов по совокупности обобщённых оценок, полученных на основе трёх различных функционалов, проанализируем тесноту связи между этими оценками.

Тесноту связи между системными оценками эффективности будем анализировать на основе коэффициентов корреляции между количественными значениями этих оценок.

Значения коэффициентов корреляции представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Значения коэффициентов корреляции между обобщёнными оценками по различным функционалам

Функционалы	Значения коэффициента корреляции
1	*2*
$f_1 - f_2$	0,7601
$f_2 - f_3$	0,7595
$f_1 - f_3$	0,7462

Как видно из данных, представленных в таблице 2, корреляция между оценками по различным функционалам высокая, её среднее значение – 0,7553, что соответствует сильной положительной взаимосвязи.

Сильная теснота связи между оценками по различным функционалам подтверждает обоснованность ранее сделанных группировок по этим функционалам и позволяет сделать вывод о достоверности полученной итоговой ранжировки инновационных проектов.

Заключение

По результатам проведённого исследования сконструированы постановки DEA-моделей для совокупности 22 анализируемых инновационных проектов, предлагаемых к реализации в Самарской области. Предложены альтернативные функционалы оценивания системной эффективности и построены соответствующие системы ограничений. Постановки DEA-моделей формализованы в форме задач математического программирования.

В основу альтернативных вариантов функционалов оценивания системной эффективности инновационных проектов положены различные комбинации локальных оценок, позволяющие оценить разные параметры качества проектов.

На основе решения задач математического программирования получены решения DEA-моделей – найдены множества оценок системной эффективности инновационных проектов, ранжированные на единичном интервале. Проанализированы качественные характеристики различий между результатами оценивания по этим функционалам и дана содержательная трактовка принципов формирования критериев обобщённой оценки.

Проанализированы свойства полученных решений DEA-моделей для различных функционалов оценивания, построена сводная группировка проектов, позволяющая разделить все проекты по трём приоритетам: высокий, средний и низкий.

Список литературы

[1] Фаррел М. Измерение эффективности производства [Текст] // Журнал Королевского статистического общества, 1957, серия А, том 120, ч. III, с. 253-281.

[2] 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.

[3] Коссов В.В., Лившиц В.Н., Шахназаров А.Г. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов. Третья редакция, испр. и допол. [Текст] – М., 2008. 234 с.

[4] Цапенко М.В. Анализ решений модели многокритериальной оценки сравнительной эффективности [Текст] // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2006. № S. с. 97-103.

[5] Цапенко М.В. Количественные способы оценки инновационного потенциала региона [Текст] // Вестник Самарского университета. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение. 2011. № 4 (28). с. 145-156.

[6] Официальный сайт технопарка «Жигулёвская долина» [Электронный ресурс]. [Режим доступа: http://z-valley.cik63.ru/participants/projects].

ВИДЫ УПРАВЛЕНИЯ В СОЦИАЛЬНЫХ СИСТЕМАХ И ИХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ

Л.Л. Чекалов

ООО «Транс-Мобил Спедишн»
443030, Самара, ул. Желябова, 3-45, Россия
ltrans777@mail.ru
тел: +7 (963) 115-00-77

Ключевые слова: *социальные системы, управление, государство, идеология*

Abstract

In the modern world understanding of types and mechanisms of management makes it possible to consciously improve the quality of decision-making and social systems' managing.

In this work the main types of social systems' management are highlighted: state, economic and ideological. Differences between them are also considered. Besides interaction and struggle for the primacy between various types of social systems' management are described in a historical retrospective. Several ways to transfer management between subjects in systems are highlighted too. Description and understanding of types of social systems' management allow to adequately perceive current social processes, to predict their short-term development, to implement conscious management on the basis of historical experience and social systems' general laws.

Введение

Научная работа предполагает проведение структуризации объекта исследования по определенному принципу и выбор набора понятий, описывающих элементы структуры, их связи, взаимодействие и функции. Некорректные структуризация и набор понятий приведут в дальнейшем либо к неоправданному усложнению описания, либо к не адекватному реальности описанию или к слишком одностороннему рассмотрению объекта исследования. Наряду с адекватной структуризацией реальности необходимо также умение собирать общую картину реальности из множества, казалось бы, не связанных между собой фрагментов. Этот процесс сравним с составлением картины из пазлов, когда постепенно по мере сборки проявляется общая картина реальности. В научном смысле этот процесс реализуется в системном подходе [1].

В разные исторические периоды в науке использовалось множество не совпадающих друг с другом описаний социальных систем [2,3,4,5]. В них по-разному рассматривались социальные отношения и давались различные объяснения, в основном ретроспективно, происходившим в социальных системах изменениям. Опираясь на описания прошлых состояний социальных систем постоянно делались попытки предсказать будущие состояния социума [6], а некоторые «горячие головы» совершали и практические действия по изменению социальных отношений в направлении кажущихся им правильными «научных» конструкций. В XX веке произошло несколько попыток конструирования общественных отношений и в том же веке почти все они потерпели полный крах.

В «научных» теориях выдвигались предположения об основных, определяющих общественные изменения, видах взаимодействия - как отношения к собственности и распределению общественного продукта, либо ведущей роли какой-либо нации, либо …, да мало ли что может прийти в голову свободно мыслящему человеку. Но на протяжении всей истории человечества видно, что любое объединение людей в группу естественным образом порождает необходимость управления этой группой. И на протяжении всей истории человечества социальные

системы постоянно управлялись различными способами - иногда более успешно, иногда менее.

В данной работе «управление» рассматривается как основная функция в социальных системах, а не множество побочных и вторичных отношений в социуме. Управление социальной системой предполагает постановку целей и задач перед группой людей и их реализацию в процессе группового действия, которое преодолевает самоорганизацию группы. Управление осуществляется определенными структурами, которые являются своеобразными надстройками социума, а так называемую «борьбу классов» и прочие социальные взаимодействия здесь можно назвать: «осознанным использованием «неосознающих» членов социума для разрушения предыдущей структуры управления».

В данной статье мы попытаемся рассмотреть какие виды управления социумом существуют и каким преимущественным способом осуществляется это управление в различные периоды истории.

1 Виды управления в социальных системах

Социальные системы имеют разные структурные образования, между которыми происходит распределение функции управления. Если немного вспомнить историю, то мы увидим, что в ближайшей к нам, более-менее достоверно известной истории, можно выделить три вида управления:

- государственное;
- идеологическое;
- экономическое или финансовое.

Всю историю человечества, кроме разве что общинной организации социума, можно рассматривать через борьбу этих трех видов управления и борьбу внутри видов управления за ведущие позиции в принятии решений. В каждой структуре управления для внешнего пользования декларируется работа структуры для социума и человека, но в реальности ни одна верхушка структуры не работает на человека, а работает на личные или внутриструктурные цели. Структура управления работает в «интересах» человека и социума только в той мере, насколько это необходимо самой структуре управления.

Задачи любой структуры управления:

- во-первых, сохранение, укрепление и расширение собственной структуры;
- управление социумом в собственных интересах;
- по мере возможности, удержание равновесия в социуме.

Каждый вид управления имеет свою структуру, которая внутри себя также реализует все три вида управления государственный, идеологический и экономический. Государственное управление в чистом виде представляет собой структуру, основанную на власти и принуждении, по отношению к своим гражданам и к сопредельным территориям. Армия, полиция, суды - постоянно напоминают нам об этом. Но государство имеет внутри себя подчиненную экономическую структуру (сбор налогов, госзаказ) и идеологическую структуру, либо подчиняет себе религиозную структуру или использует свой суррогат идеологии – фашизм, нацизм, коммунизм, «демократические ценности».

Идеологическое управление - это структура осуществляющая насилие над сознанием человека, для поддержания исполняемости управленческих указов не через внешнее насилие, а через внедренную в сознание людей картину мира. Для идеологического управления можно использовать также любую религию, хотя основатели религий скорее всего не одобрили бы это. Но можно просто придумать картину мира вроде фашизма, нацизма, коммунизма или каких-нибудь «ценностей» и достаточно эффективно управлять людьми. Идеологическая структура внутри себя также создает элементы государственной структуры и экономического

управления. Примером может служить Ватикан, имеющий собственную службу охраны и финансовую структуру.

И третий способ управления - это экономический или финансовый способ, когда сначала металл, а потом бумага объявляются мерой обмена труда и его результатов. И здесь имеется возможность перевести обменную функцию денег в управляющую не только экономическими, но и государственными и идеологическими процессами в социуме. И конечно же все знают, что уважающие себя крупные экономические структуры – банки и корпорации имеют внутри себя и службы безопасности и висящие на стенах кабинетов в красивых рамочках тексты «идеологических миссий» этих организаций.

В «чистом» виде ни один из видов управления никогда не существовал в истории человечества, но мы всегда можем заметить преобладание в тот или иной исторический период или на какой-либо территории одного из видов управления и соответствующей структуры над другими. Структуры трех видов управления причудливым образом накладываются на социум в пространстве и времени. Пространственно-географическое распространение различных структур управления в общих чертах можно определить следующим образом:

- государственные - в пределах территорий государств, иногда совершая попытки расширить влияние различными методами и за географические пределы;
- идеологические - в пределах распространения членов конфессий или идеологической схемы, которое зачастую не совпадает и шире государственных границ;
- экономическая - на сегодня или лучше сказать к концу XX века распространилась на весь земной шар в виде правил свободной торговли, правил свободного перемещения капитала, правил всемирного кредитования, и ни одно государство или идеологическая структура однажды приняв их - уже не могут отменить без серьезных для себя последствий.

В исторической ретроспективе, возможно, сначала в Римской Империи преобладало государственное управление, а впоследствии, с переходом к официальному христианству, большая роль стала отводиться идеологическому управлению. Тамплиеры уже более серьезное внимание начали уделять внешнему экономическому управлению - кредиту и перемещению капитала, но слишком много дали взаймы и пострадали от государственного и идеологического управления. В Советском Союзе была реализована попытка все виды управления максимально сблизить между собой, но и это не решило проблемы борьбы между ними и дальнейшего разрушения.

Можно привести в десятки раз больше исторических примеров борьбы различных видов управления за доминирующее положение в принятии окончательных решений в социуме. Но каждый из нас имеет «свой исторический опыт» и, как нам кажется, сможет самостоятельно без особых усилий реконструировать свои знания об историческом процессе - как борьбу различных видов управления.

2 Распределение влияния систем управления социумом в современном мире

Текущий период мировой истории характеризуется усилением экономического управления. Во всем мире идет уменьшение роли государства в управлении и разрушение старого идеологического управления, представленного в Америке и Европе - христианством в разных формах. Хотя с момента включения христианства, да и любой другой религии, в борьбу за управление - они должны были в своих действиях существенно отойти от своих первооснов.

Так вот, сегодняшнее экономическое управление стремится уничтожить или захватить структуры управления конкурентов - государства и религии. Государственное управление в большинстве выборное на определенный срок, что определяется как «демократия». Надгосударственные экономические структуры диктуют свои экономические правила правительствам, которые постоянно меняются «демократическим» способом. Рейтинговые агенства могут менять кредитные рейтинги государств, а самые «демократические» государства - самые круп-

ные должники. «Демократия» сейчас - это способ не дать государственной власти вернуть себе прежнюю силу управления. И что интересно - управление в экономических структурах передается по наследственному принципу, то есть самым «неправильным» способом, с которым долго боролось «прогрессивное» человечество в государственном управлении весь XX век.

Идеологическую власть - религию активно разрушают внедрением в сознание людей спорных «ценностей», позволяющих человеку не ограничивать проявление инстинктов за исключением отказа от агрессии. С другой стороны, это ведет к понижению возможности активной защиты своих взглядов и даже территории.

Идеологическое управление в мировом масштабе представлено основными ведущими религиями. Также видны попытки создать идеологию на основе науки - так называемые «сайентология», «трансгуманизм». В последнее время большое распространение получила идеология «демократических ценностей», имеющая часть положений противоположных религиозным учениям. Эта идеология интернациональна и поддерживается демократическими государствами в жесткой форме, что привело в некоторых исследованиях к сравнению этих форм с фашизмом [7]. В связи с этим наблюдается постепенное вытеснение этой идеологией в основном христианских религий.

Распространение экономического управления в настоящее время на весь мир определяется наличием надгосударственной системы свободного движения капитала, системы свободной торговли ВТО, системы ссудного процента и рейтинговых агенств. Эти три составляющих не может отменить ни одно государственное или идеологическое управление, которое уже приняло их. И удивительным образом, большинство демократических государств являются и самыми большими должниками. Кстати, против ссудного процента наиболее последовательно выступает ислам.

Финансовый кризис 2008 года со всей очевидностью показал - в чьих руках сегодня в мире находится управление. Систему экономического управления спасали за счет необоснованной печати бумажных денег и перекладывания долгов банков на систему государственного управления, а в итоге на всё общество. Госдолг только США за это время вырос в несколько раз. А в результате по всему миру бедные стали беднее, а богатые - богаче [8].

Особо обратим внимание на то, что система управления социумом является некоторой надстройкой над обществом, которая пронизывает только какую-то часть общественных отношений. Само же общество имеет собственную структуру и организацию взаимоотношений. Что имеется ввиду: структура современного «западного» общества в основе своей имеет индивида, а в Африке, Азии структура общества отражает групповые родо-племенные отношения. Так же возможно образование религиозных, национальных групп. От структуры самого общества сильно зависит система управления обществом и применяемые методы управления. Именно структура общества делает непереносимыми на другие общества систем и методов управления. Это мы и наблюдаем сегодня в Азиатских странах при попытке ввести «демократический» вариант государственного управления.

Заключение

Тема, поднятая в данной работе, может освещаться огромным количеством исторических примеров. Возможно и более глубокое описание взаимодействия различных типов управления с социальными системами и более подробное рассмотрение внутреннего функционирования каждого типа управления. Но это огромная задача многолетних исследований. Основная же цель данной работы - дать нетрадиционный подход к описанию социальных процессов, на основе которого каждый читатель смог бы самостоятельно и по новому взглянуть на прошедшие события мировой истории, трезво оценить происходящее в мире сегодня и предположить грядущее развитие мировых общественных отношений.

И в заключении, хотелось бы сказать, что большинство людей не осознают происходящие в мире процессы и, соответственно, не могут быть ответственными избирателями. В этой ситуации не могут работать реальные демократические инструменты и никакая демократия просто невозможна, а происходит простая манипуляция сознанием людей [9].

Список литературы

[1] Лекторский В. А., Садовский В. Н. О принципах исследования систем в связи с „общей теорией систем“ Л. Берталанфи) // Вопросы философии. — 1960. — № 8. — С. 67-79.
[2] Маркс К. Капитал. Критика политической экономии. Том 1. Книга 1. Процесс производства капитала. М.: «Российская политическая энциклопедия» 2015 г.
[3] Валлерстайн И. Анализ мировых систем и ситуация в современном мире. Пер. с англ. П. М. Кудюкина. Под общей редакцией канд. полит, наук Б. Ю. Кагарлицкий — СПб.: Издательство «Университетская книга», 2001. —416 с.
[4] Бродель Ф. Динамика капитализма. Пер. с фр. Смоленск: «Полиграмма», 1993.128 с.
[5] Парето В. Трансформация демократии: Издательский Дом «Территория будущего»; Москва; 2011
[6] Фукуяма Ф. Конец истории? // Вопросы философии. – 1990. - №3. – С. 84-118.
[7] Голдберг Д. Либеральный фашизм. Рид Групп, 2012.
[8] Пикетти Т. Капитал в XXI веке, Ad Marginem, Москва, 2015.
[9] Кара-Мурза С.Г. Манипуляция сознанием. - М.: «Алгоритм», 2000. - 861 с.

Intellectual Technologies in Complex Systems

Интеллектуальные технологии в сложных системах

ПРИМЕНЕНИЕ КОГНИТИВНЫХ КАРТ ДЛЯ РЕШЕНИЯ НЕКОТОРЫХ КАДРОВЫХ ЗАДАЧ ПРОЕКТНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ

А.З. Асанов[1], И.Ю. Мышкина[2]

[1]Московский технологический университет
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: *проект, когнитивная карта, кадровая задача, компетенция*

Abstract
In this work cognitive models are constructed to define groups of particular tasks for one performer, to select executors of project tasks, to predict the success of a project for a selected team of performers and for a given distributing tasks between them.

Введение

Задачи управления кадрами предприятия\организации по степени важности стоят в одном ряду с задачами производства и сбыта продукции. Успешность нового проекта в любой сфере деятельности напрямую зависит от компетентности выбранных исполнителей, от того, правильно ли распределены между членами команды отдельные задачи проекта.

Целью данной работы является исследование возможности применения когнитивных моделей при решении кадровых задач, возникающих на этапе планирования работы проектной группы. В работе осуществляется построение когнитивных моделей для определения групп частных заданий для одного исполнителя, для отбора исполнителей проектных заданий, для прогнозирования успешности реализации проекта для выбранной команды исполнителей и заданного распределения заданий между ними. Причем при прогнозировании успешности проекта учитывалась только возможность возникновения проблем, связанных с недостаточной компетентностью исполнителей.

На этапе планирования для каждого задания проекта необходимо сформировать перечень необходимых для его успешного выполнения компетенций. Как показал анализ уже существующих и апробированных подходов к решению этой задачи наиболее перспективно предложение использовать функциональные модели IDEF0 для анализа всего спектра работ в рамках проекта [1, 2], что позволяет выявить полный перечень компетенций, необходимых для их успешного выполнения. Кроме того, функциональные модели, по нашему мнению, позволяют более точно определить преемственные связи по результатам выполнения между частными заданиями проекта. Когнитивная карта с вершинами-компетенциями и вершинами, соответствующими заданиям проекта, позволит определить группы заданий, которые целесообразно поручить одному исполнителю.

Для нахождения оценки соответствия компетенций возможных исполнителей требованиям к уровням компетенций, необходимых для решения каждой отдельной задачи проекта, также предлагается использовать когнитивные карты.

1 Построение когнитивной карты для определения групп частных заданий для одного исполнителя

В данном разделе рассматривается возможность применения когнитивных карт для определения групп частных заданий проекта, имеющих тесную взаимосвязь и которые целесообразно поручить одному исполнителю. Степень близости заданий определяется на основе близости требуемых для выполнения компетенций. Кроме того, используется информация о том, результаты выполнения каких заданий используются при выполнении анализируемого задания.

Когнитивная модель [3-5] требований к реализации заданий проекта:

$\Phi =< G, Y, W >$

где $G =< V, E >$ – ориентированный граф,

V – множество вершин, причем $V = \{V_l\} = \{Z_i\} \cup \{K_j\}$,

K_i, $i = \overline{1, N}$ (N – общее число компетенций) – вершины–компетенции,

Z_j – вершины–задания проекта, $j = \overline{1, M}$ (M – общее число частных заданий анализируемого проекта).

Таким образом, общее число вершин равно $S = N + M$.

$E = \{e_{ij}\}$, $i, j = \overline{1, S}$ – множество дуг. Дуги соединяют вершины-компетенции K_i и K_t, если владение компетенцией K_t требует владения компетенцией K_i. Дуги идут от вершин K_i, соответствующих компетенциям, к вершинам-заданиям Z_j, если задания Z_j требуют обладания этими компетенциями. Дуги соединяют вершины-задания Z_j и Z_p, если результаты выполнения задания Z_j необходимы для успешной реализации задания Z_p.

$Y = \left\{Y^{V_l}\right\}$, $l = \overline{1, S}$ – множество параметров вершин V. Значения вершин K_i принимают начальное значение равное 1, если компетенция необходима для выполнения анализируемого задания, и 0 – в противном случае. Результирующие значения вершин Z_j – степень близости заданий на основе выделенных факторов к анализируемому заданию.

Веса влияний $W = \{w_{ji}\}$ ($i = \overline{1, S}$, $j = \overline{1, S}$) между каждой парой вершин принимают значения из промежутка [0,1]. Вес связи между компетенцией и частным заданием устанавливается равным значимости этой компетенции для данного задания. Вес связи между компетенциями соответствует силе связи между ними в смысле преемственности соответствующих компетенциям знаний, умений и владений. Вес связи между заданиями устанавливается равным оценке значимости результатов одного задания для реализации других заданий.

Решение задачи определения заданий, которые целесообразно поручить одному исполнителю, включает следующие этапы:

1 этап. Построить когнитивную модель частных заданий проекта.

2 этап. Выбрать задание проекта. Задать начальные значения для вершин-компетенций, необходимых для реализации данного задания. Начальные значения остальных вершин принимаются равными нулю.

3 этап. Пересчет значений всех вершин. Модель этапов вычислений когнитивной карты:

$$Y_i(t+1) = Y_i(t) + \sum_{j=1}^{S} \Delta Y_j(t) \cdot w_{ji},$$

где $\Delta Y_j(t)$ – приращение (изменение) значения j–й вершины на этапе вычисления t.

4 этап. Провести ранжирование всех заданий кроме выбранного на основе результирующих значений вершин Z_j. Значения этих вершин позволят определить перечень заданий, которые в больше степени связаны с выбранным заданием.

5 этап. Если не все задания рассмотрены, то переходим к этапу 2.

Преимущество использования когнитивных карт при решении рассматриваемой в данном разделе задачи заключается в том, что когнитивные карты позволяют одновременно учитывать существующие преемственные связи, как между компетенциями, так и между частными заданиями проекта. Причем преемственность между заданиями проекта выражается в том, насколько при реализации каждого задания используются результаты, полученные в ходе выполнения всех остальных заданий.

2 Построение когнитивной карты для оценки компетенций

В данном разделе рассматривается возможность применения когнитивных карт для получения оценки соответствия исполнителя требованиям для реализации задачи проекта [6].

Когнитивная модель требований к реализации частного задания проекта:

$\Phi =< G, Y, W >$

где $G =< V, E >$ – ориентированный граф,

V – множество вершин, причем $V = \{V_l\} = \{K_i\} \cup \{SK_{t_i}^i\} \cup \{S\}$,

K_i – вершины–компетенции,

SK_t^i – вершины–составляющие i–ой компетенции, $i = \overline{1, N}$ (N – общее число компетенций), $t_i = \overline{1, m_i}$ (m_i – общее число составляющих i–й компетенции), вершина S – «соответствие требованиям задания»;

$E = \{e_{ij}\}$, $i, j = \overline{1, M}$ – множество дуг. Таким образом, общее число вершин равно $M = N + \sum_{i=1}^{N} m_i + 1$.

$Y = \{Y^{V_l}\}$, $l = \overline{1, M}$ – множество параметров вершин V (значение вершин K и SK – оценка компетенций и составляющих компетенций потенциального исполнителя, значение вершины S – интегральная оценка соответствия требованиям).

Веса влияний $W = \{w_{ji}\}$ ($i = \overline{1, M}$, $j = \overline{1, M}$) между каждой парой вершин принимают значения из промежутка [0,1]. Веса устанавливались равными значимости вершины для выполнения задания. Напрямую с вершиной-компетенцией связаны составляющие этой компетенции, имеющие наибольшую значимость. Остальные вершины-составляющие связаны друг с другом от менее значимой к более значимой. Такое расположение вершин обусловлено тем, что для выполнения задания требуется, чтобы возможный исполнитель владел всем набором компетенций и их составляющих.

Требуется на основе оценок составляющих компетенций соискателя получить оценку соответствия соискателя требованиям, необходимым для выполнения задания проекта.

Решение задачи оценки компетенций включает следующие этапы:

1 этап. Построение когнитивной модели требований к компетенциям.

2 этап. Задание начальных значений вершин–составляющих компетенций.

4 этап. Пересчет значений всех вершин. Модель этапов вычислений когнитивной карты:

$Y_i(t+1) = Y_i(t) + \sum_{j=1}^{M} \Delta Y_j(t) \cdot w_{ji}$, – для результирующей вершины S.

$\Delta Y_j(t)$ – приращение (изменение) значения j–й вершины на этапе вычисления t.

(1) $Y_i(t+1) = Y_i(t) + \sum_{j=1}^{M} \Delta Y_j(t) \cdot w_{ji} \cdot H(Y_j(0))$, где $H(x) = 0$, если $x < \eta(SK)$, и $H(x) = 1$, если $x \geq \eta(SK)$

– для вершин, представляющих компетенции и их составляющие, где $\eta(SK)$ – минимально возможная оценка составляющих компетенций. Ограничения в данном случае введены для того, чтобы учитывать все составляющие компетенции при оценке возможного исполнителя только в случае, если он обладает всеми составляющими компетенций на уровне не ниже минимального. При этом даже очень высокая оценка по какой-либо составляющей не увеличит значительно итоговую оценку возможного исполнителя, если он не соответствует всему набору требований.

На рисунке 1 приводится пример когнитивной карты требований к компетенциям для реализации некоторого задания проекта, приводится расшифровка одной из компетенций (см. также таблицу 1). $z\left(SK_{t_N}^{N}\right)$

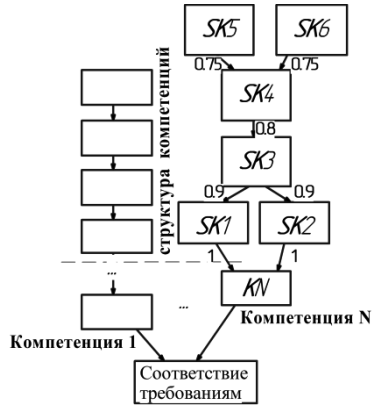


Рисунок 1 – Когнитивная карта требований к компетенциям

Таблица 1 – Параметры составляющих компетенции.

Компетенция N.			
№	Структура компетенции	Значимость, $z\left(SK_{t_N}^{N}\right)$	Минимальная оценка составляющих компетенции, $\eta\left(SK_{t_N}^{N}\right)$
1	SK1	1	0,5
2	SK2	1	0,5
3	SK3	0,9	0,5
4	SK4	0,8	0,4
5	SK5	0,75	0,4
6	SK6	0,75	0,3
	Итоговая оценка		6,4640

В таблице 1 для оценки компетенции N, граф составляющих частей для которой представлен на рисунке 1, веса влияний приняты равными – $w_{1K_N} = w_{2K_N} = z\left(SK_1^N\right) = z\left(SK_2^N\right) = 1$, $w_{31} = w_{32} = z\left(SK_3^N\right) = 0{,}9$, $w_{43} = z\left(SK_4^N\right) = 0{,}8$, $w_{54} = w_{64} = z\left(SK_5^N\right) = z\left(SK_6^N\right) = 0{,}75$; начальные значения вершин, представляющих составляющие компетенции – $Y_i(0) = \{0{,}5;0{,}5;0{,}5;0{,}4;0{,}4;0{,}3\}$; минимальная оценка составляющих компетенции $\eta\left(SK_i^N\right) = Y_i(0)$. В результате расчетов по формуле (1) получаем значение вершины KN равное 6,464.

Использование когнитивных карт при решении рассматриваемой в данном разделе задачи позволяет учитывать минимальные допустимые оценки составляющих компетенций, причем даже очень высокая оценка по какой-либо составляющей не увеличит значительно итоговую оценку возможного исполнителя, если он не соответствует всему набору требований. Кроме того, описанная структура когнитивной карты позволяет увеличивать итоговые оценки в случае, если необходимо, чтобы исполнитель обладал определенными сочетаниями компетенций [3], оценки которых не ниже заданного минимального порога.

3 Построение когнитивной карты для прогнозирования успешности проекта

Информация о преемственных связях между компетенциями и частными заданиями проекта, оценки соответствия компетенций исполнителя требованиям к уровням компетенций, необходимых для выполнения частных заданий, могут служить основой для построения когнитивной модели, позволяющей прогнозировать успешность проекта для некоторого выбранного распределения заданий.

В данном случае в качестве вершин когнитивной карты могут быть выбраны вершины, соответствующие успешности выполнения каждого задания и вершины, соответствующие оценке соответствия компетенций заданию для выбранного исполнителя. Вершины-оценки компетенций связаны с вершинами-оценками успешности задания. Естественно полагать, что успешность отдельного задания зависит от успешности выполнения других заданий, с которым данное задание имеет преемственные связи. Соответствующие вершины должны быть связаны. С результирующей вершиной, соответствующей успешности проекта в целом, должны быть связаны задания, выполняемые на завершающем этапе проекта. В перспективе планируется адаптировать существующие методики расчета значений вершин когнитивной карты, исследование возможности применения различных типов когнитивных карт к решению рассматриваемой в данном разделе задачи. Следует отметить, что при таком подходе к прогнозированию успешности проекта учитывается только возможность возникновения проблем, связанных с недостаточной компетентностью исполнителей.

Задача оптимального распределения заданий между потенциальными исполнителями может быть сформулирована как задача дискретной оптимизации с использованием в качестве целевой функции предложенной когнитивной модели; в силу специфики целевой функции для решения получаемой задачи оптимизации более целесообразно использование генетических алгоритмов.

Заключение

Важнейшей составляющей успешности проекта в любой сфере деятельности является достаточная компетентность исполнителей и оптимальное распределение отдельных частных заданий проекта между ними. Преимущество использования когнитивных карт при решении задач, возникающих на этапе планирования проектной деятельности, заключается в том, что они позволяют одновременно учитывать различные факторы, влияющие на успешность проек-

та, позволяют осуществлять свертку значений частных критериев с учетом их важности и существующих преемственных связей для получения итоговой оценки.

Благодарности

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ (грант № 17-08-00516).

Список литературы

[1] Скороход С.В. Применение функциональных моделей IDEFO для анализа квалификационных характеристик рабочих мест на основе нечётких целей // Известия ТРТУ. Тематический выпуск «Интеллектуальные САПР» –Таганрог, Изд-во ТРТУ, 2007, №3(73)/ – С.13–18.

[2] Ажмухамедов И. М., Решение задач обеспечения информационной безопасности на основе системного анализа и нечеткого когнитивного моделирования / Астрахань: Бином. Лаборатория знаний, 2012.

[3] 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.

[4] Askhat Z. Asanov, Irina Y. Myshkina and Larisa Yu. Grudtsyna, 2015. Evaluation and Selection of Personnel Based on Clear and Fuzzy Cognitive Models, International Journal of Soft Computing, 10, P. 448-453.

[5] Борисов В. В., Круглов В.В., Федулов А.С. Нечеткие модели и сети / М.:Горячая линия-Телеком, 2007.

[6] Асанов А.З., Мышкина И.Ю. Исследование возможности применения нейронных сетей при решении задачи отбора команды для реализации проекта // Проблемы управления. 2017. №1. – С. 31-39.

ПОДХОД К ОРГАНИЗАЦИИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПО УПРАВЛЕНИЮ СЛОЖНОЙ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ МОДИФИЦИРОВАННОЙ СЕТИ ПЕТРИ

А.Д. Бахмут[1], А.В. Крылов[2], П.А. Охтилев[2]

[1]Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения
190000, г. Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 67. лит.А., Россия
k43@guap.ru
тел: +7 (812) 494-70-43

[2]Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации РАН
199178, Санкт-Петербург, 14 линия, 39, Россия
spiiran@iias.spb.su
тел.: +7 (812) 328-34-11

Ключевые слова: *модель, сеть Петри, система поддержки принятия решений, сложная организационно-техническая система, программирование в ограничениях, обобщенные вычислительные модели, G-модель.*

Abstract
The article present G-model for modeling system for complex organizational and technical system control and analysis.

Введение

Вопрос обоснованного выбора в пользу того или иного управленческого решения (альтернативы) актуален в различных организационно-технических системах (промышленных предприятиях, группах предприятий и т.д.). К выбору следует подходить особенно ответственно, если он может повлечь необратимые изменения самой системы и/или окружающей среды (экономические, экологические катастрофы и т.п.). Поэтому целесообразно автоматизировать процедуры поддержки принятия управленческих решений [1].

Кроме того, управление сложными организационно-техническими системами связано с анализом большого объема информации о значениях параметров этих объектов и требует использования интеллектуальных методов снижения трудоемкости такого анализа.

Принципиальная неполнота знаний о сложных системах как объектах исследования существенно ограничивает применимость классических аналитических моделей и требует использования интеллектуальных технологий и различных методов моделирования.

Современные системы моделирования, как правило, ориентированы на пользователя-непрограммиста, который может выступать в роли аналитика предметной области, определяющего структуру и состав модели предметной области, а также в роли конечного пользователя, проводящего моделирование и оценивающего результаты. С целью исключения ошибок, обусловленных человеческим фактором, целесообразно возложить контроль корректности процесса моделирования на саму систему моделирования.

Определим СППР как систему, выполняющую следующие функции [2]:

- оценка обстановки (ситуаций), выбор критериев и оценка их относительной важности;
- генерация возможных решений или сценариев действий;
- оценка сценариев, решений, действий и выбор наилучших из них;
- моделирование принимаемых решений при наличии такой возможности;
- динамический анализ возможных последствий принимаемых решений;
- сбор данных о результатах реализации принятых решений и оценка этих результатов.

В настоящее время активно ведутся исследования в области создания ИСППР при управлении сложными организационно-техническими системами. При этом усиливается их ориентация на решение слабоструктурируемых и неструктурируемых проблем, характеризующихся невозможностью использования методов и моделей, основанных на точном описании проблемных ситуаций [3, 4].

Под сложной организационно-технической системой (СОТС) будем понимать искусственную, самоорганизующуюся, динамическую, организационно-техническую совокупность взаимосвязанных элементов, предназначенных для управления, как различными техническими средствами, так и личным составом объекта анализа [5, 6].

Одним из наиболее сложных классов задач поддержки принятия решений является планирование и оперативное управление именно СОТС. Ряд особенностей указанного класса задач вносит ряд трудностей при создании СППР:

- высокие требования к качеству и оперативности управления при наличии дефицита времени на выработку и принятие управляющих решений;
- большое число факторов, учитываемых в процессе принятия решений, которые сложно или невозможно корректно формализовать аналитически;
- неполнота, неточность, а, зачастую, недостаточная достоверность информации, на основе которой вырабатываются решения;
- изменение качества информации в процессе выработки решений;
- качественный характер описания ситуаций и управляющих решений;
- непостоянство состава управляемой системы;
- уникальность условий конкретных задач принятия решений;
- наличие качественной и стохастической неопределенности при описании результатов управляющих решений;
- необходимость учета последствий управляющих решений.

На сегодняшний день для выработки управляющих решений широкое распространение получили системы, использующие формализованный опыт и знания специалистов в соответствующих предметных областях, на основе продукционного логического вывода, фреймовых моделей, семантических сетей [3].

Исходя из функционального назначения ИСППР, а также из текущего состояния и перспектив развития информационных технологий, применимых при решении задач анализа СОТС, можно сформулировать следующую систему требований к базовому элементу целевой системы – модели представления знаний, используемой при анализе, оценивании и выработке решения [7]:

- максимально простой и интуитивно понятный процесс приобретения и пополнения знаний о предметной области;
- сместить акцент внимания пользователя с разработки алгоритмов на разработку моделей;
- возможность реализации структурного состояния максимально приближенного к реальному объекту анализа;
- возможности объяснения знаний и выводов, сформированных в результате анализа входных данных;
- возможность автоматизированной оценки целостности и полноты сформированной модели (знаний);
- обеспечение потокового процесса вычислений, асинхронно и децентрализовано;
- обеспечение получение результата анализа в условиях нечетких, недоопределенных, неполных входных данных.

1 Программирование в ограничениях

Таким образом складывается необходимость в подходе основанном на описании модели задачи, решаемой СОТС или самой СОТС в целом, а не алгоритма ее решения [8]. Одним из распространённых подходов решения проблемы в необходимом ключе является программирование в ограничениях, которое в отличии от других известных в настоящее время видах программирования – императивного (C, Java и др.), логического (Prolog), функционального (LISP) и др. – является по своей сути наиболее декларативным. Модель специфицируется в виде неупорядоченной совокупности отношений, которые соответствуют связям, существующим между параметрами задачи. Эти отношения, называемые общим термином «ограничения», могут иметь вид уравнений, неравенств, логических выражений, символьных (алфавитных) операторов и т.п. При этом постановка той или иной задачи конкретизируется путем добавления в модель ограничений на допустимые значения параметров и/или формулирования дополнительных связей между ними [7].

В модели нет априорного разделения параметров на входные и выходные. В соответствии с требованиями решаемой задачи, пользователь определяет, какие из параметров заданы точно, какие неизвестны совсем, а какие – приблизительно. Используя модель задачи и исходную информацию о значениях ее параметров, методы программирования в ограничениях обеспечивают автоматическое нахождение решения [7, 9].

В самом общем виде постановка задачи в парадигме программирования в ограничениях формулируется следующим образом. Пусть на переменные $x_1, \ldots, x_n$, областями значений которых являются множества $D_1, \ldots, D_n$ заданы ограничения $C_i(x_1, \ldots, x_n), i = 1,\ldots, k$. Требуется найти наборы значений $< a_1, \ldots, a_n >, a_i \in X_i$, которые удовлетворяют всем ограничениям одновременно.

Соответственно задача удовлетворения ограничений — это кортеж

$$CSP = < X, D, C >$$

где

$X = \{x_1, \ldots, x_n\}$ – множество переменных;

$D = \{D1, \ldots, Dn\}$ – множество доменов, каждый домен – конечное множество, содержащее возможные значения, соответствующей переменной;

$C = \{C1, \ldots, Cn\}$ – множество ограничений

Ограничение C – отношение, определённое на подмножестве значений всех переменных, $C_i \subseteq D_1 \times \ldots \times D_n$

Существует два основных подхода к решению задач удовлетворения ограничений. Первый - полный перебор решений. При этом перебор можно представить, как обход дерева поиска в глубину, а путь до каждого листьевого узла описывается одним кортежем значений переменных. [9].

- Если решение есть, то оно будет найдено.
- Экспоненциальная сложность, в следствие чего задача слабо решаема, без специальных методов ускорения перебора.

Второй подхода – метод локального поиска. Выбор преемника текущего состояния задачи поиска зависит только от самого этого состояния [9].

- сравнительно низкая вычислительная сложность относительно числа переменных;
- при незначительном изменении условий уже решенной задачи можно использовать полученное для нее решение в качестве отправной точки для поиска новых решений;
- легкость в распараллеливании в большинстве случаев.

Увы, но решение может и не быть найдено, даже при его наличии, или найдено лишь локальное решение, но не оптимальное.

Примерами являются генетические алгоритмы, алгоритмы лучевого поиска, алгоритмы роевого интеллекта (муравьиный, пчелиный, метод роя частиц), стохастические методы (имитация отжига).

2 Обобщено вычислительные модели

Одним из наиболее развитых отечественных подходов, относящихся к программированию в ограничениях, является технология недоопределенных моделей (Н-моделей) или, как наиболее общий случай – обобщенных вычислительных моделей [7].

Соответственно ОВМ можно выразить как кортеж:

$$M = (V, W, C, R)$$

где:

V – множество объектов из заданной предметной области (ПРО);

R – множество ограничений на значениях объектов из V;

W – множество функций присваивания;

C – множество функций проверки корректности.

Каждому объекту $v \in V$ сопоставлены:

1) общность предметной области X_v;
2) начальное значение из X_v (точное, недоопределенное или полностью неопределенное);
3) функция присваивания W_v;
4) функция проверки корректности C_v.

Функция присваивания – это двухместная функция, работающая при каждой попытке присваивания очередного значения объекту $v \in V$ и определяющая новое значение объекта как функцию от текущего и присваиваемого значения. Функция проверки корректности – это унарный предикат, который исполняется в случае, если значение объекта x изменилось, и проверяет правильность этого нового значения. Ограничения из R должны быть функционально интерпретируемы.

На уровне интерпретации ОВМ обычно представляется двудольным ориентированным графом (ОВМ-сетью), в котором выделены два типа вершин: объекты (данные) и функции (процессы обработки данных). Дуги связывают объектные и функциональные вершины. Входящие в вершину-функцию дуги соотносят с ней объекты, которые выступают в качестве входных аргументов для функции, исходящие – указывают на объекты, в которые должна производиться запись вырабатываемых функцией результатов [10].

Процесс вычислений на ОВМ имеет потоковый характер – изменение объектных вершин сети активизирует (вызывает к исполнению) функциональные вершины, для которых эти объектные вершины являются входными аргументами, а исполнение функциональных вершин, в свою очередь, может вызывать изменение результирующих объектных вершин. Вычисления заканчиваются тогда, когда-либо не остается активных функциональных вершин (УСПЕХ), либо функция проверки корректности вырабатывает значение «ложь» (НЕУДАЧА).

3 Сеть Петри

Естественно важно отразить не только закономерности функционирования, но и структурные характеристики системы. Очевидно, что для выявления конструктивных (структурных) закономерностей системы необходимо добиться максимальной визуальной выразительности. Поэтому для дальнейших исследований в качестве базовой модели был выбран один из графоориентированных инструментов моделирования: сети Петри (СП) [11].

СП представляет из себя двудольный ориентированный размеченный мультиграф, аналитически задаваемый кортежем следующего вида [12, 13]:

$$C = < P, T, I, O >$$

где

- $P = \{p_1, p_1, \ldots, p_n\}$ – конечное множество позиций, $n \geq 0$;
- $T = \{t_1, t_2, \ldots, t_n\}$ - конечное множество переходов, $m \geq 0$, $P \cap T = 0$;
- $I : T \rightarrow P^{\infty}$ - входная функция – отображение из переходов в комплекты позиций
- $O : T \rightarrow P^{\infty}$ - выходная функция

Дугами могут соединяться только вершины различных типов. Для описания динамики процессов, реализуемых в СП, дополнительно вводится понятие метки. Размещение меток по позициям называется её маркировкой. Перемещения меток по сети представляют собой совокупность срабатываний переходов и отображают смену дискретного состояния моделируемой системы. Срабатывание перехода возможно, если имеется соответствующее переходу событие (т.н. предусловие). Выполнение события представляется фишкой в позиции, соответствующей этому условию. При запуске (срабатывании) перехода из входных позиций (предусловий) удаляются фишки, в выходных позициях (постусловиях) фишки заносятся [13].

Применение СП часто обусловлено необходимостью моделирования асинхронных параллельных процессов, к которым можно отнести и процесс своевременного управленческого реагирования на слабые сигналы о возможном отклонении от нормального уровня функционирования моделируемой системы.

Основными достоинствами данного теоретического аппарата считаются наглядность представления процессов, возможность упорядочения потока информации, учёт причинно-следственных взаимосвязей событий. СП могут быть использованы для моделирования практически любой сложной системы.

Существенным недостатком как классических СП, так и многих модификаций СП является отсутствие учета фактора времени. Это не позволяет эффективно моделировать те реальные процессы, в которых от текущего времени зависит состояние анализируемой системы. Важность наличия средств представления времени и темпоральных зависимостей в интеллектуальных системах бесспорна, особенно в наши дни [11].

4 G-модель

Следуя основным принципам построения МПЗ, описанным выше, декларативная модель знаний может быть представлена как семантическая сеть, вершинами которой являются объекты и понятия предметной области, а дуги характеризуют отношения между ними. В связи с этим можно на множестве параметров, характеризующих состояния исследуемого объекта, определить отношения, связывающие эти параметры. Это позволяет определить G-модель как модификацию ОВМ.

Вычислительной G-моделью (или просто G-моделью), полностью задающей модель некоторой ПРО, будем называть кортеж [7]:

$$M_G = < X, R_M, P_M, \Delta_M >$$

где

$X = \{x_i | i=1,\ldots,n\}$ - конечное множество переменных (параметров), характеризующих явления (процессы) из ПРО. Природа каждого из параметров, входящих в X, может иметь произвольную природу, поддающуюся наблюдению;

R_M - конечное множество отношений на множестве параметров из X;

P_M – конечное множество предикатов, предметными переменными в которых являются элементы из X;

Δ_M - отображение $R_M \rightarrow P_M$, ставящее в соответствие каждому от- ношению из R_M элемент из P_M .

G-модель является одной из разновидности семантических сетей и сетей Петри. В связи с этим к ней применимы операции, выполнимые на семантических сетях. Графически G-модели можно представить операторной схемой и просто схемой соответствующей G-модели.

Исходя из идеи графического представления G-модель можно выразить и как следующий кортеж:

$$M_G = \langle X, \Phi_M, \Phi_M^P, \Delta_M \rangle$$

где

X – описанное выше конечное множество переменных (параметров);

Φ_M – множество операторов схем;

Φ_M^P – множество условий применимости операторов;

Δ_M – отношение задающее соответствие между элементами множества отношений R_M и множества предикатов P_M, другими выражение связи операторов из Φ_M и условиями их применимости из Φ_M^P, Δ_M: $\Phi_M \rightarrow \Phi_M^P$

Операторной схемой G-модели называется двудольный ориентированный граф, вершинами которого являются:

- вершины-операторы $\varphi_i \in \Phi_M$;
- вершины-параметры из набора переменных связанных отношениями r, $r \in R_M$.

Причем дуги направлены от вершин – входных параметров к вершинам – выходным параметрам для всех вершин–операторов.

Операторная схема несет в себе информацию о структуре G-модели, показывая, какие параметры могут быть вычислены по заданному набору параметров и в какой последовательности.

Соотнося с СП можно выделить явное сходство вершин-параметров с позициями СП, а вершин-операторов с переходами СП.

Просто схемой G-модели называется гомоморфный образ его операторной схемы такой, что:

- вершина-оператор является единственной, представляющей всю G-модель;
- входными вершинами-параметрами являются только те, которые также являются входными в операторной схеме соответствующей G-модели;
- выходными вершинами-параметрами – все остальные вершины-параметры из операторной схемы, как выходные, так и промежуточные.

Схема отношений предоставляет информацию о параметрах, которые могут быть в конечном итоге вычислены в данной G-модели.

Рассмотрим вначале для наглядности простые G-модели.

Простой G-моделью назовем такую M_G, у которой отсутствуют условия применения (срабатывания) операторов, т.е. $P_M = \{\emptyset\}$, а значит, и $\Delta_M = \{\emptyset\}$.

В качестве примера рассмотрим G-модель M_G, $X = \{x_1, x_2, x_3, x_4, x_5\}$, $\Phi_M = \{\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3 | \varphi_1: x_1 \rightarrow x_2;\ \varphi_2: x_2 \rightarrow x_3;\ \varphi_3: x_1 \times x_4 \rightarrow x_3 \times x_4\}$, $\Phi_M^P = \{\varphi_1^P \mid \varphi_1^P(x_1, x_4)\}$, $\Delta_M = \{\delta_1 \mid \delta_1 : \varphi_1^P \rightarrow \varphi_3\}$ операторная схема которой приведена на рисунке 1, а схема на рисунке 2.

Заключение

Таким образом можно сделать вывод, что G-модель представляет собой вариацию продукционно-фреймовой МПЗ, воплощая в себе простоту представления знаний и организацию логического вывода продукционных моделей с широтой возможностей описания объектов и моделей фреймовых сетей.

G-модель позволяет не только практически реализовать поточность ОВМ и параллельную обработку входных данных в режиме реального времени, тем самым нивелировав одни из недостатков сетей Петри. Но и, благодаря своим изобразительным свойствам, формально описать практически любые МПЗ, а значит и широчайший спектр задач анализа и обработки данных. И практический опыт применения наглядно это демонстрирует [14].

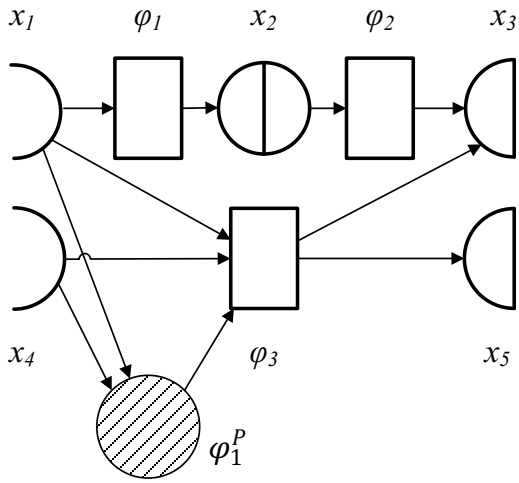


Рисунок 1 – Операторная схема для G-модели $\boldsymbol{M_G}$

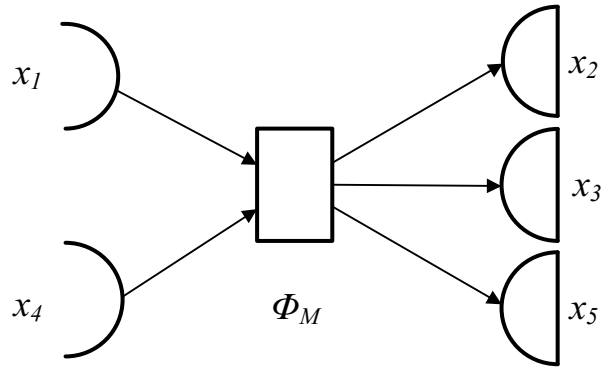


Рисунок 2 – Схема G-модели $\boldsymbol{M_G}$

А произвольный характер переменных, операторов и условных операторов позволяет реализовать широкий спектр теорий, позволяющих действовать в условиях неполноты, неточности, недостаточной достоверности.

Благодарности

Исследования, выполненные по данной тематике, проводились при финансовой поддержке ведущих университетов Российской Федерации: СПб ГПУ (мероприятие 6.1.1), ИТМО (субсидия 074–U01), Программы НТС Союзного государства «Мониторинг-СГ» (проект 1.4.1-1), грантов РФФИ (№№15-07-08391, 15-08-08459, 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), госзадания Министерства образования и науки РФ №2.3135.2017/К, в рамках бюджетных тем №№0073–2014–0009, 0073–2015–0007, 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] Автамонов П.Н., Охтилев М.Ю., Соколов Б.В., Юсупов Р.М. Актуальные научно- технические проблемы разработки и внедрения взаимосвязанного комплекса унифицированных интегрированных систем поддержки принятия решений (СППР) в АСУ объектами военно-государственного управления // Известия ЮФУ. Технические науки. 2014. №3(152). Таганрог: Технологический институт Южного федерального университета, 2014. С.14–26.

[2] Трахтенгерц Э.А. Компьютерные системы поддержки принятия управленческих решений // Проблемы управления. 2003, №1, С. 13-28

[3] Борисов В.В., Зернов М.М. Реализация ситуационного подхода на основе нечеткой иерархической ситуационно-событийной сети // Искусственный интеллект и принятие решений. 2009. №1. С.17-30.

[4] Курейчик В.М. Особенности построения систем поддержки принятия решений // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2012. – № 7. – С. 92–98

[5] Волков В.Ф., Галанкин А.В., Федер А.Л. Общая характеристика процесса автоматизированного управления сложными организационно-техническими системами специального назначения Воздушно-космических сил // Наукоемкие технологии в космических исследованиях Земли. – 2015. – Т. 7, № 6. – С. 50–54.

[6] Корнаков А.Н. Модель сложной организационно-технической системы // Перспективы науки и образования. 2015. №2. с.44-50.

[7] Охтилев М.Ю. Основы теории автоматизированного анализа измерительной информации в реальном времени. Синтез системы анализа. — СПб.: ВИКУ им. А.Ф.Можайского. 1999. — 161 с.

[8] Нарирьяни А.С. Модель или алгоритм: новая парадигма информационной технологии // Информационные технологии. – 1997. - № 4. – С. 11-16.

[9] Зуенко А. А., Алмаматов А. А. Программирование в ограничениях на языке python с применением структур и алгоритмов алгебры кортежей // Труды Кольского научного центра ран. 2014. № 5(24). С. 158-170.

[10] Зуенко А.А., Фридман А.Я. Управление ограничениями при концептуальном моделировании сложных организационно-технических систем: контекстный подход // Вестник Кольского научного центра РАН. 2013, Т.12. № 1, С. 79-84

[11] Еремеев А. П. Королев Ю. И. Темпоральные сети Петри и их применение в интеллектуальных системах поддержки принятия решений реального времени // Программные продукты и системы. 2013, Т.2. № 4, С. 336-344

[12] Питерсон Дж. Теория сетей Петри и моделирования систем: Пер. с англ. – М.: Мир. 1984. – 264 с., ил.

[13] Зубова Т.Н., Мельников Б.Ф. Использование сетей Петри для моделирования процесса принятия управленческих решений // Вектор науки ТГУ. 2011. № 3(17). С. 33-37.

[14] Майданович, О.В. Теория и практика построения автоматизированных систем мониторинга технического состояния космических средств. / О.В. Майданович, М.Ю. Охтилев, В.А. Каргин и др. Под ред. О. В. Майдановича – СПб.: ВКА, 2011.

ЭЛЕМЕНТЫ КОНЦЕПЦИИ УПРАВЛЕНИЯ ДЕФЕКТАМИ СИСТЕМ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ И УПРАВЛЕНИЯ

В.Е. Гвоздев, Д.В. Блинова, А.С. Давлиева

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, надежность, управление дефектами*

Abstract

In this article, the concept elements of non-criminal defects control in data processing and control system, which is based on the study of this type defects as a complex systems type are discussed. The global goal of defect control is formulated - minimization of total costs for ensuring the guaranteed quality of data processing and control system for target groups of stakeholders. The main tasks related to the achievement of the global goal are formulated.

Введение

В многочисленных литературных источниках [1-4 и др.] обсуждается значимость обеспечения требуемого уровня безопасности и надежности систем обработки данных и управления (СОД и У) как критического фактора успеха эффективной реализации стратегий на всех уровнях управления сложными организационно-техническими системами.

Дефекты в СОД и У являются причиной многочисленных аварий и катастроф, следствием которых являются не только значительные финансовые и репутационные потери, но и гибель людей.

Одной из основных причин нарушения функциональной пригодности СОД и У на стадии эксплуатации и обусловленной этим снижение безопасности и надежности систем являются дефекты в аппаратных и программных компонентах. Дефекты являются следствием ошибок проектирования, допущенных на разных стадиях жизненного цикла систем, а также допускаемых при эксплуатации и модернизации систем.

В работах [1,2] отмечается, что насущная необходимость решения задач управления функциональной безопасностью и надежностью СОД и У стимулирует развитие нового научного направления – дефектологии сложных аппаратно-программных комплексов.

В настоящей работе обсуждаются элементы концепции управления некриминальными дефектами СОД и У, основу которой составляет рассмотрение дефектов как разновидности сложных систем.

1 Дефекты СОД и У как разновидность сложных систем

В [5] выделены семь признаков, свойственных сложным системам. Покажем, что они являются характерными для СОД и У.

- Взаимосвязанность. Это выражается, во-первых, в том, что дефекты, допущенные на предыдущих стадиях жизненного цикла (ЖЦ) объектов и своевременно не выявленные, приводят к появлению неверных решений (дефектов) на последующих стадиях ЖЦ. Во-вторых, в том, что дефекты в определении потребительских свойств аппаратно-программной составляющей СОД и У стимулируют появление дефектов в организации

программных проектов (обоснованием этого утверждения может служить модель *ASI*, разработанная в рамках *QFD*, и адаптация этой модели в область *SQFD* [6,7]).

- Самоуправляемость. Это означает, что специалисты в области испытаний СОД и У и локализации дефектов, организуя испытания в рамках действующих стандартов (например, [8,9]) имеют свободу принятия решений при формировании тестовых наборов; сценариев верификации и валидации СОД и У.
- Непредсказуемость поведения обусловлена случайным характером проявления дефектов. При этом случайный характер дефектов аппаратной составляющей СОД и У обусловлен деградацией физических свойств компонентов. Случайный характер проявления дефектов в программной составляющей СОД и У обусловлен непредсказуемым сочетанием характеристик внешней среды (входных данных).
- Отсутствие равновесия проявляется в постоянном изменении свойств СОД и У. Это обусловлено либо дискретными событиями (проявлением дефектов, их локализацией и устранением), либо постепенным моральным старением аппаратно-программной составляющей СОД и У. Вчерашнее соответствие функциональных возможностей СОД и У свойствам объекта управления постепенно переходит в свою противоположность из-за изменения свойств объекта управления как под воздействием его окружения, так и из-за изменения внутреннего устройства.
- Нелинейность проявляется в виде известной закономерности изменения стоимости исправления дефекта: чем позднее обнаруживается дефект, тем дороже стоит его исправление, причем закономерность носит характер степенной зависимости.
- Самоорганизация. СОД и У как неделимое целое (*hard+soft+brain*) способно адаптироваться к проявлением дефектов. Это выражается, во-первых, в способности принимать обоснованное решение о целесообразности устранения дефекта (если разрушительные последствия от проявления дефекта несущественны с точки зрения пользователей, то может быть принято решение о нецелесообразности устранения дефекта). Либо в способности, с учетом характера проявления дефекта, выработать систему мер по уменьшению негативных последствий, обусловленных проявлением дефектов (например, за счет реализации программных продуктов, устойчивых к ошибкам [10]) с учетом ограничений на выделяемые для этого ресурсы (кадровые, финансовые, временные и др.).
- Коэволюция проявляется, например, в том, что содержание понятия «дефект» изменяется по мере роста сложности и масштабов СОД и У (от устройств для проведения арифметических расчетов до *GRID*-систем и систем параллельных вычислений).

То, что для дефектов СОД и У характерны все признаки сложных систем, дает основание для выбора в качестве методологической основы управления дефектами системного подхода и декларацией основным принципом управления дефектами принципа комплексности. Кроме того, в качестве задачи исследований можно выделить научную адаптацию признанных подходов к управлению сложными системами в область управления дефектами СОД и У.

2 Краткий анализ подходов к обеспечению надежности и безопасности СОД и У

Проведенный анализ литературных источников позволяет выделить следующие сформировавшиеся к настоящему времени направления исследований в рамках проблемы управления дефектами СОД и У:

- методы тестирования (модулей; сопряжений; стрессового; защитного; системного и т.д.), верификации и валидации. Этим вопросам посвящено значительное число публикаций, руководств и стандартов [8,9,11 и др.];
- развитие теоретических и методических основ анализа надежности и безопасности аппаратных и программных компонентов СОД и У различного масштаба и сложности [12-18 и др.];

- развитие теоретических основ и инструментальных средств разработки систем, устойчивым к ошибкам [10, 19-21];
- развитие теоретических основ, руководств и инструментальных средств поддержки принятия решений на стадии проектирования по критериям надежности и безопасности [8, 22, 23 и др.].

Развитие методологических, методических, модельных основ нового научного направления дефектологии программного обеспечения [1-4].

Анализ литературных источников позволяет сделать заключение о том, что, во-первых, задача управления функциональной безопасностью аппаратно-программной составляющей СОД и У в настоящее время относится к числу приоритетных задач научных исследований. Во-вторых, разноплановый характер работ, связанных с задачами управления дефектами, подтверждает обоснованность положения о том, что дефекты следует рассматривать как разновидность сложных систем. В-третьих, следует признать, что к настоящему времени не создан целостный научно-обоснованный подход к управлению дефектами СОД и У. Основанием к такому заявлению служат, например, отчеты *Standish Group* [24], из которых следует, что несмотря на революционное развитие инструментальных средств детального проектирования, эффективность реализации проектов создания сложных аппаратно-программных комплексов практически не изменилась.

3 Глобальная цель и основные классы задач управления дефектами

Глобальной целью управления дефектами некриминального характера является минимизация суммарных затрат на обеспечение гарантированного качества СОД и У на всех стадиях их жизненного цикла (ЖЦ).

Методологическую основу достижения глобальной цели составляет реализация принципа комплексности при управлении разнотипными дефектами, характерными для разных стадий ЖЦ СОД и У.

Глобальная цель управления достигается за счет реализации следующих базовых процессов управления:

- Раннего выявления дефектов, создания условий, препятствующих распространению дефектов между стадиями проекта создания аппаратно-программной составляющей СОД и У.
- Получения в условиях ограниченных ресурсов проекта обоснованных гарантий соответствия свойств компонентов СОД и У желаниям и ожиданиям потребителей, а также требованиям заданий на разработку системы и ее компонентов.
- Постоянного совершенствования организационного, методического, технологического, инструментального базиса управления дефектами некриминального характера, что обеспечивается устранением коренных причин возникновения дефектов.

Основу достижения глобальных целей управления дефектами составляет решение следующих классов задач:

- Классификация и типизация дефектов, характерных для каждого этапа жизненного цикла СОД и У;
- Развитие теоретических основ выявления коренных причин и возможных мест возникновения дефектов разных типов, а также способов их устранения;
- Ранжирование дефектов разных классов и типов по степени влияния на безопасность и надежность СОД и У;
- Оптимизация технологий основных, вспомогательных и обеспечивающих процессов на всех стадиях ЖЦ СОД и У и их компонентов по критериям безопасности и надежности;
- Развитие теоретических основ подтверждения свойств безопасности и надежности с учетом ограничений на ресурсы проектов;
- Развитие теоретических основ и совершенствование инструментальных средств фиксации проявлений дефектов; локализации и устранения дефектов.

4 Неопределенность как ключевой фактор возникновения дефектов в программных продуктах

Нам представляется, что ключевым фактором возникновения некриминальных дефектов на разных стадиях ЖЦ СОД и У и неразрывно связанными с ними фазами проектов является неопределенность. Рассмотрение неопределенности как источника дефектов разных типов создает предпосылки разработки унифицированного подхода к управлению дефектами на разных стадиях ЖЦ СОД и У, идейную основу которого составляет утверждение: чем меньше неопределенность, тем меньше дефектов. Заметим, что именно эта идея, на наш взгляд, лежит в основе основного принципа исследования сложных систем – принципа комплексности. Именно эта идея составляет концептуальную базу руководства к анализу качества проектных решений на основе такой характеристики неопределенности как сложность [8,23]. Эта идея составляет методическую основу решения задачи прогнозирования количества дефектов в программных продуктах на основе одного из косвенных показателей неопределенности – сложности [25-27]. Положенные в основу получения прогнозных оценок модели относятся к классу эмпирических, строятся на основе методов математической статистики и не обладают какой-либо общностью. Ориентация на эмпирические модели является свидетельством недостаточной изученности (т.е. неопределенности) в отношении коренных причин возникновения дефектов.

Рассмотрим кратко (в качестве примеров) следующие классы взаимосвязанных факторов неопределенности, являющихся источником возникновения дефектов:

- неопределенность целей;
- технологическая неопределенность;
- организационная неопределенность;
- ресурсная неопределенность.

Неопределенность целей обусловлена неопределенностью внешней среды, в которой предстоит функционировать СОД и У. Неопределенность этого класса является источником ошибок при отображении проблемной ситуации (для урегулирования которой предполагается использовать СОД и У) правообладателями, консультантами и иными субъектами, участвующими в выделении практических проблем; определении требований к потребительским свойствам системы; объемов ресурсов, необходимых для реализации проекта. Эти ошибки, в свою очередь, приводят к дефектам в техническом задании на СОД и У, и производными от него спецификациями функциональных и нефункциональных требований к компонентам СОД и У.

Технологическая неопределенность обусловлена условной идеализацией моделей, составляющих основу проектирования, что связано с тем, что в моделях представлены лишь наиболее значимые факторы, а влияние остальных игнорируется. Это является причиной альтернативных методологий проектирования (нисходящая, восходящая, объектная); нормативных документов, регламентирующих число фаз жизненного цикла СОД и У, а также проектов их реализации; инструментов проектирования, испытания систем; документирования разработок. Неопределенность этого класса является источником ошибок при формировании нормативной методической базы, составляющей фундамент проекта; формирование внешнего облика и системы спецификаций, соответствующих разным фазам жизненного цикла; необоснованном выборе инструментальных средств разработки и испытания СОД и У. Это, в свою очередь, является причиной дефектов в проектных решениях; программных кодах; низкой эффективности процедур тестирования и верификации.

Организационная неопределенность обусловлена, во-первых, неопределенностью состава фокус-групп [28], а также оценки степени их приближенностью к проекту; неопределенностью целей правообладателей, разработчиков и консультантов; представления о ценностях, желаниях и ожиданиях правообладателей и пользователей. Во-вторых, нечеткостью границ зон ответственности исполнителей; размытостью границ фаз проекта; необоснованными допущениями

о доступности ресурсов. Результатами организационной неопределенности являются ошибки в формировании фокус-групп; организации извлечения требований у представителей заказчика; ошибки в оценке масштабов и сложности проекта. Результатами допущенных ошибок являются дефекты определения границ продуктов и, соответственно, проектов; дефекты определения потребительских свойств СОД и У и их ранжирования; дефекты календарного планирования; дефекты в организации коммуникаций между участниками проекта.

Можно утверждать, что именно этот класс дефектов относится к критическим факторам современного кризиса в *IT* [24].

Ресурсная неопределенность обусловлена неопределенностью требований к потребительским свойствам СОД и У; неопределенностью объемов ресурсов, необходимых для реализации проекта; неопределенностью состояния альтернативных источников ресурсов; неопределенностью хода проекта. Результатом этого типа неопределенности являются ошибки в оценке состава и объема материальных и нематериальных активов проекта (термины «материальные и нематериальные активы» понимаются в смысле, определенном в работе [29]). Следствием ошибок, обусловленных ресурсной неопределенностью, являются дефекты в календарном плане реализации проекта.

Заключение

Рассмотрение дефектов как разновидности сложных систем создает основу для адаптации известных подходов, хорошо зарекомендовавших себя при управлении сложными системами разных классов в область управления функциональной безопасностью СОД и У. На основе обобщения особенностей известных методов управления дефектами на разных стадиях жизненного цикла аппаратно-программной компоненты СОД и У сделана попытка определить глобальную цель и выделить основные классы задач управления дефектами, а также выделить составные части такого ключевого фактора управления дефектами как неопределенность.

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] Бородакий Ю.В., Юсупов Р.М., Пальчун Б.П. Проблемы имитационного моделирования дефектоскопических свойств компьютерной инфосферы // Теоретические основы и методология имитационного и компьютерного моделирования, ИММОД-2007. – С. 87-92.

[2] Пальчун Б.П. Дефектология интеллектуальных компьютерных программ // Южного федерального университета. Технические науки. Выпуск № 4 / том 48 / 2005. – С. 69-74.

[3] Нагибин С.Я., Пальчун Б.П., Ухлинов Л.М. Технологическая безопасность программного обеспечения – новая проблема в области создания информационных систем // Информационное общество, 1995, выпуск 6, С. 45-49.

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

[5] Rzevski, G. Self-organization in social systems / G. Rzevski // Онтология проектирования. – 2014. – №4(14). - С. 8-17.

[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] ESA PSS-05-10 Guide To Software Verification And Validation (MAR 1995).

[9] IEEE Std 1012-1998 IEEE Standard for Software Verification and Validation.

[10] Morozov A., Janschek K., Yusupova N. On the influence if control from properties to software error location // Proceedings of the International Workshop Innovation of Information Technologies, Dresden, Germany, 2010.
[11] Майерс Г. Надежность программного обеспечения. Изд-во: М.: Мир, 1980 г. – 360 с.
[12] Черкесов Г.Н. Надежность аппаратно-программных комплексов. Учебное пособие / Г.Н. Черкесов. – СПб.: Питер, 2005. – 479 с.
[13] ГОСТ Р 51901.5-2005 Менеджмент риска. Руководство по применению методов анализа надежности.
[14] ГОСТ Р 51901.15-2005 (МЭК 61165:1995) Менеджмент риска. Применение марковских методов.
[15] Mladen A. Vouk. Software Reliability Engineering // Proceedings of the Annual Reliability and Maintainability Symposium, Los Angeles, California, USA, January 24-27, 2000.
[16] Мостовой А.Я. Управление сложными техническими системами: конструирование программного обеспечения спутников ДЗЗ. Монография. – М.: ТЕХНОСФЕРА, 2016. – 352 с.
[17] Бородакий Ю.В., Пальчун Б.П., Назаренко Д.Д. Проблемы оценки надежности компьютерных программ // Проблемы информатизации регионального управления. Материалы Второй Всероссийской Конференции КБНЦ. Нальчик 2016.
[18] Тимофеев А.В. Адаптивное управление и интеллектуальный анализ информационных потоков в компьютерных сетях. – СПб.: ООО «Анатолия», 212. – 280 с.
[19] Michael C.C., Jones R.C. On the uniformity of error propagation in software // Proceedings of the Annual Conference on Computer Assurance (COMPASS'97), pp. 68-76, 1996.
[20] AbdelMoez W., Nassar D., Shereshevsky M., Gradetsky N., Gunnalan R., Ammar H. Yu B., Mili M. Error Propagation in Software architectures // Proceedings of the Software Metics, 10th International Symposium, Washington, DC, USA, pp. 384-393, IEEE Computer Society, 2004.
[21] Bellini P., Bruno I., Nesi P., Rogai D. Comparing fault-proneness estimation models// Proc. of 10th IEEE International Conference on Engineering of Complex Computer Systems. – 2005. Pp. 205-214.
[22] Khoshgoflaar T.M., Munson J.C. Predicting software development errors using complexity metrics// IEEE of Selected Areas in Communications. – 1990. – Vol.8, №2. Pp. 253-261.
[23] Маевский Д.А., Яремчук С.А. Оценка количества дефектов программного обеспечения на основе метрик сложности// Электротехнические и компьютерные системы, 2012, №7(83). С. 113-120.
[24] CHAOS MANIFESTO 2014: Value versus Success & The Orthogonals. – The Standish Group International, Incorporated.
[25] Gvozdev V.E., Subhangulova A.S., Bezhaeva O.Y. Analysis of linear relations objects random parameters on the basis of measurement data / Proceedings of the 16th Workshop on Computer Science and Information Technologies/ Sheffield, England – 2014. –Vol. 2 – P. 13–15.
[26] Гвоздев В.Е. Субхангулова А.С., Бежаева О.Я. Оценивание линейных взаимосвязей параметров технических объектов при отсутствии корреляционной таблицы эмпирических данных // Вестник УГАТУ, научный журнал, Том 19, № 4(70) (2015). С. 106-117.
[27] Гвоздев В.Е., Субхангулова А.С., Бежаева О.Я. Оценивание количества дефектов в программных компонентах на основе показателя сложности// Информационные технологии интеллектуальной поддержки принятия решений: тр. Третьей международной конференции (ITIDS'2015). Уфа, 2015, Т. 2. – С. 55-60.
[28] Милошевич Д. Набор инструментов для управления проектами. М.: Компания Ай Ти: ДМК Пресс, 2008. – 729 с.
[29] Каплан Р.С., Нортон Д. П. Стратегические карты. Трансформация нематериальных активов в материальные результаты / Пер. с англ. – М.: ЗАО «Олимп- Бизнес», 2005. – 512 с.

КОМПЛЕКСНЫЙ АНАЛИЗ СЕТЕВЫХ ГРАФИКОВ НА ОСНОВЕ АППАРАТА СХЕМ СОПРЯЖЕНИЯ

В.Е. Гвоздев, И.С. Симонов

Уфимский государственный авиационный технический университет
450000, Уфа, ул. К. Маркса, 12, Россия
wega55@mail.ru, ilyasimonow@gmail.com
тел.: +7 (917) 369-27-73, +7 (965) 650-27-21

Ключевые слова: *комплексный анализ, сетевой график, аппарат схем сопряжения, метрические характеристики, кортеж*

Abstract

The goal of research was to adapt well-known interface circuit schemes (or coupling schemes) (author – Buslenko N.P.) to solving tasks of complex feature analysis of network graphs to master manufacturing process of complex technical systems. Each component of the scheme is a work; it has its own oriented graph edge. The changeover of network graphs to coupling schemes lets us represent both material and data flow within one and the same notation (it can be correlated to both earlier and latter indicators); this shows the implementation of the plan for mastering the process of complex technical system manufacturing. So each network graph is now able to assign a set of features (structural coupling schemes properties, metrical properties of separate works), which establishes the basis for comprehensive comparative analysis of alternative options of initial network graphs.

Введение

Управление качеством технических систем в условиях динамично изменяющихся условий как внешней, так и внутренней сред организации, выдвигает в качестве самостоятельной задачи управление качеством планов производства продуктов, потребительские свойства которых соответствуют требованиям, оговоренным в техническом задании.

Качество календарного планирования относится к числу критически важных факторов, определяющих успех реализации проектов. Сетевой график является неотъемлемой частью календарных планов. Несмотря на то, что к настоящему времени методологическим, методическим аспектам разработки сетевых графиков посвящены многие исследования; разработаны теоретические основы, модели, методы, инструменты, позволяющие автоматизировать решение ряда задач, связанных с разработкой и контролем реализации графиков, требуют дальнейшего совершенствования подходы к решению задач управления качеством сетевых графиков, в том числе по показателям безопасности и надежности, методологическую основу которых составляет системный подход.

В известной литературе [5], [9], [12] и др. отмечается, что использование структурных методов исследования сложных систем позволяет сравнивать альтернативные варианты построения сложных систем на ранних стадиях проектирования. В настоящей работе рассматривается адаптация известного аппарата схем сопряжения [4] применительно к задаче исследования свойств сетевых графиков.

1 Анализ существующих подходов к построению сетевых графиков

Известными методами информационной поддержки формирования сетевых графиков являются диаграммы Гантта; модели критического пути; модели операций на стрелках и др.

Множественность моделей сетевых графиков обусловлена тем, что каждая из них характеризует предполагаемый процесс освоения производства сложных технических систем с определенной точки зрения. Рассмотрим кратко особенности наиболее известных подходов.

Диаграмма Гантта хорошо подходит для распределения видов работ во времени, однако у такой разновидности структурной модели не указана взаимосвязь всей совокупности работ.

Еще одной известной моделью, является модель, построенная с помощью метода критического пути [8]. Модель критического пути позволяет оценить связи работ, резерв времени, не привязываясь к календарным датам.

Ограниченностью такой формы представления сетевого графика является то, что временные параметры событий являются детерминированными величинами и не учитывается случайно время выполнения работ.

Известны подходы к построению структурных моделей, учитывающие случайный характер времени выполнения работ - это техника оценки PERT и метод Монте-Карло [8]. Ограничением этих подходов является то, что нужно знать статистические характеристики в виде законов распределения случайных величин, а также их параметров. Сложность решения задачи определения статистических характеристик в виде законов распределения случайных величин, обусловлена тем, что, во-первых, требуется большой объем однородных данных. Во-вторых, для разных работ точность оценивания статистических характеристик окажется различной. В-третьих, нужно создавать специальную систему сбора, хранения данных времени выполнения этих работ.

Также существует подход к построению структурных моделей, в которых продолжительность всех или некоторых работ и связи между работами носят вероятностный характер (вероятностные – альтернативные) – это метод GERT. Особенностями данного метода является то, что допускается реконструирование любой работы, т.е. изменение содержания работы. Ограниченностью подхода является необходимость задания вероятностных характеристик связей. В условиях малого числа фактических данных такие оценки являются неопределенными, что может негативно сказаться на качестве планирования.

Проведенный анализ литературных источников позволяет заключить, что в известной литературе задача анализа надежности и безопасности сетевых графиков до настоящего времени не выделялась в качестве самостоятельной задачи исследования.

2 Представление сетевого графика как объекта в многомерном метрическом пространстве

Следуя принципу полиморфизма при моделировании сложных систем, можно утверждать, что сетевому графику можно поставить в соответствие совокупность взаимосвязанных структурных моделей, при этом каждая модель подчеркивает определенные особенности сетевого графика (схема сопряжения, матрица смежности и др.).

Использование совокупности различных моделей для описания одного того же объекта – сетевого графика – позволяет поставить ему в соответствие совокупность характеристик, с разных сторон характеризующих сетевой график. Рассмотрим подход, основанный на рассмотрении сетевого графика одновременно как совокупность событий, и как совокупность взаимосвязанных работ. Основу этого рассмотрения составляет переход от вида сетевого графика [8] к виду схемы сопряжения [4].

Представление сетевого графика в виде схем сопряжения позволяет в единой нотации представить разные по содержанию связи (материальные, информационные), существующие между разными работами. Последующее преобразование схемы сопряжения к виду ориентированного графа дает, с одной стороны формальное представление структуры; с другой стороны комплексное (с учетом множества свойств) представление сетевого графика.

Преобразование сетевого графика к виду ориентированного графа делает возможным определение соответствующих ему метрических характеристик, определенных в теории графов [3], [10], [11] и др. Иными словами, сетевому графику может быть поставлен в соответствие кортеж вида

(1) $< ПСГ,\ X_1,\ldots,X_N >$,

где *ПСГ* – признак сетевого графика;
$X_1,\ldots,X_N$ - метрические характеристики сетевого графика.

Признаками сетевого графика являются характеристики, полученные при анализе разных форм сетевых графиков, например, сложность (как косвенная характеристика количества дефектов [13]), длина максимального пути в графе (как косвенная характеристика возможности отказа [3]), связность (как косвенную характеристику уязвимости) и т.д.

Таким образом, задачу сравнения альтернативных вариантов сетевых графиков можно свести к обработке матрицы известного вида «объект-свойство» представленную в виде таблицы 1.

Таблица 1 – Матрица вида «объект-свойство»

Сетевой график	x_1	x_2	...	x_N
$СГ_1$	x_{11}	x_{12}	...	
⋮				
$СГ_M$	x_{M1}	x_{M2}	...	x_{MN}

Здесь объектом выступает *j*-й альтернативный вариант сетевого графика, а свойствами – разные метрические характеристики различных представлений сетевого графика, с различных сторон характеризующие деятельность, связанную с планированием производства сложных систем.

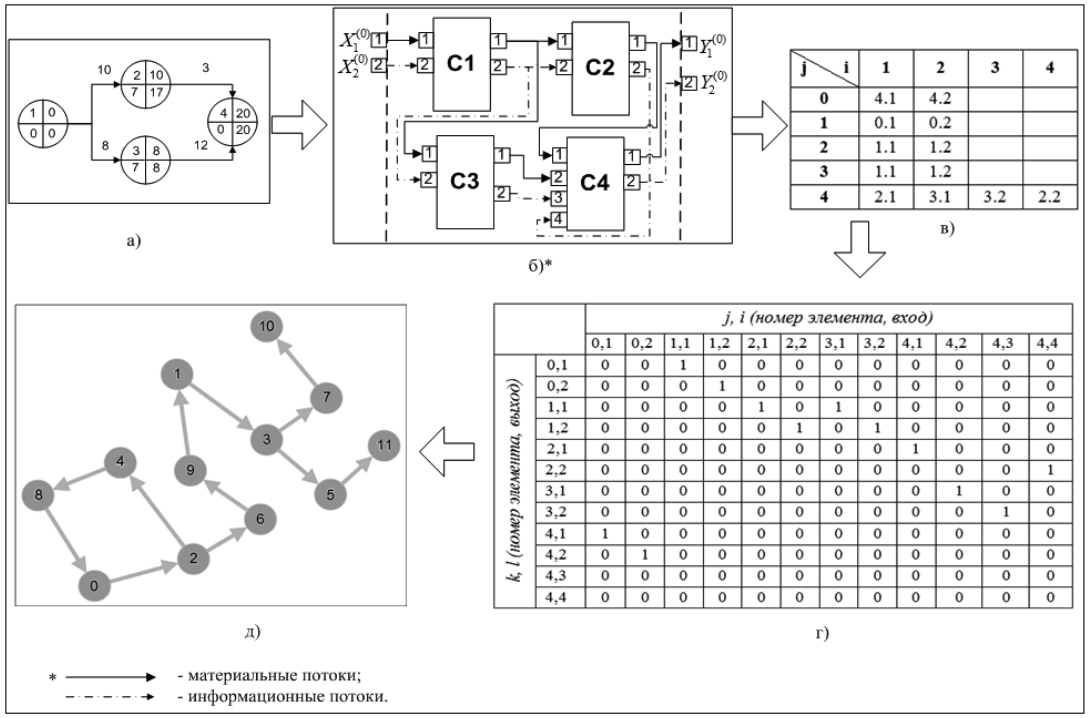
Преобразование задачи анализа сетевых графиков по совокупности признаков к формальной задаче обработке матрицы «объект-свойство» открывает возможности использования широкого спектра известных методов описанных в литературе [2].

3 Пример сравнительного анализа альтернатив сетевого графика

Ниже приведен пример преобразования сетевого графика к виду (1) признаков сетевого графика.

На рисунке 1а представлен сетевой график, который преобразован к виду схемы сопряжения, представленному на рисунке 1б, где $X_1^{(0)}, X_2^{(0)}$ – являются входными, а $Y_1^{(0)}, Y_2^{(0)}$ – выходными контактами внешней среды; *C1, C2, C3, C4* – элементы схемы сопряжения (компоненты сетевого графика), имеющие элементарные входные и выходные контакты, соединенные между собой, формально соответствующие каналам, по которым передаются материальные и информационные потоки. Контакты внешней среды $X_1^{(0)}, X_2^{(0)}, Y_1^{(0)}, Y_2^{(0)}$ соответствуют входам/выходам управляющих (от надсистем к подсистемам) и координирующим (с параллельными системами) связям. Схема сопряжения (рисунок 1б) трансформирована к виду оператора сопряжения, представленному на рисунке 1в, где на пересечении строк с номерами элементов *j* и столбцов с номерами контактов *i* расположены пары чисел *(k, l)*, указывающие номер элемента *k* и номер контакта *l*, соединенных между собой. На основе оператора сопряжения (рисунок 1в) построена матрица смежности (рисунок 1г), где столбцы и строки пронумерованы двойными индексами *(j, i)* и *(k, l)* соответственно, а на пересечении ставиться еди-

ница для контактов $X_i^{(j)}$ и $Y_l^{(k)}$, соединенных элементарным каналом, и ноль в противном случае.



j \ i	1	2	3	4
0	4.1	4.2		
1	0.1	0.2		
2	1.1	1.2		
3	1.1	1.2		
4	2.1	3.1	3.2	2.2

k, l (номер элемента, выход) \ j, i (номер элемента, вход)	0,1	0,2	1,1	1,2	2,1	2,2	3,1	3,2	4,1	4,2	4,3	4,4
0,1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,2	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
1,1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0
1,2	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0
2,1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
2,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
3,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
3,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
4,1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4,2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Рисунок 1 – Преобразование сетевого графика

Таким образом, на основе полученной матрицы смежности построен ориентированный граф, представленный на рисунке 1д, вершинами которого являются контакты, а ребрами – каналы.

Полученный ориентированный граф является обобщенным представлением различных видов работ, связанных с преобразованием материальных объектов и ассоциированных с ними данных, причем каждая работа описывается в двумерном пространстве (материальные и информационные потоки), т.е. является обобщенным параметром.

Предположим, что для двух альтернатив сетевых графиков известны метрические характеристики, полученные в результате анализа разных форм представления сетевых графиков, и определяющие время выполнения работ (критический путь); уязвимость (связность); потенциальное число дефектов сетевого графика (сложность) [3], [8], [13]. На основе полученных метрических характеристик формируется кортеж, компоненты которого представляют собою наилучшие значения представленных альтернатив сетевых графиков. Кортежи, соответствующие альтернативам сетевых графиков, представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Кортеж

Сетевой график	Критический путь	Связность	Сложность
	x_1	x_2	x_3
Альтернатива № 1	20	0.09	3.75
Альтернатива № 2	23	0.15	3
Наилучшая альтернатива (метод идеальной точки)	20	0.15	3

Полученный кортеж создает основу для дальнейшего сравнительного анализа качества альтернативных вариантов сетевых графиков.

Задача сравнительного анализа альтернатив сетевых графиков сводится к анализу удаленности альтернатив от наилучшего сетевого графика. Для определения характеристик идеального сетевого графика используется подход именуемый «методом идеальной точки» [6]. Суть подхода заключается в том, что среди характеристик альтернативных сетевых графиков выбирается наилучшая характеристика. Далее формируется некий виртуальный сетевой график, у которого характеристики соответствуют наилучшими среди представленных сетевых графиков. После этого рассчитывается метрическая характеристика удаленности для каждой из альтернатив. В литературе представлены различные метрические характеристики удаленности, например, можно использовать Евклидову метрику

$$d^{(j)} = \sqrt{(x_1^{(j)} - x_1^{(\text{ид.})})^2 + (x_2^{(j)} - x_2^{(\text{ид.})})^2 + (x_3^{(j)} - x_3^{(\text{ид.})})^2}$$

Метрическая характеристика удаленности позволяет наглядно продемонстрировать, насколько каждый из альтернативных вариантов сетевых графиков приближен к наилучшему сетевому графику.

Для устранения влияния масштаба метрической характеристики, при вычислении значений Евклидовых метрик, каждую метрическую характеристику необходимо поделить на значение наилучшей характеристики. Для приведенного примера значение Евклидовых метрик, соответствующих разным альтернативам сетевых графиков, составили: $d(1) \approx 0.47$, $d(2) = 0.15$. Анализ значений *d(1)* и *d(2)* позволяет отдать предпочтение альтернативе №2 (в рамках выбранной совокупности метрических характеристик сетевых графиков).

Заключение

Таким образом, использование аппарата схем сопряжения в совокупности с другими формальными моделями построения сетевых графиков позволяет свести задачу комплексного анализа сетевых графиков к обработке матриц известного вида «объект-свойство».

В работе предложен подход к комплексному анализу сетевых графиков по совокупности характеристик, соответствующих различным признакам работ, входящих в состав сетевого графика. Новизна представления сетевых графиков в виде схем сопряжения заключается в том, что позволяет в единой формальной нотации описать разные по своей природе потоки и воздействия (материальные, информационные), связанные с реализацией работ, имеющие разное пространство состояний. Такая нотация позволяет каждому сетевому графику поставить в соответствие совокупность признаков, которая с разных сторон характеризует этот график. Практическая значимость предложенного подхода заключается в том, что полученные теоретические результаты позволяют разработать инструментальное программное средство для комплексного анализа альтернатив сетевых графиков, что позволит использовать его на производственных предприятиях, а именно использовать для методологической поддержки планирования производства новых изделий.

Список литературы

[1] Аврамчук Е.Ф., Вавилов А.А., Емельянов С.В. и др. Технология системного моделирования. – М.: Машиностроение; Берлин: Техника, 1988. – 520 с.

[2] Айвазян С.А., Бухштабер В.М., Енюков И.С., Мешалкин Л.Д. Прикладная статистика: Классификация и снижение размерности. — М.: Финансы и статистика, 1989. – 607 с.

[3] Брук В.М., Николаев В.И. Системотехника: методы и приложения. – Л.: Машиностроение, 1985. – 199 с.

[4] Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем. Изд. 2-е. – М.: Наука, 1978. – 400 с.

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

[6] Дубов Ю.А., Травкин С.И., Якимец В.Н. Многокритериальные модели формирования и выбора вариантов систем. М: Наука, 1986. – 296 с.
[7] Касти Дж. Большие системы: связность, сложность, катастрофы: пер. с анг. – М.: Мир, 1982. – 187 с.
[8] Милошевич Д. Набор инструментов для управления проектами. – М.: Компания АйТи; ДМК Пресс, 2008. – 729 с.
[9] Нечипоренко В.И. Структурный анализ и методы построения надежных систем. – М.: Советское радио, 1968. – 340 с.
[10] Оре О. Теория графов. – 2-е изд. – М.: Наука; Главная редакция физико-математической литературы, 1980. – 336 с.
[11] Харари Ф. Теория графов. – М.: Мир, 1973. – 300 с.
[12] Черкесов Г.Н. Надежность аппаратно-программных комплексов: учебное пособие. – М. и др.: Питер, 2005. – 479 с.
[13] ESA PSS-05-10 Guide to software verification and validation, March 1995.

СТРАТЕГИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПРОЕКТАМИ НА ОСНОВЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЕРСОНАЛА ОРГАНИЗАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО АНАЛИЗА ДАННЫХ

В.Е. Гвоздев, Л.Р. Черняховская, Р.И. Мухаметьянова, И.П. Владимирова

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

Ключевые слова: *стратегическое управление, эффективность персонала, онтология, интеллектуальный анализ, правило.*

Abstract

This article presents an approach to the management of human resources in processes of project management, based on the application of analytical methods and methods of artificial intelligence. The goal of the research in the field of human resource management is to increase the quality of staff planning and promotion for improving the design processes and the employee's productivity. To achieve the defined goal we must solve the following tasks: evaluation of the project works according to the certain criteria using the multi-criteria optimization methods; data mining tasks using ID3 algorithm. Decision making task on ranking the work candidates and the task of employee's opportunities management and selection of the promotion variants on the base of identified skills are solving with rules created in ontology with Semantic Web Rule Language.

Введение

Целью исследований в области управления персоналом является улучшение качества планирования, развития и продвижения персонала для совершенствования процессов проектирования и повышения производительности труда сотрудников организации. Для этого решаются следующие задачи: задача оценка работ по реализации проекта по определенным критериям с применением методов многокритериальной оптимизации; задачи интеллектуального анализа данных с применением алгоритмов построения решающих деревьев, нечеткого кластерного анализа и прогнозирования с использованием нейронных сетей; задачи принятия решений о ранжировании претендентов на выполнение работ; задачи управления возможностями сотрудников и выбора вариантов продвижения на основе выявленных способностей. Для рационализации, упорядочения и автоматизации процессов и процедур управления персоналом на основе поддержки принятия решений, реализуемой с применением созданных правил и прецедентов в контексте семантической сети понятий рассматриваемой предметной области, разработана онтология. Данные для интеллектуального анализа хранятся в онтологии в форме экземпляров классов участников проектов и экземпляров проектных работ.

1 Механизмы реализации стратегии управления персоналом

Особенности управления предприятиями, как в России, так и за рубежом, на современном этапе связаны с повышением эффективности стратегического управления. Необходимость стратегического управления проявляется при решении сложных проблем управления предприятиями, при разработке и реализации крупномасштабных проектов, при управлении сложными производственными системами и технологическими процессами в условиях нестабильности социально-экономической обстановки, высокой скорости научно-технического прогресса.

Для успешного функционирования современного предприятия определяются три конкурентные стратегии: инновационная стратегия, стратегия повышения качества и стратегия снижения себестоимости. В действительности стратегии организации обычно сочетают в себе перечисленные стратегии, определяющие такие цели, как снижение затрат, повышение качества и инновации. Достижение целей стратегического управления требует наличия в организации опытных людей, обладающих знаниями, умениями, техническими навыками, а также позитивными социальными и личными качествами.

Стратегическое управление представляет собой деятельность по разработке и реализации стратегий в масштабе реального времени и происходит в сложных условиях динамически изменяющихся факторов как самой организации, так и внешней среды, определяющей высокие требования к адаптации и непрерывному развитию персонала [1]. В соответствии с теорией интерсубъективного управления [2] эффективность стратегического управления следует искать «в самих людях, в каждом человеке, в использовании интеллектуальных и волевых ресурсов каждого человека. В настоящее время опубликовано значительное количество работ [3-7], в которых были успешно проработаны проблемы, касающиеся различных аспектов управления персоналом.

Стратегия управления персоналом формируется на основе общей стратегии предприятия, способствует ее развитию, мобилизации всех внутренних резервов, полного и комплексного использования интеллектуального капитала предприятия. Деятельность организационной системы предприятия осуществляется с применением механизмов функционирования, представляющих собой «совокупность процедур, правил и т.д., регламентирующих взаимодействие участников организационной системы. Важнейшей составляющей механизма функционирования является механизм управления - совокупность процедур принятия управленческих решений» [3]. Система управления персоналом рассматривается как «система решений и предпринимаемых на их основе действий, призванных своевременно обеспечить компанию работниками заданной квалификации и в необходимом количестве; способствовать наиболее полной реализации их прав и обязанностей, предусмотренных трудовым законодательством; рациональному использованию трудового потенциала» [8]. Основные разновидности стратегии управления персоналом включают стратегии привлечения и отбора персонала, развития персонала, перемещения персонала, стратегию занятости.

В данной работе предлагается применить онтологию для рационализации, упорядочения и автоматизации процессов и процедур управления персоналом. Онтология предназначена для поддержки эффективности коммуникаций в организации и обеспечивает информационную поддержку поиска претендентов на выполнение работ; поддержку управления возможностями сотрудников и выбора вариантов продвижения талантливых работников на основе выявленных способностей; создание продукционных правил для подбора персонала. Талант рассматривается как возможность отдельных личностей вносить существенный вклад в производительность труда [9]. Управление талантами может быть определено как процесс обеспечения преемственности руководства на ключевых постах и поощрение индивидуального развития и принятия решений по управлению деятельностью предприятия с целью удовлетворения требований потребителя.

Цель управления персоналом связывает сотрудников с результатами их работы, которые должны быть выполнены для решения задач организации. Поэтому среди рассматриваемых проблем важное значение придается аттестации работ. Для оценки работ применяются известные методы получения и обработки экспертных оценок, такие, как метод рангов (ранжирования), метод непосредственного оценивания (балльный), метод сопоставлений, а также методы принятия рациональных многокритериальных решений, например, метод Т. Саати [11].

В данной статье рассматриваются пример оценки работ по реализации проекта с применением метода анализа иерархий для принятия кадровых решений.

Для оценки работ на основе экспертных знаний была сформирована иерархия критериев (см. рис. 1),

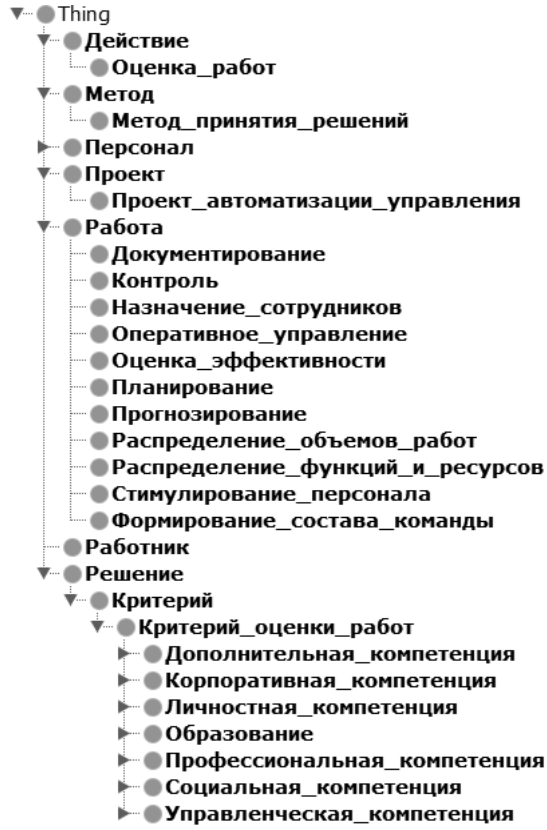


Рисунок 1 – Иерархия классов в онтологии

Каждый из 7 критериев верхнего уровня иерархии декомпозирован на следующем уровне на 5 подкритериев: класс «Профессиональная компетенция» (K1) включает подклассы «Опыт работы» (K1.1), «Ориентация на высокое качество работы» (K1.2), «Обладание профессиональными знаниями» (K1.3), «Выполнение специальных заданий» (K1.4) и «Понимание экономических реалий» (K1.5), класс «Социальная компетенция» (K2) включает подклассы «Ориентация на потребителя» (K2.1), «Способность к адаптации» (K2.2), «Умение заинтересовать» (K2.3), «Стремление помогать другим людям» (K2.4), «Способность передачи знаний и опыта работы» (K2.5) и т.д. С применением иерархической системы критериев произведены расчеты глобальных критериев Vgl значимости работ в реализации проекта (O1- Планирование, O2 – Распределение объемов работ, O3 – распределение функций и ресурсов, O4 - Контроль, O5 – Оценка эффективности) методом аналитической иерархии и методом агрегации критериев на примере отдела информационных технологий производственного предприятия. Результаты расчетов приведены в таблицах 1, 2.

Результаты расчета значимости критериев и полученной с учетом этих критериев оценки работ можно применить в задачах выбора вариантов на продвижение сотрудников, подбора персонала и индивидуального развития сотрудников.

Таблица 1 - Результаты расчета значимости критериев уровня 1

Kj Компетенции	K1 Профессиональные	K2 Социальные	K3 Образование	K4 Личностные	K5 Управленческие	K6 Корпоративные	K7 Дополнительные
V(Kj)	0.2213	0.1153	0.1816	0.1201	0.1645	0.0986	0.0986

Таблица 2 - Глобальные критерии оценки работ

Работы	O1	O2	O3	O4	O5
Оценка работ методом анализа иерархий	0,4981	0.2394	0.1249	0.2706	0.0747

Интеллектуальный анализ данных есть часть процесса извлечения знаний из данных. Основными задачами ИАД являются классификация, кластерный анализ, поиск ассоциаций и прогнозирование. Исходными данными для ИАД являются экземпляры классов сущностей в онтологии, выступающие в данном аспекте как прецеденты принятия решений в проблемных ситуациях. Для обучения на основе прецедентов можно выбрать один из следующих алгоритмов: ID3, C4.5, CART, алгоритм нечеткого кластерного анализа (в зависимости от типа признаков описания прецедентов). Задача обучения по прецедентам формулируется следующим образом. Пусть X – множество признаков проблемных ситуаций, D – множество решений. Предположим, что пространство признаков X компактно, а также что существует неизвестная зависимость:

$$\eta : X \to D; \quad Обучающая\ выборка \quad X^K = \{x_j, d_j\}_{j=1}^K \in X \times D, d_j = \eta(x_j).$$

Зависимость определяется путем построения дерева решений с применением символьного алгоритма обучения ID3. Результатом обучения является множество продукционных правил вида «Если - То», которые создаются в онтологии с применением языка Semantic Web Rule Language (рис.2).

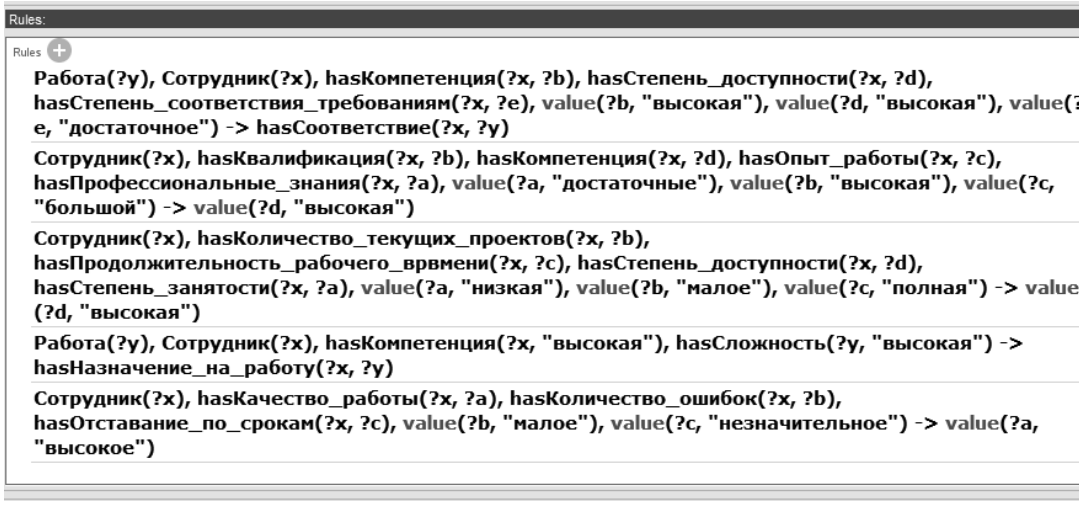


Рисунок 2 – Представление правил в онтологии

Примерами задач принятия решений, для которых целесообразно применить ИАД, являются: задача подбора персонала, задача назначения на работу, задача поиска и продвижения талантов.

Заключение

Применение аналитических методов и методов интеллектуального анализа данных направлены на обеспечение соответствия работника должности как инструмента эффективности выполнения обязанностей. Результаты оценки и прогнозирования эффективности работы сотрудников имеют практическую ценность для принятия решений по подбору соответствующего персонала, разработке программ обучения и развития, разработки стратегии управления человеческими ресурсами, накопления и использования корпоративных баз знаний.

Благодарности

Работа выполнена при поддержке гранта Российского фонда фундаментальных исследований № 16-08-00575 «Интеллектуальные методы многокритериальной диагностики состояний сложных технических систем и технологических процессов».

Список литературы

[1] Веснин В.Р. Стратегическое управление: учеб. – ТК Велюи, Изд-во Проспект, 2006. - 328 с/

[2] Виттих В. А. Эволюционное управление сложными системами // Известия Самарского научного центра Российской Академии наук. 2000. № 1.

[3] Новиков Д.А. Механизмы стимулирования в организационных системах. М.: ИПУ РАН (научное издание), 2003.- 147 с.

[4] M. Schatten, P. Grd, M. Konecki. Towards a formal conceptualization of organizational design techniques for large scale multi agent systems. Pricedia Technology, 2nd International Conference on System-Integrated Intelligence: Challenges for Product and Production Engineering, 2014.

[5] Adamus ,W. A new method of job evaluation. http://www.isahp.org/2009. Proceedings/Fina l_Papers/ 106_Adamus_REV_FIN.pdf, 2009.

[6] Fitsilis, P., Gerogiannis, V. and Anthopoulos, L. Ontologies for Software Project Management: A Review. Journal of Software Engineering and Applications, 2014, 7, 1096-1110. Published Online December 2014 in SciRes. http://dx.doi.org/10.4236/jsea.2014.713097

[7] Поддержка принятия решений при стратегическом управлении предприятиями на основе инженерии знаний / под ред. Л.Р. Черняховской. – Уфа: АН РБ, Гилем, 2010. – 128 с.

[8] Гвоздев В.Е., Черняховская Л.Р., Ровнейко Н.И., Малахова А.И. Интеллектуально-аналитическая поддержка принятия коллективных решений при управлении программными проектами // Материалы XVI Международной конференции «Проблемы управления и моделирования в сложных системах», 30 июня - 3 июля 2014 г. – Самара; Самарский научный центр РАН, 2014. С. 204–212.

[9] Черняховская, Л.Р. Разработка моделей и методов интеллектуальной поддержки принятия решений на основе онтологии организационного управления программными проектами / Л.Р. Черняховская, А.И. Малахова // Онтология проектирования. - 2013. – №4(10). С. 42–52.

[10] Jantan, Y, Hamdan F.R., Osman Z.A. Human talent prediction in HRM using C4.5 Classification Algorithm, (IJCSE) International Journal on Computer Science and Engineering Vol. 02, No.08, 2010, pp. 2526-2534.

[11] Саати Т. Л. Принятие решений при зависимостях и обратных связях: Аналитические сети. — М.: Издательство ЛКИ, 2008. — 360 с.

РАЗРАБОТКА АНАЛИТИЧЕСКОЙ CRM–СИСТЕМЫ ОЦЕНКИ КРЕДИТОСПОСОБНОСТИ ЗАЕМЩИКОВ РЕГИОНАЛЬНОГО БАНКА

О.И. Захарова

Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики
443010, Самара, ул. Льва Толстого, 23, Россия
xeniya-luna@luna.ru
тел: +7 (846) 228-00-21

Ключевые слова: *аналитическая CRM, оценка кредитоспособности, банковское кредитование, кросс-продажи, байесовская вероятность*

Abstract

In the system under development, the creditworthiness of the potential borrower of the bank is evaluated, taking into account the data from alternative sources and the choice of the cross-product of the bank offered to the client as an additional to the requested one, algorithms based on the Bayes formula are used. To build optimal algorithms for the choice of cross-products, it is planned to extend the mathematical model in accordance with the theory of probability criteria, which will allow to ensure maximum information productivity.

Введение

Не будет преувеличением сказать, что на сегодня в той или иной степени CRM-решения существуют во всех крупных российских банках. Однако же в большинстве случаев кредитные организации по вполне понятным причинам пытаются экономить на решениях, поэтому внедряют их частями, отдавая приоритет решению операционных задач. Поэтому на вопрос о том, насколько остро стоит сегодня проблема внедрения CRM-систем, все банкиры единодушно отвечают: задача крайне актуальная.

Для реализации качественного решения задач, стоящих перед небольшими региональными банками и организациями малого частного финансирования в условиях конкуренции и сильнейшего финансового кризиса в стране, необходимо полностью перестраивать работу с клиентами, выводя ее на новый «клиенто-ориентированный» уровень. В частности, для решения ряда таких задач, на наш взгляд, достаточно внедрить CRM-систему, включающую как операционный блок, так и аналитический.

Можно выделить ряд российских банков, активно пользующихся результатами внедрения CRM. Среди таких «первопроходцев» можно назвать Уральский банк реконструкции и развития (УБРиР), БФА, ВТБ24, Сбербанк России, Промсвязьбанк.

В рамках проводимого исследования предполагается создать аналитическую CRM – систему оценки кредитоспособности заемщиков регионального банка и возможности онлайн выдачи малых потребительских кредитов, а также пакетного предоставления продуктов розничного банковского бизнеса существующим и потенциальным клиентам банка, реализованную на базе облачных технологий. Для этого необходимо:

1) Разработать скоринговую модель оценки кредитоспособности субъекта – потенциального заемщика регионального банка (с учетом специфики региона), анализируемую и учитывающую данные из профиля в социальных сетях субъекта (Вконтакте).
2) Разработать клиентоориентированную модель пакетного предложения банковских продуктов потенциальному клиенту банка, на основе составления психологического портрета субъекта и выявления его текущих потребностей по данным из анкеты и из профиля в социальных сетях субъекта (Вконтакте).

1 Разработка методики оценки кредитоспособности

Формирование отношений с клиентами на рынке товаров и услуг неразрывно связано с анализом свойств и качеств клиентов, формированием их стереотипов и проверкой гипотез о принадлежности клиентов соответствующему сегменту рынка. Такая ситуация связана с самыми разнообразными задачами, такими как: скоринг (в банковском деле), оценка лояльности клиентов (телекоммуникационные компании), отток клиентов из фирмы и т.д. [1]

Такой анализ тесно связан с использованием новых информационных технологий, формирующих оценки гипотез о принадлежности клиента к одному из возможных сегментов рынка. В связи с этим в основу категориального анализа ложится текущее состояние субъекта, характеризуемое набором всех свойств данного субъекта и текущими значениями категорий, которые могут быть присущи субъекту, так и приобретены с течением времени.

В предлагаемой методике каждый клиент банка рассматривается как совокупность конкретных конечных качеств, собранных в одном «контейнере». В роли основных качеств потенциального заемщика, как правило, выступают необходимые для анализа его кредитоспособности характеристики, а именно: должность, общий стаж, стаж на последнем месте работы, образование, иждивенцы, возраст, кредитная история, пол, семейное положение, наличие собственности, страница в социальной сети.[2]

Качество ($К^i$) – это свойство конкретного заемщика, определяющее числовое или лингвистическое значение, где $i \in \overline{1..\infty}$, в общем случае, и $i \in \overline{1..n}$, в случае оценки кредитоспособности данного физического лица, где ***n*** - некоторое число качеств, позволяющих однозначно отнести субъекта к классу платежеспособных клиентов или наоборот.

С помощью группировки таких различных свойств, описывающих потенциального заемщика, можно вычислить условную вероятность того, к какому сегменту (S_g) относится данный клиент: к «плательщикам» (S_{g1}) ***или*** к «неплательщикам» (S_{g2}).

Для расчета условной вероятности и причисления клиента к тому или иному сегменту, используются данные предыстории, т.е. статистики по клиентам банковской организации. В начале анализируется сводная таблица всех заемщиков банка в целом, затем таблица, составленная по конкретному сегменту.

По сводной таблице выбираются сведения, касающиеся общего количества клиентов за весь период работы организации с контингентом данной специфики. По таблицам (сводной, плательщиков и неплательщиков) вычисляется вероятность того, какой тип платежеспособных/неплатежеспособных физических лиц преобладает у банковской организации в настоящий период. Данные вероятности будем считать априорными, так как они характеризуют имеющиеся исходные данные статистики и представляют собой изначальный ситуационный фактор статистических данных клиентов организации на данный момент времени.

Вычисления априорной вероятности попадания клиента в сегмент (S_{gk}) (k=1…α) номер сегмента), производятся по формуле классического определения вероятности.

$$P(Sgk) = \frac{m}{n},$$

где m - число благоприятствующих попаданию в сегмент исходов, а именно количество человек, зачисленных в k-тый сегмент, например, сегмент - «плательщиков»,

n - число всех равновозможных несовместных элементарных исходов, образующих полную группу, т.е. число всех заемщиков организации. [3]

Так как, в нашем случае, сегменты (S_{g1}) ***и*** (S_{g2}) представляют собой наборы несовместных противоположных событий и образуют полную группу, то для них справедливо выражение: «Сумма вероятностей противоположных событий равна единице».

Из чего следует формула

(1) $P(S_{g1}) + P(S_{g2})=1$.

После нахождения априорных вероятностей по сегментам, осуществляется переход к разбору каждого сегмента в отдельности и их вероятностных параметров.

Каждая из таблиц сегмента формирует статистические данные путем, углубленного рассмотрения необходимых характеристик. Система разбирает каждое из качеств K^i на совокупность атрибутов/категорий, из которых оно состоит $\sum_{j=1}^{m} S_j^i$. Здесь каждый атрибут **i**-того качества подразумевает под собой однозначную j его категорию потенциального заемщика, которая обладает ценностью в процентах, а также количественной характеристикой.

Количественная характеристика категории качества обуславливается количеством заемщиков этой характеристики в конкретном сегменте (данные берутся из предыстории деятельности организации). По количественным сведениям, вычисляется вероятностная характеристика категории качеств в сегменте, которая выражается в процентом соотношении известной характеристики к общему числу клиентов в данном сегменте, с учетом приравнивания общего числа к 100% или 1 (для удобства).[4]

Необходимо установить правило, что ценность категории качества рассчитывается только в конкретном свойстве клиента, они же (в свойстве физического лица) являются несовместимыми событиями, поэтому по условию нормировки сумма вероятностей этих событий в одном свойстве должна быть равна 1.

Это правило подтверждается, если сложить процентные характеристики выбранной качества.

$$\sum\nolimits_{i=1}^{2} K_j^i = S_1^1 + S_2^1 = 0.5 + 0.5 = 1,$$

где i свойства равно 1, потому что оно первое и единственное, а S_1^1 есть процентная характеристика категории качества «мужской»- 1, S_2^1 - «женской»- 2.

Вышеописанным способом производится реорганизация всех сведений и нужных качеств потенциальных заемщиков по предыстории. Стоит учитывать, что подобные вычисления делаются в таблицах сегментов.

Далее производится вычисление условной вероятности распознания кредитоспособного потенциального клиента, которое осуществляется следующим образом:

1) Заполненная анкета рассматривается как совокупность свойств заемщика;
2) Каждому свойству в соответствие ставится кредитный коэффициент определенного сегмента;
3) Так как человек, рассматривается в виде совокупности всех качеств вместе, то предположительно выполняется конъюнктивное сочетание категорий качеств (как альтернативных событий) потенциального заемщика. При помощи проставления логического «И» между ними, соответствующего перемножению процентных характеристики, формируется индивидуальная характеристика(ИХ).

$$ИХ = (\mathrm{S}_1^1)\,\mathrm{и}(\mathrm{S}_2^1)u\ldots u(\mathrm{S}_m^n) = \sum_{i=1}^{n}\sum_{j}^{m} S_j^i = S_1^1 \cdot S_2^2 \cdot \ldots \cdot S_m^n$$

Например, ИХ=(возраст=молодой) *И* (Образование=среднее) *И* (Пол= мужской) *И* (Район проживания=Промышленный). Здесь ИХ представляет собой набор из 4-х фактов, связанных конъюнктивной связью.

4) Осуществляется переопределение байесовской вероятности, т.е. пересчет априорных вероятностей (вычисленных посегментно кредитных коэффициентов категорий качества) в апостериорные вероятности (численное значение кредитного коэффициента субъекта с индивидуальными характеристиками) на основе получения фактов. Это означает, что про-

водится расчет условной вероятности попадания клиента в соответствующий вычислениям сегмент реализуется хорошо известной формулой Байеса, которая при введенных выше обозначениях выглядит следующим образом:

$$(2)\quad P(Sg_n \mid ИХ) = \frac{P(ИХ \mid Sg_n) \cdot P(Sg_n)}{\sum_{n=1}^{L} P(Sg_n \mid ИХ) \cdot P(Sg_n)},$$

где $P(Sg_n)$ – априорные вероятности попадания клиента в сегмент S_{gn}**,**

$P(Sg_n \mid ИХ)$ – условные вероятности тяготения субъекта к сегменту S_{gn}**,** при условии, что ИХ является фактом (кредитный коэффициент)

$P(ИХ \mid Sg_n)$**-** обратная вероятность (вероятность наличия фактов ИХ в сегменте S_{gn}),

L – общее количество сегментов системы.

Наибольшая апостериорная вероятность принадлежности клиента к сегменту из всего полученного набора здесь определяет максимальное правдоподобие пребывания клиента именно в этом сегменте и дополняет априорные сведения о клиентах апостериорными значениями с учетом их индивидуальных характеристик.

После вычисления кредитного коэффициента, коим является некоторое численное значение оценки кредитоспособности и благонадежности потенциального заемщика, выраженное не в процентной форме, в нашей методике предполагается два пути рассмотрения кредитного дела клиента, в зависимости от того, предоставил ли заемщик в своей анкете сведения о личной странице в социальной сети (эти сведения предоставляются в добровольном порядке, и могут повлиять на решение о предоставлении клиенту кредита в дальнейшем):

1 путь – передача вычисленных параметров кредитоспособности клиента без дополнительного пересчета по информации из альтернативных источников отделу по кредитам для формирования окончательного решения по одобрению или отказу в кредите физическому лиц;

2 путь – производится дополнительный анализ информации о клиенте из дополнительных источников, на примере социальной страницы, итоги которого повлияют на конечный кредитный коэффициент заемщика по средством сложения основной апостериорной вероятности с дополнительным кредитным коэффициентом $k_{доп}$.

$$(3)\quad k_{кон} = P(Sg_n \mid ИХ) \pm k_{доп} \quad (P(Sg_n \mid ИХ) \pm k_{доп}) \cdot 100\%$$

Выбор знака совершается согласно сегменту, по которому осуществлялись вычисления. Так как в оценке кредитоспособности потенциального заемщика используется деление на два сегмента «плательщик» - S_{g1} и «неплательщик» - S_{g2} , то интуитивно понятно, что знак сложения уместен в случае плательщика, а процедура разности - в случае S_{g2}**.** Калькуляция второго сегмента производится с использованием знака минус, так как положительный дополнительный коэффициент дает уменьшение вероятности попадания клиента в категорию «неплательщики», повышая его шансы получить кредит. Стоит отметить, что данное весовое уравнивание вероятностей сегментов обуславливается тем, что сегменты представляют собой события и при том несовместные, это описывает рассмотренная выше формула.

Анализ социальной страницы выполняется по методу рейтинговой оценки. Данная методика предоставляет возможность оценивать действия пользователя в социальных сетях, обрабатывая информацию, которая там храниться, в неизменном виде. Скоринговая методика оценивает «предпочтения» пользователя/заемщика социальной сети, проставляя определенное количество баллов за достоверность, полноту и за само присутствие информации на странице.

Методика также предусматривает поиск запретных групп и слов(словосочетаний), на наличие которых проверяется каждая страница заемщика. В самой рейтинговой методике данный аспект отмечен путем перемножения уже полученных баллов на -1, при условии, что на-

бранный, посредством прохождения предыдущих пунктов оценки страницы, итог не было отрицательным.

Запретными группами считаются группы, пропагандирующие

- экстремистскую деятельность,
- социальную, расовую, национальную, религиозную ненависть и вражду,
- социальное, расовое, национальное, религиозное или языковое превосходство,
- суицид, наркоманию,
- другие запрещенные законом РФ противоправные действия.

Под запретными словами и словосочетаниями принимаются слова и словосочетания, связанные с экстремистской деятельностью, социальной, расовой, национальной, религиозной ненавистью, враждой, неравенством, суицидом, наркотиками и т.д.

При наличии запретных слов/словосочетаний или групп на странице потенциального заемщика выполняется передача соответствующих сведений в отдел кредитной политики, где дело клиента отмечается как рассмотренное, а решение относительно просьбы о выдаче кредита как «отказать в кредите».

После анализа данных по баллам соответствующим каждой графе шаблона пользовательской страницы и группировки итоговых сложенных значений, выполняется перерасчет кредитного коэффициента в соответствии с полученными результатами обработки социальной страницы заемщика. Исключением являются случаи, когда анализ дополнительных источников не дает необходимых результатов, например, итоговое количество баллов после анализа социальной страницы заемщика менее 30 или отрицательно. В таких ситуациях прирост конечного кредитного коэффициента не производится и данный шаг осознанно опускается.

После проверки дополнительных источников итоговый кредитный коэффициент заемщика банка, как результат анализа клиента, передается в отдел кредитной политики, где принимается окончательное решение о кредитоспособности клиента. В зависимости от полученных значений кредитным отделом будет устанавливаться возможный диапазон денежных средств, который можно выдать клиенту.

Процесс анализа альтернативного источника можно описать пошагово.

1) Анализ априорной ситуации, поиск необходимых начальных данных статистики организации. Поэтому пропускаем этот шаг (в дальнейшем при работе данной системы этот шаг будет опускаться.)
2) Констатация фактов. Переводим качества физического лица в индивидуальную характеристику потенциального заемщика, составляя его статистический портрет в вероятностных характеристиках из статистики первого сегмента «Плательщики» (для второго «Неплательщики»)
3) Расчет апостериорной вероятности причисления клиента к выбранному сегменту по формуле фактов (2) переопределения байесовской вероятностей на основе полученных факторов. На данном этапе возможен пропуск проверки информации из альтернативных источников, но по предположительным требованиям заемщика (коим является предоставление им личной информации) следующий шаг выполняется.
4) Анализ социальной страницы анализируемого субъекта. В таблице 1 отображен фрагмент анализа станицы пользователя для того, чтобы была ясна специфика работы методики.
5) Находим конечный кредитный коэффициент потенциального заемщика по формуле (3).

Таблица 1- **Фрагмент рейтинговой оценки социальной страницы заемщика**

Качество	**Категория качества**	**Баллы**
Возраст	Не указан	-5
Наличие страницы в «ВК» (возраст 18-50 лет)	Есть	20
Совпадение ФИО	Совпадает имя и фамилия	10
Наличие контактов	Skype	5
Пол	мужской	10
Количество друзей	65 (от 30 до 80)	15
….	…	…
	Итого	184 балла
	$k_{доп}$	~0,06

2 Разработка клиентоориентированной модели пакетного предложения банковских продуктов потенциальному клиенту банка

В рамках проводимого научного исследования производится разработка экспертной системы, которая позволит при обращении клиента в коммерческий Банк с целью оформления определенного банковского продукта или услуги определить потенциальную потребность клиента в дополнительном продукте (кросс-продукте).

Заключение

В разрабатываемой системе осуществляется оценка кредитоспособности потенциального заемщика банка с учетом данных из альтернативных источников и выбор кросс-продукта банка, предлагаемого клиенту в качестве дополнительного к запрашиваемому, используются алгоритмы, основанные на использовании формулы Байеса. Для построения оптимальных по быстродействию алгоритмов выбора кросс-продуктов в последствии планируется расширить математическую модель в соответствии с теорией вероятностных критериев, которая позволит обеспечить максимальную информационную производительность.

Список литературы

[1] Андреева Г.В. Скоринг как метод оценки кредитного риска [Электрон. ресурс]//Банковские технологии – Электронные данные ‑ Режим доступа: http://www.cfin.ru/finanalysis/banks/scoring.shtml

[2] Захарова О.И. Кораблин М.А. Множественность свойств как основа и механизм проверки гипотез //Научно-технический журнал «Информационные системы и технологии» № 4 (84) июль-август 2014, стр.37-44

[3] Захарова О.И. Кораблин М.А. Инкапсуляция свойств при решении задач проверки гипотез// Международный научно-технический журнал «Информационные технологии моделирования и управления», Издательство «Научная книга», № 2(86), май 2014

[4] Захарова О.И. Кораблин М.А. Инкапсуляция свойств как основа и механизм проверки гипотез о состоянии социальных и экономических объектов// Системы управления и информационные технологии (перспективные исследования), № 2(56), июнь 2014, 31-35

Biography

Zakharova Oksana Igorevna, PSUTI, Ph.D., Associate Professor of Department. EAST. Samara, Moscow highway 77, 8 (846) 228-00-21, xeniya-luna@list.ru

ОПИСАНИЕ МОДЕЛЕЙ И МЕТОДОВ РАЗРАБОТКИ АДАПТИВНОГО ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКОГО ИНТЕРФЕЙСА ТРЕХМЕРНЫХ МНЕМОСХЕМ В СОСТАВЕ СИСТЕМ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

А.Э. Зянчурин[1], А.В. Устинов[2]

[1]Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации РАН
199178, Санкт-Петербург, 14-я линия В.О., 39, Россия
spiiran@iias.spb.su
тел: +7 (812) 328-33-11

[2]Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения
190000, Санкт-Петербург, ул. Большая морская, 67, Россия
common@aanet.ru
тел: +7 (812) 710-65-10

Ключевые слова: *адаптивный пользовательский интерфейс, трехмерная визуализация, система поддержки принятия решения*

Abstract
In this paper, we describe and describe the models and methods for developing an adaptive user interface for 3D mnemonic schemes in the DSS. These methods are of particular relevance for man-machine systems in critical applications: rocket and space technology, nuclear and thermal power engineering, transport systems, etc. The algorithms for interaction of a human operator with a 3D mimic are considered.

Введение

Многие из современных разработок в области человеко-машинного взаимодействия направлены на максимальное слияние пользователя и интерфейса. Информационные технологии в области пользовательских интерфейсов имеют широкое применение от космической и оборонной промышленности, до медицинской и образовательной сфер. Так, например, в статье [1] рассказывается об интерактивной системе обучения, которая обеспечивает эффективное и естественное взаимодействие человека и компьютера, базирующаяся на речевых и мультимедийных технологиях.

Для построения наиболее эффективного диалога с пользователем начало развиваться направление многомодальных пользовательских интерфейсов. Данная идеология предполагает комплексное использование речевых, жестовых, мимических интерфейсов, телеуправления, контактное и бесконтактное управление [2]. Многомодальные пользовательские интерфейсы служат не только для упрощения процесса взаимодействия пользователя с интерфейсом, но и обеспечивают работу с ЭВМ для людей, имеющих физические ограничения, которые не могут полноценно работать с компьютером.

Передовые технологии все в большей степени задействуют трехмерное отображение информации о вычислительном процессе. Такое представление является более наглядным и может отразить вычислительный процесс, включая, даже мало заметные детали. В работе [3] 3D-визуализация играет немаловажную роль в схеме построения интерфейса бесконтактного управления и является одним из самых важных условий для его функционирования.

Если говорить о важности трехмерного отображения, то следует заметить, что перспектива использования данного направления является весьма широкой. Многие разработки, которые ведутся в промышленной, оборонной сфере не обходятся без использования 3D-визуализации. Не обходят вниманием трехмерное отображение и компании, занимающиеся голографическим

отображением, разрабатывающие системы автоматизированного проектирования (САПР) и другими перспективными направлениями. Одним из таких развивающихся направлений является космическая промышленность, где наглядность процесса и скорость выполнения задачи могут сыграть решающую роль. Таким образом, встает вопрос об эффективности взаимодействия между человеком-оператором и трехмерным изображением.

1 Требования к интерфейсу трехмерных мнемосхем

Для составления требований необходимо обратить внимание, прежде всего, на проблемные места процесса взаимодействия ЛПР с программным комплексом, в составе которого есть трехмерная визуализация.

Процесс управления СТО включает в себя обработку огромных объемов информации в режиме реального времени, что приводит к неспособности ЛПР оперативно оценить и обработать такое количество разнородной информации и сформировать адекватное управляющее воздействие [4]. Исходя из этого, необходимо составить такой список требований для пользовательского интерфейса, который позволит обеспечить эффективное взаимодействие ЛПР с вычислительной средой, что есть основная цель интерфейса трехмерных мнемосхем [5].

Для достижения этой цели должен быть сформирован следующий список требований, которые можно разделить на две большие группы [6]:

1) Взаимодействие с конечным пользователем.
- Максимально унифицировать процесс приобретения (извлечения) и пополнения знаний о предметной области.
- Оптимизировать круг функциональных возможностей конечного пользователя наполнением модели, исключив необходимость разработки алгоритмов.
- Приблизить структурные свойства модели представления знаний и реально существующего объекта анализа.
- Обеспечить возможности объяснения выводов и решений, сформированных в результате анализа измерительной информации.
- Повысить эффективность взаимодействия пользователя с интерфейсом и минимизировать ошибки при возникновении нештатных ситуаций.

2) Качество входной и выходной измерительной информации.
- Обеспечить получение результата анализа в условиях нечеткой, неопределенной (недоопределенной) исходной измерительной информации.
- Обеспечить уровень качества интерфейса и степень соответствия его интеллектуальных возможностей с экспертной системой, с которой он взаимодействует.

Из анализа источников по трехмерной визуализации можно составить следующий список проблемных моментов [1,2,3]:

- Низкая скорость получения данных по объекту сцены.
- Низкая степень информативности о функциональных возможностях трехмерной сцены.
- Низкая скорость обращения к интересующему объекту на сцене.
- Высокая сложность установления причин возникновения нештатной ситуации.
- Слишком широкий спектр задач для конкретного оператора.

Отсюда можно заключить, что проектируемый интерфейс должен либо устранять проблемные моменты, либо минимизировать их. Таким образом, интерфейс трехмерных мнемосхем должен:

- Отображать данные объекта сцены при обращении к нему.
- Отображать набор визуальных элементов, соответствующий функциональным возможностям.
- Отображать набор визуальных элементов, соответствующий каждому объекту на сцене.

- Отображать данные, соответствующие нештатной ситуации при её возникновении.
- Выводить только тот набор визуальных элементов, который соответствует задачам конкретного оператора.

2 Описание вычислительного процесса

В связи с высокой сложностью задач и большим объемом информации возникает необходимость формального описания вычислительного процесса. Построение моделей и разработка алгоритмов являются одними из самых важных процессов в проектировании сложных систем управления и мониторинга. За последнее время в описании сложных процессов зарекомендовали себя модели представления знаний (МПЗ).

С точки зрения вычислительного процесса пользовательский интерфейс является результирующим этапом, на котором происходит процесс отображения вычислительной информации. Таким образом, встает вопрос о визуальном представлении вычислительной информации. Проблема заключается в том, что ЛПР в ходе вычислительного процесса постоянно должен воссоздавать образ сложного объекта (СлО), что неблагоприятно сказывается на скорость принятия решения [7]. Следовательно, МПЗ должна максимально минимизировать подобного рода проблемы, влияющие на качество вычислительного процесса.

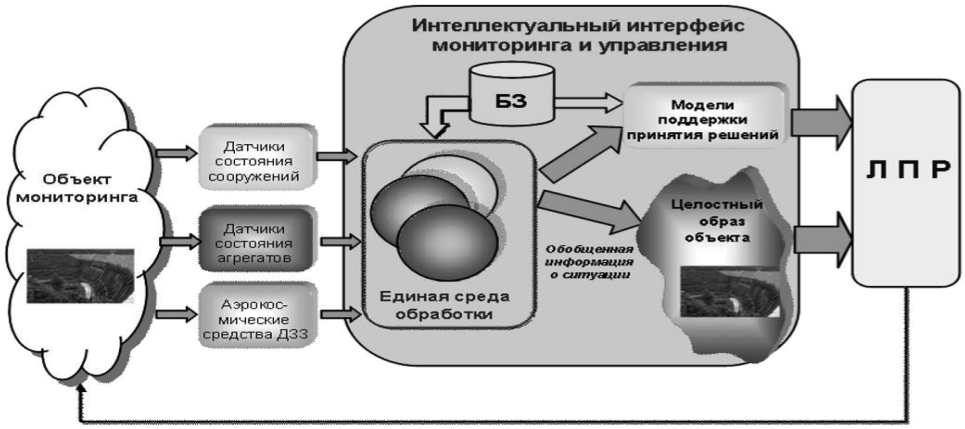


Рис. 1 – Схема вычислительного процесса наземно-космического мониторинга состояния СлО

На рис. 1 предлагается пример схемы вычислительного процесса [7] для наглядности. Блок «Целостный образ объекта» это есть в нашем случае трехмерная визуализация, для которой проектируется адаптивный пользовательский интерфейс. «Целостный образ объекта» и «Модели поддержки принятия решений» - это два блока, с которыми взаимодействует ЛПР, что указывает на их особую важность.

Трехмерная визуализация в данном проекте является составной частью автоматизированной системы анализа измерительной информации, которая использует в качестве модели представления знаний G-модели. Рассмотрим подробнее G-модели [6].

Определение G-модели. Вычислительной G-моделью будем называть кортеж вида [13].

(1) $M_G = < X, R_M, P_M, \Delta_M >$

где $X = \{x_i | i = 1, \dots, n\}$ – конечное множество переменных (параметров) технического состояния, характеризующих явления (процессы) из предметной области. Как указывалось выше, природа каждого из параметров, входящих в X, может иметь произвольную природу, поддающуюся наблюдению: это может быть и конечное символьное множество – алфавит, и множе-

ство целых чисел (как конечное, так и бесконечное), и континуальное множество действительных чисел, и т.п.;

R_M – конечное множество отношений на множестве параметров из X. Структура этого составного элемента будет описана ниже;

P_M – конечное множество предикатов, предметными переменными, в которых являются переменными из X;

Δ_M – отображение $R_M \rightarrow P_M$, ставящее в соответствие каждому отношению из R_M элемент из P_M.

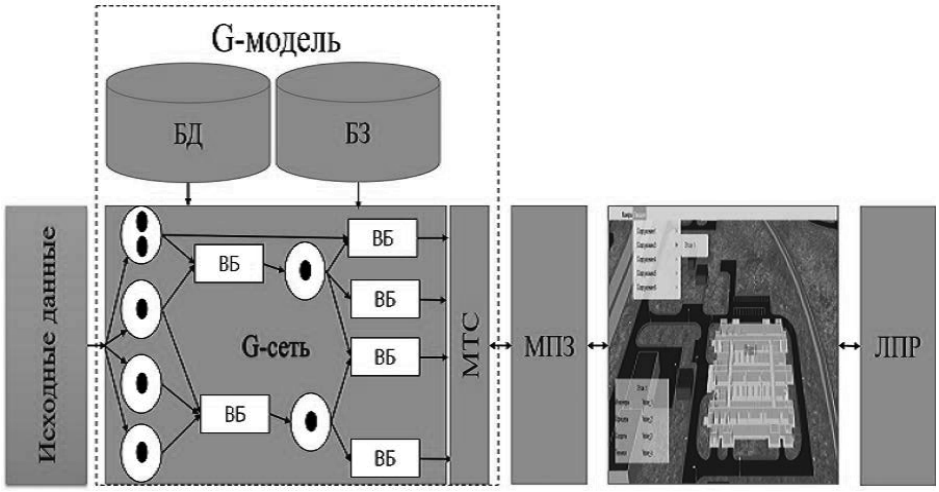


Рис. 2 – Схема вычислительного процесса с точки зрения взаимодействия G-модели с МПЗ адаптивного пользовательского интерфейса

Выходными данными G-модели являются параметры модели технического состояния (МТС). Это временной срез вычисляемых параметров, которые мы получаем в процессе мониторинга состояния СлО.

Из схемы на рис. 2 видно, что основная задача адаптивного пользовательского интерфейса трехмерных мнемосхем это, отображая вычисляемые параметры в 3D пространстве, помогать ЛПР выполнять свои задачи (принимать решения). Отсюда следует, что МПЗ, которая лежит в основе интерфейса должна формировать когнитивный образ модели технического состояния, выдавать наиболее важные из них в текущий момент времени.

3 Когнитивное моделирование, как основа проектирования интерфейса СППР.

В последнее время интенсивно набирает популярность интерактивная компьютерная графика (ИКГ). Её популярность обусловлена наглядностью и простотой использования в процессе взаимодействия человека с компьютером. Согласно Поспелову Д. А. интерактивная компьютерная графика несет в себе две функции [9]:

- Иллюстративную (визуальная адекватность, узнаваемость)
- Когнитивную (отображение в графическом образе внутреннее содержание объекта)

Адаптивный пользовательский интерфейс трехмерных мнемосхем является составной частью ИКГ-образа, создаваемого при 3D-визуализации. Его основное назначение – осуществлять поддержку принятия решений для ЛПР. Если учесть, что ИКГ-образ несет в себе не только иллюстративную функцию, но и когнитивную, то можно говорить о построении когнитивной карты принятия решений.

Когнитивная карта – метод в рамках когнитивного моделирования, в котором информация о системе, объекте, явлении содержится в виде набора понятий (фактов) и связывающей их причинно-следственной сети [10].

Составление когнитивной карты происходит по следующему алгоритму [11]:

1) Нахождение факторов-причин негативного влияния на проблемные факторы и определение типа проблем.
2) Определение структуры проблемной ситуации и группировка проблемных факторов.
3) Поиск факторов, которые могут в принципе изменить проблемную ситуацию, с учетом типов проблем.

Построение когнитивной карты позволяет получить новые знания о структуре проблемной ситуации, а также обнаружить проблемы, которые в неявном виде оказывает негативное влияние.

Когнитивная карта представляет собой картеж [11]:

(2) MS = <Kf (X, A, f); {ASp (Hpc, Hpu)}; C (XC, R(XC)); X (0); U (0)>

Kf (X, A, f) когнитивная карта, в которой *X = (x1, …, xn) = (Xint Xext)* множество факторов внутренней *(Xint)* и внешней среды *(Xext)* системы*; A = [aij]* матрица *NxN* взаимовлияний факторов, в которой *aij [–1; 1]* – вес влияния фактора *xi* на фактор *xj5*; *f* – функция, определяющая правило изменения значений факторов;

{ASp} множество активных субъектов, влияющих на слабоструктурированную ситуацию. Каждый *ASp* задан на подмножестве факторов *X*, включая факторы *Hpc*, характеризующие область его интересов, и факторы *Hpu*, которыми он управляет;

C – целевой образ слабоструктурированной ситуации, который определяет желательные направления изменения системы с позиции субъекта управления и формально представляется как *C = (XC, R(XC))*, где *XC* – подмножество целевых факторов, *XC Xint*;

R(XC) – вектор оценок динамики факторов (ОДФ), определяющий желательные направления изменения целевых факторов: 1, если желательно увеличение фактора, -1, если желательно уменьшение фактора; *X (0)* – вектор начальных значений; *U (0)* – вектор внешних воздействий.

Для дальнейшего исследования и применения когнитивного моделирования для практической задачи проектирования адаптивного интерфейса целесообразно разработать математические методы и алгоритмы адаптации математического аппарата когнитивных карт к математической базе G-модели и таким образом обеспечить синтез двух подходов и прийти к новому решению задач взаимодействия человеко-машинного интерфейса (ЧМИ).

Заключение

Проведенное исследование подтвердило актуальность разработки пользовательских интерфейсов с использованием трехмерного отображения. Однако, системный анализ моделей и методов, описывающих процессы человеко-машинного взаимодействия не завершен, что указывает на возможность внесения изменений, корректировок и дополнений к текущему списку наработок.

К настоящему моменту реализована программная платформа, реализующая адаптивный пользовательский интерфейс трехмерных мнемосхем, который содержит следующие возможности:

- Разработана система индикации выбранных элементов 3D-мнемосхемы, которую отражает разрабатываемый интерфейс.
- Разработана возможность сфокусироваться на выбранном объекте 3D-мнемосхемы.
- Разработана возможность переключения на все существующие камеры сцены, посредством панели, которая дает большую наглядность и большую доступность к данной опции.

- Разработана возможность дополнительного доступа для выбора отображения датчиков и камер на объектах 3D-мнемосхемы при открытии списка объектов сцены.
- Разработана таблица отображения данных элемента 3D-мнемосхемы.
- Разработана возможность фокусировки на элемент 3D-мнемосхемы, расположенного на любом уровне иерархии.
- Разработана возможность просмотра иерархии 3D-мнемосхемы.

Данный перечень разработок внедрен и на данном этапе проходит тестирование. Адаптивность, разработанного интерфейса реализуется по средствам редактора трехмерных мнемосхем, в котором имеется возможность задать нужный функционал или исключить вообще все продемонстрированные функции.

В процессе тестирования были выявлены положительные тенденции взаимодействия, которые выражаются в следующих пунктах:

- Появление возможности отображения данных объекта сцены при обращении к нему.
- Появление возможности отображения набора визуальных элементов, соответствующий функциональным возможностям.
- Появление возможности выводить только тот набор визуальных элементов, который соответствует задачам конкретного оператора.
- Минимизация времени выполнения одной операции пользователя.

Данные результаты в неполной мере соответствуют перечню требований к интерфейсу трехмерных мнемосхем, что означает необходимость проведения дальнейших исследований и внедрение соответствующих улучшений.

Список литературы

[1] Наденский Л. А., Абраменко А. Н., Васьковский С. В. Интерактивная система обучения на основе мультимедийных и речевых интерфейсных технологий. // 9-я Российская мультиконференция по проблемам управления. 2016. С. 824-830.

[2] Крючков Б. И., Карпов А. А., Усов В. М. Перспективные подходы к применению сервисных роботов в области пилотируемой космонавтики. // Труды СПИИРАН. 2014. Вып. 1(32). С. 125-151.

[3] Мальцев А. В., Михайлюк М. В., Крючков Б. И., Усов В. М. Жестово-голосовой интерфейс космонавта с группой автономных мобильных роботов для экстренного предотвращения их коллизий. // 9-я Российская мультиконференция по проблемам управления. 2016. С. 815-823.

[4] Охтилев М. Ю., Соколов Б. В., Юсупов Р. М. Интеллектуальные технологии мониторинга и управления структурной динамикой сложных технических объектов. М.: Наука, 2006. 410 с.

[5] Автомонов П. Н., Охтилев М. Ю., Соколов Б. В., Юсупов Р. М. Статья: «Актуальные научно-технические проблемы разработки и внедрения взаимосвязанного комплекса унифицированных интегрированных систем поддержки принятия решений в АСУ объектами военно-государственного управления.» / Известия ЮФУ. Технические науки, с. 14-26.

[6] Охтилев М. Ю. Монография. Основы теории автоматизированного анализа измерительной информации в реальном времени. Синтез системы анализа. / Военный инженерно-космический краснознаменный университет им. А. Ф. МОЖАЙСКОГО. 1999. – 161 с.

[7] Фролов Н. А. Анализ проблем управления сложными организационно-техническими системами // Вестник ОГУ №6 2007. С. 27-32.

[8] Майданович О. В., Охтилев М. Ю., Зеленцов В. А., Соколов Б. В., Юсупов Р. М. Интеллектуальные информационные технологии наземно-космического мониторинга сложных объектов: состояние и перспективы развития.

[9] Искусственный интеллект. – В 3-х кн. Кн. 2. Модели и методы: Справочник под ред. Д. А. Поспелова – М.: Радио и связь, 1990. – 304 с.: ил.

[10] Гулаков В. К., Лагерев Д. Г., Подвесовкий А. Г. Система поддержки принятия решений на основе когнитивного моделирования «Игла». // «Программные продукты и системы» №3. 2007. С. 103-104.

[11] Авдеева З. К., Коврига С. В. Диагностирование проблемных ситуаций в развитии сложных систем на основе когнитивных карт. // В сб. статей «Управление большими системами». Вып. 42. 2012. С. 5- 28.

МЕТОД МОНИТОРИНГА ПРОЦЕССА УПРАВЛЕНИЯ ПРОБЛЕМАМИ ИТ СИСТЕМ

Н.А. Калинина[1], А.Е. Шумский[2]

[1]Аспирант кафедры бизнес-информатики и экономико-математических методов,
690108, Приморский край, Владивосток г, Адмирала Угрюмова, 5,
totnmail@gmail.com

[2]Профессор кафедры менежмента, доктор технических наук, ДВФУ,
690066, Приморский край, Владивосток г, Шилкинская ул, дом № 21, кв.333,
shumsky@mail.primorye.ru

***Ключевые слова**: человеко-машинные системы, автоматизация, рабочие процессы, метод мониторинга, принятие решения.*

Abstract

In the article we consider the problem of creating mechanisms that are convenient for monitoring, allowing to make adjustments to the workflow before its completion and, thus, affect the final result. This is important when the wrong outcome of the workflow can lead to serious financial or human losses. Using the example of "IT Service Management Process", we propose a method that allows to solve the problem of monitoring the productivity of workflow in an organization.

В настоящее время актуализируется проблема управленческого контроля в организации. Она заключается в том, что в теории и практике менеджмента внимание в большей степени направлено на обоснованность принимаемых решений, чем на мониторинг их выполнения, и, как следствие, отмечается смещение внимания в сторону разработки планов и принятия решений в ущерб контролю их выполнения [1, 3].

Метод мониторинга выполнения рабочих процессов в организации разрабатывается с целью предотвратить появление незапланированных результатов [2]. Основой для создания нового метода послужили исследования в области человеко-машинных систем, в частности, данные контроля работы оператора транспортных систем [4], где актуальна проблема мониторинг «правильного» поведения оператора. Под «правильным» поведением понимается поведение, соответствующее установленному регламенту. Цель мониторинга – выявить возможности возникновения неожиданных ситуаций и классификация этих ситуаций в зависимости от уровня угрозы [4, 5].

Участников рабочего процесса в связи с повсеместной автоматизацией можно представить как операторов машин, в данном случае компьютерной техники [6, 7]. Поэтому для разработки метода мониторинга выполнения рабочих процессов в организации были применены качественные или количественные модели человеко-машинных систем. Предполагается, что при выполнении работ по регламенту всеми участниками процесса результат всегда будет удовлетворять поставленным целям данного процесса.

Идея разрабатываемого метода сводится к анализу данных, получаемых с автоматизированных систем, в частности систем мониторинга, и сопоставлению их с регламентом выполнения работ. Для реализации данной идеи необходимо обеспечить актуальность регламента выполнения работ и разработать механизм сопоставления данных системы мониторинга с регламентом выполнения работ.

Рассмотрим разработанный метод контроля выполнения рабочих процессов в организации, на примере «Процесса управления проблемами ИТ систем». Цель процесса управления проблемами - минимизация воздействия Инцидентов и Проблем на жизнедеятельность орга-

низации и предотвращение потенциальных Инцидентов, связанных с системными ошибками в IT инфраструктуре.

Описание «Процесса управления проблемами ИТ систем» представлено следующими характеристиками [8]: вход процесса, выход процесса, роли участников процесса, регламент выполнения работ.

Вход процесса:

1) Информация о зарегистрированные и устраненных инцидентах;
2) Информация об ИТ-инфраструктуре– элементы конфигурации и связи между ними;
3) Информация об элементах конфигурации от поставщиков и других источников информации;
4) Информация от системы мониторинга;
5) Информация об изменениях, проведенных и проводимых ИТ-службой.

Выход процесса:

1) Закрытые проблемы;
2) Обходные решения;
3) Запросы на изменения;
4) Регулярная Отчетность.

Краткое описание ролей процесса управления проблемами приведено ниже (Таблица 1).

Таблица 1 - Роли процесса управления проблемами

Роль	Описание
Владелец процесса	Отвечает за достижение процессом своих целей, за контроль качества процесса, за предоставление ресурсов для деятельности процесса.
Менеджер процесса	Отвечает за контроль эффективности работы процесса, и развитие средств автоматизации процесса, реализацию изменений направленных на улучшение процесса. Обеспечивает оперативное руководство процессом.
Координатор проблем/ошибок	Отвечает за координацию работы участников и групп участников процесса, корректность документирования действий по процессу устранения проблем. Участвует в выявлении проблем, обеспечивает организацию работ в рамках процесса. Координатором решения проблемы – является ответственный за ИТ-услугу, для которой данная проблема была выявлена.
Аналитик проблемы/ошибки	Отвечает за исследование и диагностику проблем в своей сфере ответственности, разработку рекомендаций и упреждающих действий.
Инженер ИТ подразделения	Принимает участие в работах, связанных с расследованием проблемы, поиском корневой причины, разработкой мер по устранению известных ошибок.

При описании регламента сразу определяются состояния процесса и функции перехода из одного состояния в другое для дальнейшей формализации «Процесса управления проблемами ИТ услуг».

Краткое описание регламента:

Шаг 1. Менеджер процесса регулярно просматривает в Системе записи об инцидентах. Все закрытые запросы, инциденты подлежат анализу и формирует задание (состояние S_1), которое за счет функции перехода i_1 передается Аналитику проблемы/ошибки (состояние S_2).

Шаг 2. Аналитику проблемы/ошибки составляет список возможных причин появления инцидентов и проверяет эти гипотезы для установления корневой причины, после того как ошибка идентифицирована ее решение передается Координатору проблем/ошибок (i_2) и сообщается Менеджер процесса управления проблемами (S_3) в противном случае отправляется на дополнительное исследование (i_3), задача возвращается в состояние S_2.

Шаг 3. Менеджер процесса вносит соответствующие отметки в систему мониторинга, затем передает согласованный план работ на исполнение (i_4).

Шаг 4. Инженер ИТ подразделения получает задание (состояние S_4) и после его выполнения сообщает менеджеру процесса управления изменениями о готовности (i_5).

Шаг 5. Менеджер процесса проверяет выполненные работы и в случае, если они нуждаются в доработке, отправляет данную информацию Аналитику (i_7); в случае, если работы выполнены в соответствии с планом, то закрывает работы (i_6).

Шаг 6. Работы выполнены (состояние S_6).

Формализуем «Процесс управления проблемами ИТ услуг» (табл. 2).

Таблица 2.Базовая модель «Процесса управления проблемами ИТ услуг»

	i_1	**i_2**	**i_3**	**i_4**	**i_5**	**i_6**	**i_7**
S_1	**S_2**	-	-	-	-	-	-
S_2	-	**S_3**	**S_1**	-	-	-	-
S_3	-	-	-	**S_4**	-	-	-
S_4	-	-	-	-	**S_5**	-	-
S_5	-	-	-	-	-	**S_6**	**S_1**
S_6	-	-	-	-	-	-	-

Построенная базовая модель дополняется событиями, которые не входят в регламент. Для примера взяты следующие события:

- когда Менеджер процесса передает задание не Аналитику, а Инженер ИТ подразделения i_1: S_1-> S_3 - неправильная функция перехода;
- когда Инженер ИТ подразделения не передает выполненные работы Менеджеру процесса, а сам закрывает работы i_5: S_4-> S_6 - неправильная функция перехода;
- когда Менеджер процесса отправляет результат проверки выполненной проверки Аналитику i_7: S_5-> S_2 - неправильная функция перехода;
- когда менеджер процесса в состоянии (S_3) отправляет выявленную проблему менеджер процесса в состоянии (S_1) i_8: S_3-> S_1 - неправильная функция перехода;
- когда менеджер процесса отправляет полученное согласованное задание обратно Аналитику i_8: S_3-> S_2 - неправильная функция перехода;
- когда Инженер ИТ подразделения отправляет полученное согласованное задание обратно менеджер процесса i_9: S_4-> S_1 - неправильная функция перехода;
- когда Инженер ИТ подразделения отправляет полученное и согласованное задание обратно Аналитику i_9: S_4-> S_2 - неправильная функция перехода.

Добавим данные события в базовую модель (табл. 3).

Таблица 3. Уточнённая модель «Процесса управления проблемами ИТ услуг»

	i_1	i_2	i_3	i_4	i_5	i_6	i_7	i_8	i_9
S_1	S_2 S_3	-		-	-	-	-	-	-
S_2	-	S_3	S_1	-	-	-	-	-	-
S_3	-	-	-	S_4	-	-	-	S_1 S_2	-
S_4	-	-	-	-	S_5 S_6	-	-	-	S_1 S_2
S_5	-	-	-	-	-	S_6	S_1 S_2	-	-
S_6	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Уточненная модель «Процесса управления проблемами ИТ услуг», представленная в табл. 2, состоит из «правильного» порядка действий и возможных «неправильных» действий. Однако нельзя утверждать, что данные «неправильные» действия направлены на причинение ущерба; возможны ситуации, что из-за непредвиденных причин не было возможности использовать «правильный» порядок действий.

Теперь сделаем преобразование уточнённой модели «Процесса управления проблемами ИТ услуг», приведем ее к детерминированному виду. Для этого с помощью преобразования, описанного в работе [4], сделаем блоки разбиения по непересекающимся подмножествам состояний и функций переходов. Проведем несколько последовательных итераций для выявления блоков разбиения. В первой итерации рассмотрим все состояния (S_1- S_6) по всем функциям перехода (i_1- i_9) и выявим первый блок разбиения $S^*_{1;}$ на второй итерации рассмотрим состояния S не вошедшие в блок разбиения S^*_1 и так повторим для всех состояний. Результат представлен в таблицах 3, 4.

Таблица 4. Блоки разбиения по непересекающимся подмножествам состояний и функций переходов

	i_1	i_2	i_3	i_4	i_5	i_6	i_7	i_8	i_9
S^*_1	S^*_1	S^*_1	S^*_1	-	-	-	S^*_1	S^*_1	S^*_1
S^*_2	-	-	-	S^*_2	-	-	-	-	-
S^*_3	-	-	-	-	S^*_3	S^*_3	-	-	-

Таблица 5. Состояния, включенные в каждый блок разбиения

	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5	S_6
S^*_1	+	+	+	-	-	-
S^*_2	-	-	-	+	-	-
S^*_2	-	-	-	-	+	+

Продемонстрируем использование преобразованной уточненной модели «Процесса управления проблемами ИТ услуг».

Итак, существует вероятность того, что одна (или более) функция перехода i будет применена в изменившихся условиях, которые не были спрогнозированы и отображены в уточненной модели, а следовательно, невозможно определить, приведёт ли дальнейшее выполнение рабочего процесса к «неправильному» результату. Используем преобразованную уточ-

ненную модель, представленную в табл. 3, для того, чтобы определить, влияют ли изменившиеся условия воздействия на результат рабочего процесса. Для этого проверим результат применения функции перехода i к состоянию S: если будет произведен переход в состояние, не соответствующее данным таблиц 3, 4, то изменившиеся условия оказывают «разрушающие» воздействия на результат процесса, в противном случае результат процесса будет соответствовать прогнозируемому.

Например: если из состояния S_1 по средствам функции перехода i_1 оказываемся в блоке разбиения S^*_2, то еще до завершения рабочего «Процесса управления проблемами ИТ услуг» можно утверждать, что результат выполнения процесса будет «неправильный». Если из состояния S_1 по средствам функции перехода i_1 оказываемся в блоке разбиения S^*_1, то результат рабочего процесс соответствует прогнозируемому.

Итак, метод мониторинга выполнения рабочих процессов в организации включает три этапа:

- этап создания базовой модели рабочего процесса в организации - учитывались только регламентированные работы, которые были названы «правильными» действиями;
- этап создания уточнённой базовой модели рабочего процесса в организации - учитывались «правильные» и «неправильные» действия. «Неправильные» действия – это реакция на ситуации, которые не были регламентированы, но данные ситуации можно предвидеть и продумать корректирующие действия;
- этап преобразования модели рабочего процесса в организации - предполагается возможность фиксирования и контролирования действий, которые не были регламентированы, и действий, которые невозможно предвидеть.

Таким образом, данный метод позволяет поддерживать в актуальном состоянии регламенты рабочих процессов в организации, а также прогнозировать «неправильный» результат выполнения рабочего процесса до момента появления результата, тем самым позволяя предпринимать превентивные воздействия на процесс.

Из вышеизложенного можно сделать вывод, что использование данного метода в организации способствует формированию дополнительных конкурентных преимуществ, а именно:

- поддержание в актуальном состоянии регламентов рабочих процессов в организации;
- способность прогнозирования «неправильного» результата выполнения рабочего процесса до момента появления результата.

А так же:

- сокращение количества инцидентов, возникающих в ит-инфраструктуре;
- сокращение времени решения инцидентов;
- увеличение количества инцидентов, решенных на первой линии поддержки;
- повышение эффективности взаимодействия с внешними поставщиками ит-услуг;
- минимизация негативного влияния инцидентов за счет заблаговременного выявления и предотвращения потенциальных проблем;
- снижение затрат на ит-инфраструктуру за счет принятие превентивных мер по повторяющимся инцидентам, связанным общими ошибками;
- повышение обоснованности запросов на изменение, связанных с критическими проблемами в ит-инфраструктуре.
- повышение качества предоставления и поддержания ит-сервисов.

Список литературы

[1] Ланская Д.В. Эволюция контроллинга. Научный журнал КубГАУ, 2013, № 93 [Lanskaya D.V. Evolution of controlling Scientific Journal of KubSA, 2013,no. 93]. Available at: http://cyberleninka.ru/article/n/evolyutsiya-kontrollinga-1 (accessed 13.01.2016).

[2] Калинина Н.А., Шумский А.Е. Разработка метода контроля выполнения рабочих процессов в организации. Естественные и математические науки в современном мире. 2016. № 38. С. 57-64. [Kalinina N.A., Shumsky A.E. Development of methods for the control of implementation workflow in the organization. Natural and Mathematical Sciences in the Modern World, 2016,no.38].

[3] Круглов Д.В. Эволюция контроллинга в контексте развития управленческих знаний. Проблемы современной экономики, 2010, № 2 [Krugloe D.V. Evolution of controlling in the context of the development of knowledge management The problems of the modern economy, 2010, no. 2] Available at: http://cyberleninka.ru/article/n/evolyutsiya-kontrollinga-v-kontekste-razvitiya-upravlencheskih-znaniy (accessed 15.12.2015).

[4] Berdjag, D., Vanderhaegena F., Shumsky A., Zhirabok A. Unexpected situations detection: a model-based approach for human machine systems. Preprint submitted to Control Engineering Practice, 2014, № 17, pp. 35-44.

[5] Berdjag, D., Vanderhaegena F., Shumsky A., Zhirabok A. Unexpected Situations Diagnosis: A Model-based Approach for Human Machine Systems. Preprint submitted to Control Engineering Practice, 2013, no. № 5, pp. 12-27.

[6] Smalko Zb. The man-machine type systems modeling approach. Journal of KONBiN, 2008, no. 5, pp. 24-35.

[7] Oborski, P. Man-machine interactions in advanced manufacturing systems. Warsaw University of Technology, 2013, no. 3, pp. 38–45.

[8] ITILv.3 Лучшие практики: Поддержка услуг. I-Tec. 2012. 418с. ITILv.3 Best practices: Support services. I-Tec. 2012. 418 p.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ DEA-МЕТОДА ДЛЯ СРАВНИТЕЛЬНОЙ ОЦЕНКИ РЕСУРСНОЙ ЦЕННОСТИ ОБЪЕКТОВ РАЗМЕЩЕНИЯ НЕФТЕСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ

Д.В. Каширских

Самарский государственный технический университет
Россия, 443110, г.Самара, ул.Молодогвардейская, 244

Ключевые слова: *отходы нефтеперерабатывающей промышленности, нефтешламы, ресурсная ценность, дифференциация объектов размещения, утилизация, data envelopment analysis*

Abstract

The article is devoted to the problem of comparative evaluation of the resource value of storage facilities for oil-containing wastes on the basis of data analysis of the physico-chemical composition of waste in order to differentiate resource sources in the analyzed group. Application of DEA (Data Envelopment Analysis) method allows to obtain a relative estimation of the resource value, i.e. it determines effectiveness of each particular object from the point of view of waste' secondary use with respect to all other objects of the analyzed set. An example of the application of the developed methodology to the problem of comparative evaluation of the resource value of a group consisting of nine waste storage facilities of the oil refining industry in the Samara region is given.

Введение

Для организации эффективной промышленной утилизации отходов необходимо решить задачу дифференциации (ранжирования) объектов их размещения (т.е. ресурсных источников), так как в первую очередь целесообразно утилизировать наиболее ценные и крупные объекты [1-4].

Ранжирование объектов хранения предлагается провести на основе сравнения их ресурсной ценности, под которой понимается количественная оценка химико-физического состава и свойств отходов, определяющая их степень пригодности для использования в качестве ресурса в технологиях вторичной переработки.

В статье рассматривается методика сравнительного анализа ресурсной ценности объектов хранения отходов, основанная на использовании DEA (Data Envelopment Analysis) метода.

Максимальную ресурсную ценность при таком анализе имеют объекты хранения отходов, для которых рассчитанная по DEA методу относительная оценка равна единице. При этом такая оценка означает не максимально возможную концентрацию в отходах данного объекта компонентов, пригодных для вторичной переработки, а наибольшую эффективность объекта с точки зрения вторичного использования отходов по сравнению с другими сопоставимыми ресурсными источниками анализируемой группы.

Достоинства рассматриваемого метода заключаются в отсутствии субъективного фактора при сравнении объектов с различными анализируемыми параметрами, а также в возможности сопоставлять при анализе объекты с параметрами, имеющими различный физический смысл и измеряемыми в различных единицах.

Использование DEA-метода для анализа объектов размещения отходов

Рассмотрим в качестве примера применения DEA-метода сравнительную оценку ресурсной ценности на основе данных о количественном и качественном составе отходов нефтепере-

рабатывающей промышленности в N=9 объектах размещения, представляющих собой амбары, илонакопители, нефтеловушки и нефтешламонакопители Самарского региона (таблица 1, [5]).

Представим набор k физических и химических параметров, характеризующих отходы в отдельном объекте размещения, как c_j, $j=\overline{1,k}$. Достаточная для оценки ресурсной ценности R степень полноты, характеризующая компонентный состав нефтесодержащих отходов, может быть представлена в виде матрицы-строки:

(1) $C=\left(c_1,\ \ ...,\ \ c_j,\ \ ...,\ \ c_k\right)$.

Тогда, в соответствии с (1), каждый n-ый объект размещения отходов, $n=\overline{1,N}$, представляется набором $C_n=\left(c_{nj}\right), j=\overline{1,k}$ значений физических и химических параметров компонентного состава отходов, содержащихся в данном объекте.

В силу сложной физико-химической природы нефтесодержащих отходов, в достаточно глубоких (несколько метров) объектах размещения происходит разделение отходов на слои, что необходимо учитывать при расчете ресурсной ценности одного объекта размещения.

С учетом этого, в общем случае компонентный состав отходов анализируемого n-го ресурсного источника, $n=\overline{1,9}$, может быть представлен в виде матрицы:

(2) $$P_n=\begin{pmatrix} p_{n11} & \cdots & p_{n1k} \\ \cdots & p_{nrj} & \\ p_{ns1} & \cdots & p_{nsk} \end{pmatrix}$$

где r, $r=\overline{1,s_n}$ - номер слоя, s_n – количество слоев n-ого ресурсного источника; p_{nrj}, $j=\overline{1,k}$ – численное значение j-ого элемента компонентного состава отходов в r-ом слое n-го ресурсного источника, k – количество анализируемых компонентов состава отходов.

Исходные данные по составу нефтесодержащих отходов [5], разделенных в анализируемых объектах хранения на 3 слоя, включают процентное содержание в единице массы слоя следующих пяти компонентов: 1) асфальтенов и смол, 2) минеральной части, 3) серы, 4) воды и 5) светлых нефтепродуктов. Следовательно, компонентный состав P_n отходов n-го объекта размещения анализируемой группы может быть представлен в виде (2) при $s=3$ и $k=5$.

Используя компонентный состав P_n в форме (2), было рассчитано средневзвешенное по слоям процентное содержание компонентов состава нефтешлама на n-ом объекте хранения отходов, в результате чего соответствующий компонентный состав P_n^m может быть представлен в виде матрицы-строки следующего вида (таблица 1):

(3) $P_n^m=\left[\ p_{n1}^m\ \ p_{n2}^m\ ...\ p_{n5}^m\ \right]$,

где $p_{nj}^m=\sum_{r=1}^{3} M_{nr}p_{nrj}\ /\ M_n;\ j=\overline{1,5}$ - средневзвешенное процентное содержание j-ого компонента состава отходов в n-ом объекте размещения; $M_{nr}=S_n h_{nr}\rho_{nr}$; $r=\overline{1,3}$ - масса отходов в r-ом слое n-ого объекта размещения (таблица 2), рассчитываемая с учетом h_{nr} - глубины каждого слоя (м); S_n - площади поверхности слоя (м^2) и ρ_{nr} - плотности отходов в конкретном слое (т/м^3) [5]; $M_n=\sum_{r=1}^{3} M_{nr}$ - общая масса отходов в n-ом объекте размещения.

Для базового варианта применения DEA метода, структура комплексного показателя ресурсной ценности $R_n, n=\overline{1,N}$ каждого анализируемого объекта формируется на основе m_{ex}

значений входных величин $X_{ni}, i=\overline{1,m_{вх}}$ и $m_{вых}$ выходных величин $Y_{nj}, j=\overline{1,m_{вых}}$ как отношение некоторого обобщённого (интегрального) выходного параметра к обобщённому входному параметру:

$$(4)\quad R_n=\frac{\sum_{j=1}^{m_{вых}} u_{nj}y_{nj}}{\sum_{i=1}^{m_{вх}} v_{ni}x_{ni}};\ u_{nj}\ge 0, j=\overline{1,m_{вых}};\ v_{ni}\ge 0,\ i=\overline{1,m_{вх}};n=\overline{1,N},$$

где $u_{nj}, j=\overline{1,m_{вых}}$ – неотрицательные весовые коэффициенты, характеризующие относительный вклад каждого из выходных факторов $Y_{nj}, j=\overline{1,m_{вых}}$ в комплексный показатель ресурсной ценности R_n, и, соответственно, $v_{ni}, i=\overline{1,m_{вых}}$ – неотрицательные весовые коэффициенты при входных величинах $X_{ni}, i=\overline{1,m_{вх}}$.

В составе отходов можно выделить элементы, характеризующие не пригодные для вторичного использования компоненты состава, вредные примеси и прочие химические и физические параметры, отрицательно влияющие на ресурсную ценность отходов анализируемой группы объектов хранения. Набор таких элементов может быть представлен в виде вектора $X=(x_i), i=\overline{1,m_{вх}},\ m_{вх}<k$ входных параметров модели объектов хранения отходов, где $m_{вх}$ - число входных параметров. Таким образом, выбор входных величин $x_i, i=\overline{1,m_{вх}}$ осуществляется так, чтобы уменьшение каждой из них приводило к повышению величины ресурсной ценности *R*, т.е. чтобы выполнялись условия:

$$(5)\quad \frac{\partial R(X)}{\partial x_i}<0,\ i=\overline{1,m_{вх}}.$$

Аналогично в составе отходов $C=(c_j),\ j=\overline{1,k}$ (1) можно выделить элементы, характеризующие компоненты состава, пригодные для вторичного использования, и прочие химические и физические параметры, характеризующие полезные элементы, положительно влияющие на ресурсную ценность отходов анализируемой группы объектов хранения. Набор таких параметров может быть представлен в виде вектора $Y=(y_j), j=\overline{1,m_{вых}},\ m_{вх}+m_{вых}\le k$ выходных параметров модели объектов хранения отходов, где $m_{вых}$ - число выходных параметров.

Выбор выходных величин $y_j, j=\overline{1,m_{вых}}$ осуществляется таким образом, чтобы каждая из них характеризовала положительный фактор при оценке ресурсной ценности *R* исследуемых объектов, т.е. чтобы выполнялись условия:

$$(6)\quad \frac{\partial R(Y)}{\partial y_j}>0,\ j=\overline{1,m_{вых}}.$$

Таким образом, выбор отрицательно влияющих на ресурсную ценность входных величин $X_{ni}, i=\overline{1,m_{вх}}$ осуществляется так, чтобы увеличение каждой из них приводило к снижению величины ресурсной ценности, а выбор выходных ве-

личин $Y_{nj}, j=\overline{1,m_{вых}}$, наоборот, осуществляется таким образом, чтобы увеличение каждой из них приводило к росту ресурсной ценности. В общем случае, в качестве входных и выходных параметров, входящих в X и Y, могут рассматриваться величины, измеряемые в разных физических единицах и имеющие совершенно различный физический смысл.

При оценке ресурсной ценности существенное значение имеет отношение массы светлых нефтепродуктов $M_n^{св}$ к суммарной массе вредных примесей и воды $M_n^{вр}$, являющееся положительно влияющим на ресурсную ценность фактором (таблица 1).

Тогда модель объекта размещения отходов может быть представлена в виде блока (рис. 1), имеющего на входе вектор $X_n=(X_{ni}=p_{ni}^m), i=\overline{1,4}$ параметров, отрицательно влияющих на ресурсную ценность, а на выходе – вектор $Y_n=(Y_{nj}), j=\overline{1,2}$ факторов, положительно влияющих на ресурсную ценность: $Y_{n1}=p_{n5}^m; Y_{n2}=M_n^{св}/M_n^{вр}$ (таблица 1).

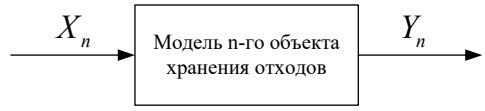


Рисунок 1 – Модель *n*-го объекта хранения отходов для оценки его сравнительной ресурсной ценности

Согласно DEA методу, для сравнительной оценки ресурсной ценности каждого из N=9 объектов хранения отходов Самарского региона формулируются и последовательно решаются задачи математического программирования для $n=1,2,...,N$, каждая из которых может быть записана следующим образом:

$$(7)\quad R_n(X_n, Y_n)=\frac{\sum_{j=1}^{2} u_{nj}Y_{nj}}{\sum_{i=1}^{4} v_{ni}X_{ni}} \to \max_{(U_n, V_n)\in G};$$

$$(8)\quad \text{при } \frac{\sum_{j=1}^{2} u_{nj}Y_{nj}}{\sum_{i=1}^{4} v_{ni}X_{ni}} \le 1;\ u_{nj}\ge 0,\ j=\overline{1,2};\ v_{ni}\ge 0,\ i=\overline{1,4},$$

где $V_n=(v_{ni}),\ i=\overline{1,4};\ U_n=(u_{nj}),\ j=\overline{1,2}$ - векторы весовых коэффициентов при входных и выходных параметрах, соответственно, *n*-го объекта хранения.

Имея информацию об относительной оценке ресурсной ценности R_n каждого из 9 объектов можно соответствующим образом проводить их ранжирование, т.е. дифференцировать ресурсные источники анализируемой группы по эффективности использования отходов каждого объекта в качестве ресурсов для вторичной промышленной переработки. В рассматриваемом случае можно выделить четыре подгруппы объектов хранения, имеющих сопоставимую ресурсную ценность:

- 1-ая подгруппа: объекты хранения с высокой относительной ресурсной ценностью от 90% до 100% (№№ 1-3,5 таблица 2);
- 2-ая подгруппа: объекты хранения со средним уровнем сравнительной ресурсной ценности от 75% до 89% (№№7 таблица 2);

- 3-я подгруппа: объекты хранения с низким уровнем относительной ресурсной ценности от 50% до 74% (№№ 4,6,8 таблица 2);
- 4-я группа: объекты хранения отходов, применение которых в качестве вторичных ресурсов нельзя считать целесообразным, т.е. объекты с относительной ресурсной ценностью ниже 50% (№ 9 таблица 2).

Полученные результаты позволяют формировать эффективные управленческие решения относительно утилизации отходов, размещаемых в анализируемой группе объектов.

Заключение

Рассмотренный в статье подход позволил дифференцировать объекты хранения отходов Самарского региона по степени их пригодности для использования в качестве вторичных ресурсов переработки, которая, в свою очередь, определялась с помощью оценки ресурсной ценности, рассчитываемой на основе данных о количественном и качественном физико-химическом компонентном составе отходов.

На основе DEA-метода проведена сравнительная оценка ресурсной ценности анализируемой группы, включающей 9 объектов хранения нефтесодержащих отходов Самарского региона, что позволило выделить подгруппы объектов с высокой, средней и низкой ресурсной ценностью, а также подгруппу объектов, применение которых в качестве вторичных ресурсов нельзя считать целесообразным.

Таблица 1 - Параметры объектов размещения отходов

№ п/п, n	Наименование объекта размещения отходов	Входные параметры модели X_{ni}, $i=1,2,3,4$				Выходные параметры модели Y_{nj}, $j=1,2$	
		Средневзвешенное содержание компонентов нефтешлама на объекте размещения отходов, %/т					Отношение массы светлых нефтепродуктов к общей массе примесей и воды, $M_n^{св} / M_n^{ер}$
		Асфальтены, смолы, p_{n1}	Минеральная часть, p_{n2}	Сера, p_{n3}	Вода, p_{n4}	Светлые нефтепродукты, p_{n5}	
1	Илонакопитель №9	4,56	3,82	1,01	57,76	42,50	0,74
2	Нефтеловушка №1	20,71	2,71	1,36	9,54	65,92	1,93
3	Нефтеловушка №2	5,31	0,75	1,35	53,75	40,85	0,69
4	Нефтеловушка №3	8,68	1,49	1,29	57,69	35,58	0,55
5	Нефтешламовый накопитель №1	19,41	3,97	1,14	12,60	67,41	2,07
6	Нефтешламовый накопитель №2	13,27	14,97	1,00	23,08	48,63	0,95
7	Нефтешламовый накопитель №3	21,40	6,12	1,05	24,69	48,98	0,96
8	Нефтешламовый накопитель №4	17,17	9,03	0,59	44,99	29,32	0,41
9	Дрип на газопроводе	7,14	2,45	1,03	69,13	16,23	0,19

Таблица 2 - Массы слоев в объектах размещения отходов и интегрированная DEA оценка

№ п/п, n	Наименование объекта размещения отходов	Масса слоя, т			**Интегральная DEA – оценка** R_n
		Верхний слой	Средний слой	Нижний слой	
1	Илонакопитель №9	2208,9	2359,5	1278,2	**1**
2	Нефтеловушка №1	71,9	121,3	106,9	**1**
3	Нефтеловушка №2	107,1	195,8	146,0	**1**
4	Нефтеловушка №3	225,6	400,0	533,7	**0,5605**
5	Нефтешламовый накопитель №1	3656,8	544,9	815,7	**1**
6	Нефтешламовый накопитель №2	1373,2	1143,8	589,9	**0,6043**
7	Нефтешламовый накопитель №3	1459,5	1189,2	641,4	**0,751**
8	Нефтешламовый накопитель №4	1453,5	1248,0	787,2	**0,6012**
9	Дрип на газопроводе	15,3	185,3	15,5	**0,28**

Достоинства рассматриваемого метода заключаются в отсутствии субъективного фактора при сравнении объектов с различными анализируемыми параметрами, а также в возможности сопоставлять при анализе объекты с параметрами, имеющими различный физический смысл и измеряемыми в различных единицах.

Необходимо отметить, что DEA–методика даёт относительную, а не абсолютную оценку ресурсной ценности, т.е. она определяет, насколько каждый конкретный объект эффективен с точки зрения вторичного использования по отношению ко всем другим объектам анализируемого множества, что определяет ключевую особенность рассмотренного подхода.

Список литературы

[1] Быков Д.Е. Комплексная многоуровневая система исследования и переработки промышленных отходов: Дис. докт. техн. наук: 03.00.16 / СамГТУ и СГАСА. - Самара, 2004 г. – 303 с.

[2] Мазлова Е.А., Мещеряков С.В. Проблемы утилизации нефтешламов и способы их переработки. – М.: Издательский дом «Ноосфера», 2001. – 56 с.

[3] Мухтаров Я. С., Суфиянов Р. Ш., Дашков В. А. Анализ источников образования нефтесодержащих отходов. /Вестник Казанского технологического университета. 2012. -Т. 15. -№ 17. -С. 220-223.

[4] Пряничникова В.В., Бикбулатов И.Х., Бахонина Е.И. Рекультивация нефтешламовых амбаров с использованием геомембранной пленки и нефтезагрязненных почв//Башкирский химический журнал. - 2013. -Т.20, №1. -С. 22-27.

[5] Ермаков В.В. Классификация нефтешламонакопителей и прогнозирование процесса биодеструкции отходов при их ликвидации: Дис. канд. техн. наук: 03.00.16 / ГОУ ВПО «СамГТУ». – Самара, 2010. – 132 с.

КОМБИНИРОВАННАЯ ПРЕЦЕДЕНТНАЯ МОДЕЛЬ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ И ЕЁ ПРИМЕНЕНИЕ В ЭКСПЕРТНЫХ СИСТЕМАХ ДЛЯ СЛОЖНЫХ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

А.В. Крылов[1], П.А. Охтилев[1], А.Д. Бахмут[2]

[1]Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации РАН
199178, Санкт-Петербург, 14 линия, 39, Россия
spiiran@iias.spb.su
тел.: +7 (812) 328-34-11

[2]Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения
190000, г. Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 67. лит.А., Россия
k43@guap.ru
тел: +7 (812) 494-70-43

Ключевые слова: *экспертные системы, прецедентная модель, сложные организационно-технические объекты*

Abstract

The article examines the role of the use of precedent methodology in expert systems when making a decision for managing complex organizational and technical objects. The definitions of the expert system and the precedent model are given. The possibilities of managing complex organizational and technical objects on the basis of a precedent methodology and an expert system are considered. The analysis of combining of an expert system with a precedent model for managing various objects having complex organizational and technical components is carried out.

Введение

На современном этапе развития объекты управления всё больше принимают сложный, неоднозначный характер. При этом они постоянно модернизируются, улучшаются, делаются более универсальными, усложняется их организационная, техническая и особенно информационная составляющие, что в свою очередь, приводит и к усложнению процесса управления этими объектами [1].

При большом количестве данных и информации о подлежащих управлению сложных организационно-технических объектах (СОТО), а так же об окружающей их среде, должностные лица соответствующих систем управления (СУ) становятся не в состоянии оперативно оценить все аспекты сложившейся обстановки и принять правильное, обоснованное решение в короткие сроки, особенно с учётом дальнейшего развития ситуации. Этот процесс принятия управленчесих решений значительно усложняется при повышении требований к качеству принимаемых управленческих решений. Чем выше ответственность за принимаемые решения, тем в более качественной оценке нуждаются все составляюшие процесса принятия решения.

На помощь операторам в таких ситуациях приходят системы поддержки принятия решения (СППР), задача которых и состоит в оказании помощи лицам, принимающим решение, осуществить полный и объективный анализ динамически изменяющейся обстановки, а также прогноз её развития, особенно при решении слабо формализованных задач.

Одно из направлений развития систем автоматизации процессов выработки управленческих решений связано с моделированием процессов человеческого мышления,

которое получило название «Искусственный интеллект» [1-3]. Важнейшей составной частью искусственного интеллекта считаются экспертные системы (ЭС), представляющие класс компьютерных информационных систем, основанных на работе со знаниями.

1 Экспертные системы

Экспе́ртная систе́ма (англ. expert system) – компьютерная система, способная частично заменить специалиста-эксперта в разрешении проблемной ситуации.

ЭС выполняют классификацию, проводят анализ, осуществляют прогноз, выдают советы, дают консультации. Они ориентированы на решение задач, требующих как правило проведения экспертизы человеком-специалистом. В отличие от машинных программ, использующий процедурный анализ, ЭС решают задачи в узкой предметной области на основе дедуктивных рассуждений. Такие системы зачастую находят решение слабо формализованных задач. Они справляются с отсутствием полной формализации решаемых задач путем привлечения эвристик, что сказывается положительным при недостатке необходимых знаний, времени, а также возможности проведения полного анализа складывающейся обстановки [3].

Экспертные системы используются в СППР для повышения производительности и качества принимаемых решений.

Экспертная система в СППР реализует следующие функции [1-3]:

- распознавание сложившейся ситуации;
- анализ ситуации;
- формирование последовательности выводов и их объяснение;
- формулирование ближайших целей для возвращения на желаемую траекторию развития объекта управления;
- построение путей достижения сформулированных целей с учетом резервов объекта управления;
- пополнение базы знаний;
- обеспечение дружественного интерфейса.

Главное достоинство ЭС состоит в возможности накапливать знания, хранить их необходимое время, обновлять и, тем самым, обеспечивать относительную независимость организации от наличия в ней квалифицированных специалистов. Накопленные знания позволяют осуществлять обучение специалистов, тем самым повышать их квалификацию, используя наилучшие, проверенные решения.

Экспертные системы имеют следующие особенности [3].

1) ЭС ограничена определенной предметной областью.
2) ЭС способна "рассуждать" при сомнительных исходных данных.
3) ЭС способна "объяснить" цепочку сделанных ею рассуждений. Этот механизм использует знания, необходимые для объяснения того, каким образом система пришла к данному решению.
4) Факты и механизм (программа) формирования выводов четко отделены друг от друга.
5) Построение ЭС осуществляется с учётом возможности ее наращивания и модернизации.
6) В результате работы ЭС формируется диагноз, рекомендация, совет, как нужно поступать в конкретной ситуации или предположение о том, что произошло с объектом.

Преимущества экспертных систем по сравнению с использованием опытных специалистов состоят в следующем:

- достигнутая компетентность не утрачивается, может документироваться, передаваться, воспроизводиться и наращиваться;
- имеют место более устойчивые результаты, отсутствуют эмоциональные и другие факторы человеческой ненадежности;

- высокая стоимость разработки уравновешивается низкой стоимостью эксплуатации, возможностью копирования, а в совокупности они дешевле высококвалифицированных специалистов.

Претворение экспертных систем в жизнь стало возможным только с появлением первых ЭВМ [4].

До XX века разрабатываемые ЭС основывались только на базе данных и базе знаний, заложенными в них экспертами предметной области. В начале 2000-х, когда резко возросли возможности по использованию на ПЭВМ большого объёма памяти, а её стоимость существенно снизилась, произошел прорыв в применении ЭС. На этом фоне стали развиваться экспертные системы, которые при наличии больших ресурсов для хранения информации в своей Базе знаний стали хранить не только логические правила, а уже и результаты действий реальных людей с учётом информации об успешности результатов их деятельности. По такой информации стали создавать базу результативности действий или так называемую «Базу прецедентов», а экспертные системы, использующие в составе базы знаний ещё и базу прецедентов стали называть - «Прецедентные экспертные системы» (ПЭС).

В общем понимании «Прецедент» можно определить как единичную запись предыдущего опыта. При этом какая именно информация содержится в такой записи, зависит от предметной области и целей использования прецедента.

В этом случае могут применяться рассуждения по прецедентам (case-based reasoning, CBR) – лежащие в основе метода формирования умозаключений, опирающегося не на логический вывод от исходных посылок (логические рассуждения), а на поиск и анализ случаев формирования подобных умозаключений в прошлом [5].

При применении CBR-метода для решения прикладных управленческих задач прецедент содержит, по меньшей мере, постановку задачи и способ ее решения. Множество всех прецедентов, накопленных в процессе работы CBR-метода, формируют информационное хранилище, называемое «Базой прецедентов».

Применение ПЭС позволило уменьшить число диагностируемых параметров, а использование факторного анализа в сочетании с возможностями новейших процессоров - автоматизировать практически все функции системы.

Положительные тенденции применения ПЭС на практике способствуют дальнейшему их внедрению в практическую деятельность и стремительно превращают их из дорогостоящих мелкосерийных разработок в базовый инструмент повседневного использования различными организациями.

При всех своих достоинствах для потребителя, прецедентные экспертные системы непросты в изготовлении и включают значительные базы знаний и прецедентов.

Для примера, в базах ПЭС Нью-Йоркской полиции насчитывается – 786 тысяч прецедентов, в базе Сингапурской биржи – 618 тысяч.

Подобные системы в мире самостоятельно изготавливает менее трех десятков фирм, а на их создание уходит не менее 5 лет [4-6].

Судя по публикациям, руководители, аналитики и специалисты разных предметных областей, работающие с современными прецедентными экспертными системами, практически едины во мнении, что ПЭС в состоянии решать такие задачи, которые в принципе невозможно решить с помощью иных программ, например, прогноз состояния рынка в реальном времени, выявление скрытых негативных факторов в организации и т.д. [6]

Такие системы приходят к своим решениям во многом на основе человеческих наблюдений и фактически, наряду с математическими алгоритмами, используют человеческую логику для принятия решений. И в этом их огромное и принципиальное преимущество.

2 Прецедентный подход

Рассуждения на основе прецедентов основываются на накоплении опыта и последующей адаптации решения известной задачи к решению новой. Прецедентный подход позволяет упростить процесс принятия решений в условиях временных ограничений и при наличии различного рода неопределенности в исходных данных и экспертных знаниях, а также в случае возникновения различных нештатных (аномальных) ситуаций.

Модели, использующие для своих рассуждений базу прецедентов (БП) называются прецедентными моделями.

В общем случае прецедентная модель включает:

1) описание ситуации;
2) решение для данной ситуации;
3) результат применения решения [7].

Из описания модели представления прецедента возникают и возможности данной модели по осуществлению прогнозирования результатов управления (результатов принятия решения).

Методы рассуждения на основе прецедентов включают в себя четыре основных этапа, образующие так называемый CBR-цикл, представленный на рисунке 1 [8].

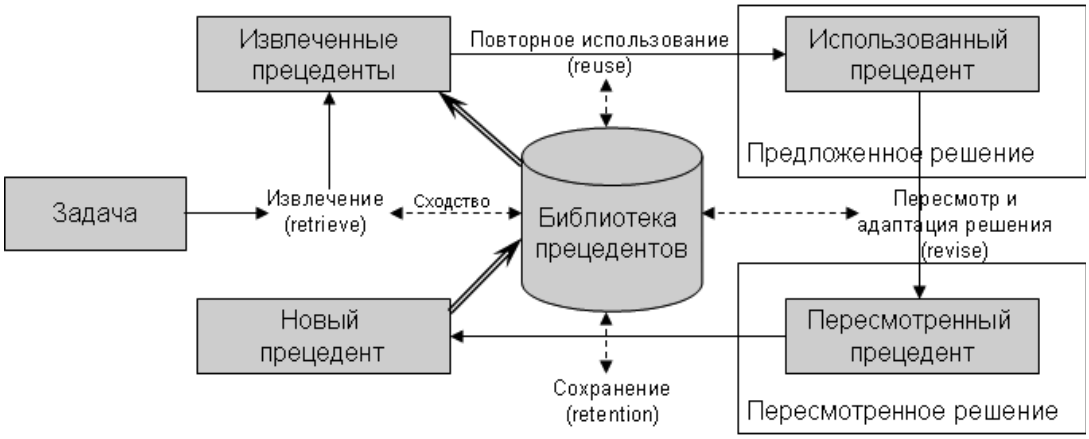


Рисунок 1 – Процесс использования прецедентов при решении новой задачи

В соответствии с рисунком 1 процесс использования прецедентов осуществляется следующим образом:

1) При возникновении определённой задачи осуществляется поиск и извлечение наиболее соответствующего (подобного) прецедента (или прецедентов) для сложившейся ситуации из БП программным средством на основе методов поиска решений в базе прецедентов. В зависимости от предметной области и используемого метода поиска решений в базе прецедентов, применяются различные метрики сравнения текущей ситуации с ситуациями из БП.
2) Осуществляется повторное использование извлеченного прецедента для решения текущей задачи (проблемы) при выполнении условий сходства.
3) При частичном невыполнении условий сходства осуществляется пересмотр и адаптация решения по выбранному прецеденту (или набору прецедентов) в соответствии с условиями текущей задачи (проблемы).
4) Из новых условий и адаптированного под них решения имеющегося прецедента (прецедентов) формируется новый прецедент, который сохраняется в базе прецедентов.

При использовании прецедентной модели в ЭС возникают некоторые проблемы интерпретации данных и знаний, хранящихся в базе прецедентов. Наибольшие затруднения вызывают этап извлечения прецедентов и этап их адаптации к текущим условиям обстановки.

2.1 Методы поиска решений в базе прецедентов

Существует целый ряд методов поиска решений на основе прецедентов (извлечения прецедентов) и их модификаций [8], например, метод ближайшего соседа; метод извлечения прецедентов на основе деревьев решений; метод извлечения прецедентов на основе знаний; метод извлечения с учетом применимости прецедента.

Рассмотрим более подробно содержание перечисленных методов.

1) Метод ближайшего соседа (NN – NearestNeighbor) - это самый распространенный метод сравнения и извлечения прецедентов. Он позволяет довольно легко вычислить степень сходства текущей проблемной ситуации и прецедентов из БП системы. С целью определения степени сходства на множестве параметров, используемых для описания прецедентов и текущей ситуации, вводится определенная метрика. Далее в соответствии с выбранной метрикой определяется расстояние от целевой точки, соответствующей текущей проблемной ситуации, до точек, представляющих прецеденты из БП, и выбирается ближайшая к целевой точка.

Метод определения ближайшего соседа (ближайших соседей) также широко применяется для решения задач классификации, кластеризации, регрессии и распознавания образов.

Классифицируемый объект относится к тому классу, которому принадлежат ближайшие к нему объекты обучающей выборки.

В методе ближайшего соседа объяснения предлагаемой классификации выглядят весьма разумно: «Объект u отнесён к классу $У_i$ потому, что к этому же классу относится близкий объект обучающей выборки x_i». Такая «прецедентная» логика хорошо понятна экспертам во многих предметных областях.

Основными преимуществами данного метода являются простота реализации и универсальность в смысле независимости от специфики конкретной проблемной области. К существенным недостаткам метода можно отнести сложность выбора метрики для определения степени сходства и прямую зависимость требуемых вычислительных ресурсов от размера БП, а также низкую эффективность при работе с неполными исходными данными.

На практике применяются различные модификации указанного метода.

Обычно решение выбирается на основе нескольких ближайших точек (соседей), а не одной (метод k ближайших соседей).

2) Метод извлечения прецедентов на основе деревьев решений предполагает нахождение требуемых прецедентов путем сравнения ситуаций на каждом из разветвлений дерева, вершинами которого являются прецеденты из БП. Каждая вершина дерева указывает, по какой ее ветви следует осуществлять дальнейший поиск решения. Выбор ветви осуществляется на основе информации о текущей проблемной ситуации.

Для решения данной задачи необходимо добраться до концевой вершины, которая соответствует одному или нескольким прецедентам. Если концевая вершина связана с некоторым подмножеством прецедентов, то тогда для выбора наиболее подходящего из них может использоваться метод ближайшего соседа. Такой подход рекомендуется применять для больших БП, т.к. основная часть работы по извлечению прецедентов выполняется заранее на этапе построения дерева решений, что значительно сокращает время поиска решения.

3) Метод извлечения прецедентов на основе знаний позволяет учесть знания экспертов по конкретной предметной области (коэффициенты важности параметров, выявленные зависимости и закономерности и др.) при извлечении прецедентов из БП. Этот метод может успешно применяться совместно с другими методами извлечения прецедентов для

обеспечения меньшего поля выборки, особенно когда БП имеет большие размеры, и предметная область является открытой и динамической.

4) Метод извлечения с учетом применимости прецедентов.

В большинстве систем, использующих механизмы рассуждений на основе прецедентов, предполагается, что наиболее схожие с текущей проблемной ситуацией прецеденты являются наиболее применимыми в этой ситуации.

Однако это не всегда так. В основе метода извлечения с учетом применимости прецедентов лежит то, что извлечение прецедентов базируется не только на их сходстве с текущей проблемной ситуацией, но и оценке результативности применения найденного прецедента для текущей ситуации. Таким образом, на выбор извлекаемых прецедентов влияет возможность их применения в конкретной ситуации. В некоторых системах эта проблема решается путем сохранения прецедентов вместе с комментариями по их применению. Использование указанного подхода позволяет сделать поиск решения более эффективным, заранее отбрасывая часть заведомо неперспективных прецедентов.

2.2 Адаптация прецедентов к текущей ситуации

По набору формальных признаков производится поиск схожей или идентичной ситуации в базе знаний, при этом:

- если идентичная ситуация найдена, то алгоритм выхода из нее предлагается в качестве решения текущей проблемы (адаптации подлежит только временной параметр);
- если найдена ситуация, отклоняющаяся по формальным признакам от идентичной ситуации ниже порогового уровня (который вычисляется как сумма формальных признаков, помноженная на весовые коэффициенты признаков), то исследуется возможность адаптации прецедента из базы знаний к текущей ситуации с использованием правил базы знаний;
- если схожая ситуация не найдена или адаптация невозможна, к решению проблемы подключается эксперт предметной области или же решение данной ситуации передаётся СППР без учёта БП, после чего найденное решение проблемы формализуется и новый прецедент вносится в базу знаний;
- если в процессе поиска находится несколько прецедентов, удовлетворяющих условиям выборки, необходимо, либо уточнить набор входных параметров, чтобы выявить наиболее подходящий прецедент, либо адаптировать извлечённые прецеденты к текущей ситуации, что приведёт к нахождению некоего нового прецедента, условия которого будут наиболее близки к условиям текущей ситуации. В этом случае решения по прецедентам из базы так же преобразуются в новое решение для нового прецедента с весовыми коэффициентами схожести условий каждого из прецедентов и новыми условиями.

В качестве достоинств систем, основанных на прецедентах, можно отметить:

- сокращение трудоемкости приобретения новых знаний, поскольку описывать прецеденты проще, чем программировать правила;
- обучение системы происходит на основе добавления новых прецедентов, а не изменения или добавления новых правил.

Недостатки систем, основанных на прецедентах:

- необходимость строго отслеживать правильность оформления прецедентов, в противном случае может произойти «засорение» базы знаний;
- необходимость разработки методов поиска, однозначно идентифицирующих подходящие прецеденты.

Сохранение опыта

Результатом выполнения поиска и адаптации является решение текущей проблемы. Чтобы замкнуть цикл решения проблемы и пополнить знания системы, необходимо сохранить текущий прецедент в БП. По результатам реализации решения по новому прецеденту осуществляется оценка его качества, которая так же приобщается к описанию прецедента для дальнейшего учёта. Обучение экспертной системы на прецедентах осуществляется на основе наблюдения за ответной реакцией при реализации решения по прецеденту. Отрицательные результаты имеют одинаковый вес для ПЭС, что и прецеденты с положительным качеством решений. Система должна понимать, что при принятии неправильных решений получается отрицательный результат.

При использовании прецедентной модели в экспертных системах, расширяются возможности по многовариантному прогнозированию состояния объекта управления ввиду наличия у прецедентной составляющей результата его применения в прошлом.

Экспертное прогнозирование при этом использует хорошо зарекомендовавший себя математический аппарат прогностики, однако данный аппарат является лишь вспомогательным вычислительным инструментом.

Заключение

Использование прецедентной модели при построении экспертных систем управления сложными организационно-техническими объектами привносит дополнительные возможности по повышению оперативности принятия решений, их адекватности, а также прогнозированию. Экспертные системы, работающие с базами прецедентов, предоставляют широкие возможности при выработке управленческих решений, опираясь на опыт, накопленный в базе прецедентов. Конечно, для адекватности выдаваемых решений по сложившейся ситуации необходимо наличие больших баз прецедентов конкретной предметной области, что требует достаточно большого ресурса времени для их создания.

Таким образом, применяя прецедентную модель в экспертных системах возможно:

1) Существенно сократить время на принятие решения.
2) Повысить адекватность принимаемых решений в отсутствии достаточного запаса времени на оценку обстановки.
3) Осуществить прогноз ситуации, а также состояния СОТО после выдачи на него управляющего воздействия.

Благодарности

Исследования, выполненные по данной тематике, проводились при финансовой поддержке ведущих университетов Российской Федерации: СПб ГПУ (мероприятие 6.1.1), ИТМО (субсидия 074–U01), Программы НТС Союзного государства «Мониторинг-СГ» (проект 1.4.1-1), грантов РФФИ (№№15-07-08391, 15-08-08459, 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), госзадания Министерства образования и науки РФ №2.3135.2017/К, в рамках бюджетных тем №№0073–2014–0009, 0073–2015–0007, 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] Крылов А.В. «Проактивное управление и его применение при управлении сложными организационно-техническими объектами» // Сборник докладов. Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения. 2016. часть II. (220-224)

[2] Информационные системы оперативного управления [Электронный ресурс] – Режим доступа http://studme.org/31908/menedzhment/informatsionnye_sistemy_operativnogo_upravleniya, свободный.

[3] Экспертные системы [Электронный ресурс] – Режим доступа http://www.studfiles.ru/preview/400100, свободный.

[4] Залюбовский И. «Компьютерный инструментарий инновационного менеджмента» // Управление персоналом. 2000. № 1. (6 – 11).

[5] Планирование на базе рассуждений по прецедентам [Электронный ресурс] – Режим доступа http://ai-center.botik.ru/planning/index.php?ptl=materials/071cbp.htm, свободный.

[6] Инструментарий инновационного менеджмента [Электронный ресурс] – Режим доступа http://igorzal.ru/instrumentariy-innovacionnogo-menedzhmenta, свободный.

[7] Зо Лин Кхаинг; Ар Кар Мьо; Варшавский П.Р.; Алехин Р.В. «Реализация прецедентного модуля для интеллектуальных систем» // Программные системы и продукты. 2015. № 2. (26-31).

[8] Варшавский П.Р., Алехин Р.В. «Метод поиска решений в интеллектуальных системах поддержки принятия решений на основе прецедентов» // International Journal "Information Models and Analyses" Vol.2 / 2013, Number 4 (385-392).

СИТУАЦИОННОЕ УПРАВЛЕНИЕ, КАЧЕСТВО ЖИЗНИ И ЭВЕРГЕТИКА

Л.В. Массель

Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН
664033, Иркутск, ул. Лермонтова, 130, Россия
massel@isem.irk.ru
тел: +7 (3952) 500-646*441, факс: +7 (3952) 496-796

Ключевые слова: *эвергетика, ситуационное управление, критические инфраструктуры, качество жизни, интеллектуальные технологии, семантическое моделирование, когнитивное моделирование*

Abstract

In the article the author propose to consider situational management as one of the mechanisms for implementing of evergetics - a science of management based on the notion of good. A modern interpretation of situational management is given, the concept of which was proposed by D.A. Pospelov in the 70-80s. of last century. The concept of the quality of life, which is the result of the synthesis of objective and subjective indicators (the standard of living and the attitude of the individual to his material, social, cultural level - his level of well-being) is considered. A comparison of the main provisions of evergetics and situational management is made, the possibility of using situational management as one of the mechanisms for realizing of evergetics is justified. It is proposed to consider the quality of life as one of the factors determining the effectiveness of recommended management solutions.

Введение

В последнее время автор обосновывает идею конвергенции исследований критических инфраструктур, качества жизни и безопасности. Как развитие этой идеи, предлагается рассмотреть ситуационное управление как один из механизмов реализации эвергетики - науки об управлении, основанной на понятии блага, развиваемой В.А. Виттихом. Дается современная трактовка ситуационного управления, концепция которого была предложена Д.А. Поспеловым в 70-80х гг. прошлого века, излагаются полученные под руководством автора результаты в области исследований энергетики и рассматриваются перспективы применения этой концепции для поддержки принятия стратегических решений по развитию интеллектуальных энергетических систем, основанные на развитии инструментальных средств интеллектуальных технологий, в частности, семантического моделирования (онтологического, когнитивного, событийного и вероятностного). Рассматривается понятие качества жизни, являющегося результатом синтеза объективных и субъективных показателей (уровень жизни и отношение индивидуума к своему материальному, социальному, культурному уровню - уровню своего благополучия). Отмечается, что в интегральном показателе качества жизни до сих пор не учитывается обеспеченность потребителей энергоресурсами (электричество, тепло, топливо (горючее)). Предлагается включить эту характеристику в интегральный показатель качества жизни и применять когнитивное моделирование для получения этого показателя. Проводится сопоставление основных положений эвергетики и ситуационного управления, обосновывается возможность использования ситуационного управления как одного из механизмов реализации эвергетики. Предлагается рассматривать качество жизни как один из факторов, определяющих эффективность рекомендуемых решений при управлении, а интеллектуальные технологии (семантическое моделирование и технологии обоснования рекомендуемых решений) - как инст-

румент реализации управления, учитывающего понятие блага (благополучия) индивидуума и общества.

1 Критические инфраструктуры

Критической инфраструктурой называется часть гражданской инфраструктуры, представляющая собой совокупность физических или виртуальных систем и средств, важных для государства в такой мере, что их выход из строя либо уничтожение может привести к губительным последствиям в области обороны, экономики, здравоохранения и безопасности нации Исследования критических инфраструктур являются достаточно молодым направлением, но становятся приоритетными во многих странах мира, и в первую очередь в США [1]. Актуальность этих исследований усугубляется угрозами кибернетической безопасности. К критическим инфраструктурам относят энергетику, транспорт, службы по чрезвычайным ситуациям, банковский и финансовый, телекоммуникационный сектора экономики и другие жизненно важные ресурсы [2]. Под энергетической инфраструктурой, которую относят к критически важным инфраструктурам, понимают совокупность энергетических объектов и систем энергетики, включая энергетические транспортные магистрали. В последнее десятилетие за рубежом активно обсуждается и развивается концепция Smart Grid или, в переводе на русский, «интеллектуальных энергетических систем - ИЭС» [3]. В России также анонсирована необходимость организации работ по развитию «умных энергосистем» и ведутся соответствующие исследования. Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН (ИСЭМ СО РАН) является одним из лидеров в этой области исследований.

В исследованиях критических инфраструктуру большое внимание уделяется выявлению ключевых объектов (или их совокупности), воздействие на которые может оказать наиболее негативный эффект на отрасль экономики, ключевой ресурс или всю инфраструктуру, а также в оценке последствий подобного воздействия и разработке механизмов снижения таких рисков. Методы выявления критически важных объектов основываются преимущественно на экспертных оценках. В энергетике одним из важных критериев является учет снижения производства энергоресурсов при выведении из строя критически важного объекта, например [4].

Наряду с применением в ИЭС уже ставших традиционными методов искусственного интеллекта (нейронные сети, генетические алгоритмы, нечеткая логика), все большее внимание энергетиков привлекают так называемые «системы с целеполаганием». Это интеллектуальные системы управления, которые имеют несколько целей функционирования (или умеют генерировать эти цели), выбирая самую подходящую цель в зависимости от окружающей среды, умеют прогнозировать поведение окружающей среды и свое собственное состояние. Пока такие системы отсутствуют, как в энергетике, так и в других критических инфраструктурах России. Автор считает, что для систем с неполной информацией и высокой сложностью объекта управления, какими являются критические инфраструктуры, все более актуальным является применение методов ситуационного управления, основанных на интеллектуальных технологиях [5], и развитие семиотического подхода к построению интеллектуальных систем в рамках этого направления [6].

Учитывая тесную взаимосвязь и взаимовлияние критически важных объектов, выход из строя одного из них может привести к развитию каскадных аварий и глобальным негативным последствиям (примеры приведены в [7]). Автор полагает, что одним из критериев ранжирования критически важных объектов должен быть учет качества жизни, которое неизбежно снижается при нарушении функционирования таких объектов.

2 Качество жизни

Категория «качество жизни» впервые была введена в научный оборот в 60-х годах прошлого столетия в связи с попытками моделирования зарубежными исследователями траекторий

промышленного развития. Существует много различных определений качества жизни, но наиболее полно это понятие раскрыто в контексте здравоохранения. Согласно определению, принятому ВОЗ, качество жизни - это восприятие индивидами их положения в жизни в контексте культуры и системе ценностей, в которых они живут, в соответствии с целями, ожиданиями, нормами и заботами.

Качество жизни понимают, как совокупность объективных и субъективных параметров, характеризующих максимальное количество сторон жизни человека, его положение в обществе и удовлетворенность им. На рис. 1 приведена схема составляющих качества жизни согласно определению Всемирной организации здравоохранения [8]. Из рисунка видно, что качество жизни определяется не только финансовым благополучием, но еще учитывает состояние защищенности, здоровье, положение человека в обществе и, главное, его собственную оценку всех этих факторов. Интегральный показатель качества жизни обобщает показатели здоровья, социально-личностного благополучия и благосостояния.

Под руководством автора выполняется работа, в которой обосновывается, что получение интегрального показателя с помощью строгих математических методов затруднено. Предлагается привлекать для этой цели методы искусственного интеллекта, а именно, когнитивное моделирование – одно из направлений семантического моделирования [9]. Кроме того, в исследованиях качества жизни в интегральном показателе качества жизни [10] до последнего времени не учитывалось влияние обеспеченности энергоресурсами, в то время как дефицит энергоресурсов может оказать существенное влияние, как на уровень, так и на качество жизни. Предложено включать в число индикаторов качества жизни внешние факторы, в частности, степень обеспеченности энергетическими ресурсами [11].

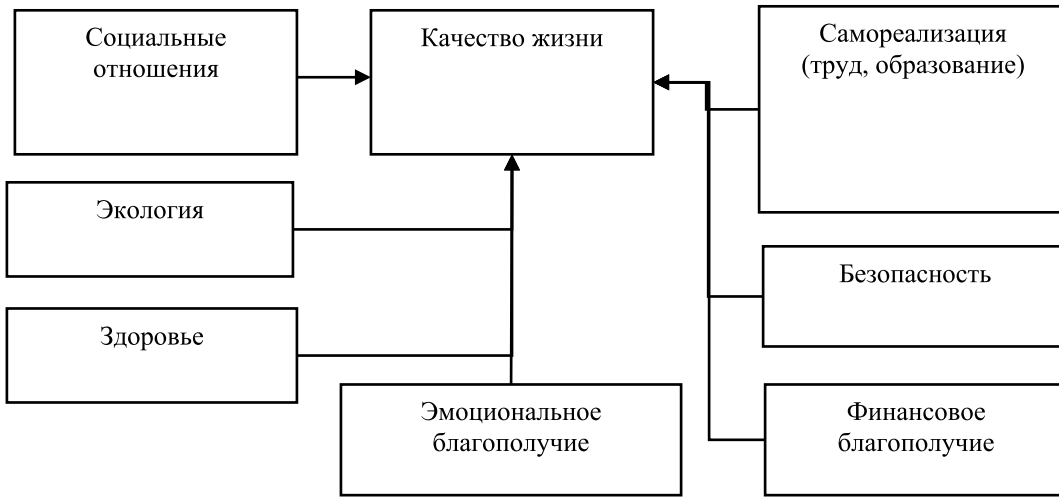


Рисунок 1 - Качество жизни согласно определению ВОЗ

3 Использование семантического моделирования при определении интегрального показателя качества жизни

Семантическое моделирование представляет одно из современных направлений искусственного интеллекта и связано с описанием предметной области с помощью концептов (базовых понятий) и отношений между ними. В авторском коллективе разрабатываются такие виды семантического моделирования, как онтологическое, когнитивное, событийное и вероятностное [12]. *Онтологическое моделирование* используется для классификации концептов пред-

метной области. *Когнитивное моделирование* позволяет выявить причинно-следственные отношения между концептами (факторами) и вклад факторов, например, в формирование угроз энергетической безопасности.

Под когнитивным моделированием понимается построение когнитивных моделей, или, иначе, когнитивных карт (ориентированных графов), в которых вершины соответствуют факторам (концептам), а дуги – связям между факторами (положительным или отрицательным), в зависимости от характера причинно-следственного отношения. Связь является положительной, если увеличение (уменьшение) одного концепта приводит соответственно, к увеличению (уменьшению) другого. Если увеличение концепта, наоборот, вызывает уменьшение другого - связь отрицательная. Математическим аппаратом для построения когнитивных моделей является теория графов.

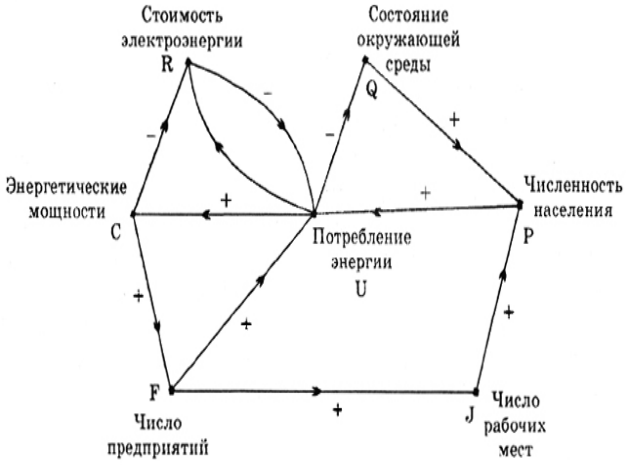


Рисунок2 - Когнитивная карта Аксельрода

Когнитивные карты как метод исследования были впервые предложены в 1976 г. Р. Аксельродом для моделирования, анализа ситуации и принятия решения в ситуациях с высокой степенью неопределенности. На рис. 2 приведена уже ставшая «классической» когнитивная карта Аксельрода.

Для нас она интересна тем, что она включает как факторы, входящие в интегральный показатель качества жизни, так и факторы, связанные с обеспеченностью энергоресурсами.

На рис. 3 приведена когнитивная карта индикаторов качества жизни согласно общепринятой в этих исследованиях методике SF-36 [10] (все связи положительные). После обработки (анализ связей и введение весовых коэффициентов) когнитивная карта приобретает вид, приведенный на рис. 4. Обозначения к рис. 3-4:

- PF (Physical Functioning) - физическое функционирование.
- RP (Role-Physical Functioning) - ролевое функционирование, обусловленное физическим состоянием.
- BP (Bodily pain) – интенсивность боли.
- GH (General Health) – общее состояние здоровья.
- VT (Vitality) – жизненная активность.
- SF (Social Functioning) – социальное функционирование.
- RE (Role-Emotional) - ролевое функционирование, обусловленное эмоциональным состоянием.
- MH (Mental Health) – психическое здоровье.
- PHC (Physical health) – общий компонент физического здоровья.
- MHC (Mental health) – общий компонент психического здоровья.
- QoL (QualityofLife) – интегральный показатель качества жизни.
- СОЭр – степень обеспеченности энергетическими ресурсами.

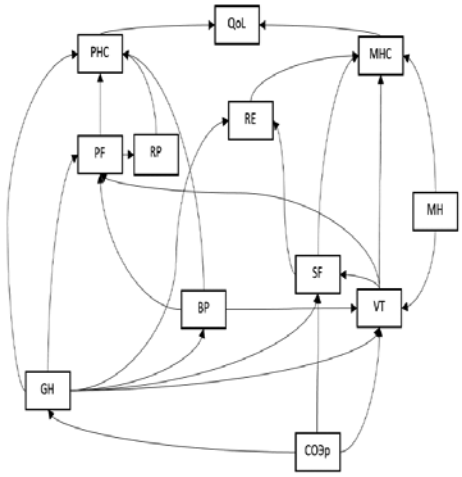


Рис. 3. Когнитивная карта индикаторов качества жизни согласно методике SF-36 (все связи положительные)

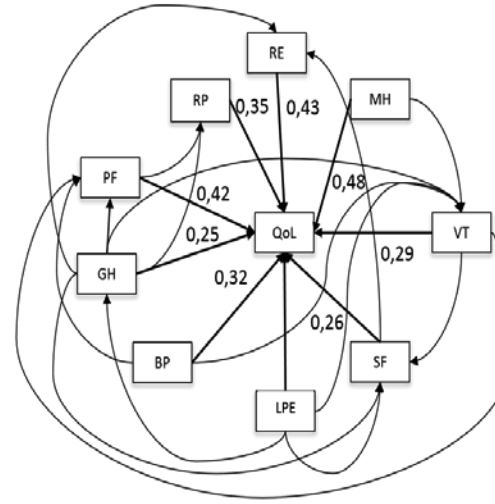


Рис. 4 Когнитивная карта структуры качества жизни согласно методике SF-36 после обработки (все связи положительные)

Выполненные исследования подтвердили возможность применения когнитивного моделирования для получения интегрального показателя качества жизни с использованием семантического моделирования, а также целесообразность включения в число индикаторов качества жизни дополнительного индикатора обеспеченности энергетическими ресурсами.

4 Основные положения эвергетики

Самарским ученым В.А. Виттихом выполнено обоснование и становление новой науки управления – эвергетики [13]. В отличие от классической науки о процессах управления в обществе эвергетика является ***ценностно-ориентированной наукой, объектом которой является ситуация, осознаваемая как проблемная,*** группой неоднородных акторов, имеющих различные точки зрения, интересы и ценностные предпочтения.

Эвергетика исходит из того, что человек – актор, выполняющий не только познавательные, но и деятельностные функции, осознает себя вместе с другими акторами в некоторой проблемной ситуации, требующей урегулирования. ***Проблемная ситуация*** в повседневной жизни характеризуется тем, что людьми, «погруженными» в нее, осознается неудовлетворенность, неопределенность, напряженность состояния и возникает потребность в управлении или регулировании ситуации. Если участник проблемной ситуации принимает участие в ее урегулировании, он становится актором. ***Участники ситуации*** – неоднородные акторы имеют субъективное видение ситуации, но, договариваясь между собой, определяют приоритетные направления развития ситуации, формулируют задачи, устанавливают критерии и ограничения.

Используется также понятие интерсубъективности, введенное немецким философом Эдмундом Гуссерлем. ***Интерсубъективным*** названо такое субъективное знание, которое люди, осознающие себя в общей для них ситуации, признают истинным для решения своих практических задач благодаря достигнутому соглашению. Интерсубъективность предполагает, что ни один из субъектов взаимодействия не может единолично вершить свою волю в ситуации, где затрагиваются интересы других участников [14].

В реальной практике управление сводится к деятельности органов государственного и корпоративного управления, которые находятся не в «жизненном мире», а в «мире систем». Возникает противоречие: люди (акторы), осознающие себя в проблемной ситуации, совместно продуцирующие ее смысл, оказываются отторгнутыми от постановки задач, принятия решений и оценки их результатов. В основе такого традиционного подхода к процессам управления лежат классические научные представления об «управлении системами».

Делается вывод, что наука о процессах управления должна иметь две составляющие – классическую науку, занимающуюся управлением в мире систем, и науку о процессах управления в повседневности, изучающую процессы регулирования проблемных ситуаций, включающих человека с его индивидуальными, интеллектуальными и волевыми ресурсами, ценностными приоритетами, а также способностью достигать взаимопонимания с другими людьми.

Сформулирована концепция интерсубъективного управления, в котором ставка делается на ненасильственные способы принятия решений, ориентированные на достижение взаимопонимания и консенсуса неоднородных акторов. Акторы взаимодействуют между собой и образуют сообщества, в которых в режиме on-line вырабатывают интерсубъективные знания о ситуации и принимают решения о ее урегулировании, т.е. осуществляют интерсубъективное управление и выступают в роли «обыденных управленцев-теоретиков» наряду с научными работниками-управленцами, создающими для акторов методы и средства.

Системы, реализующие управление и созданные поначалу для удовлетворения потребностей общества, со временем начинают действовать в своих интересах, вырабатывать и диктовать свои правила игры. Интерсубъективное управление призвано минимизировать эти негативные явления путем включения в процессы управления «противовеса» – заинтересованных людей из мира повседневности. С этой целью создается наука о процессах интерсубъективного управления в обществе – эвергетика.

В целом эвергетика направлена на повышение роли культуры в жизни общества и трансформацию целе- рационального «экономического человека» в коммуникативно рационального «человека культуры».

При обсуждении эвергетики, с одной стороны, приходилось встречаться с мнениями, что управление с точки зрения «блага» - утопическая теория, т.к. не существует понятия «общего блага». С другой стороны, все возрастающий интерес к показателю «качество жизни» и возможностям применения его в междисциплинарных исследованиях позволяют рассматривать его, как минимум, как составляющую «общего блага».

5 Сопоставление основных понятий ситуационного управления и эвергетики

Автор полагает, что ситуационное управление может стать одним из механизмов реализации эвергетики. Рассмотрим основные понятия ситуационного управления и соспоставим их с понятиями эвергетики.

Основы ситуационного управления были заложены Д.А. Поспеловым и его учениками [15]. Авторы используют современную трактовку ситуационного управления, сформулированную их уфимскими коллегами [16].

Под текущей ситуацией C понимается совокупность текущего состояния объекта (вектор состояния X) и его внешней среды (вектор возмущений F). Тогда $C = < X, F >$.

Вводится понятие полной ситуации:

$S = < C, G >$, где C – текущая ситуация, G – цель управления. В свою очередь, цель управления G может быть представлена в виде целевой ситуации Gg , к которой должна быть приведена имеющаяся текущая ситуация. Тогда $S =<C, Gg >$.

Полагая, что текущая ситуация C принадлежит некоторому классу Q', а целевая (заданная) ситуация Gg – классу Q'', ищется такое управление (вектор управляющих воздействий

U), которое принадлежит множеству допустимых управлений **Ωu** и обеспечивает требуемое преобразование одного класса ситуаций в другой:

$$C \in Q' \xrightarrow{U \in \Omega_u} G_g \in Q''$$

Современное состояние и тенденции развития ситуационного управления рассматривались авторами в ряде работ, в частности, в [17-18]. Под руководством и при участии авторов был выполнен онтологический инжиниринг проблемы ситуационного управления в энергетике [19]. В результате онтологического инжиниринга построена система онтологий, которая включает метаонтологию ситуационного управления, метаонтологию пространства знаний в области ситуационного управления, онтологии ситуаций, ситуационного анализа и ситуационного моделирования.

Метаонтология ситуационного управления приведена на рис. 5.

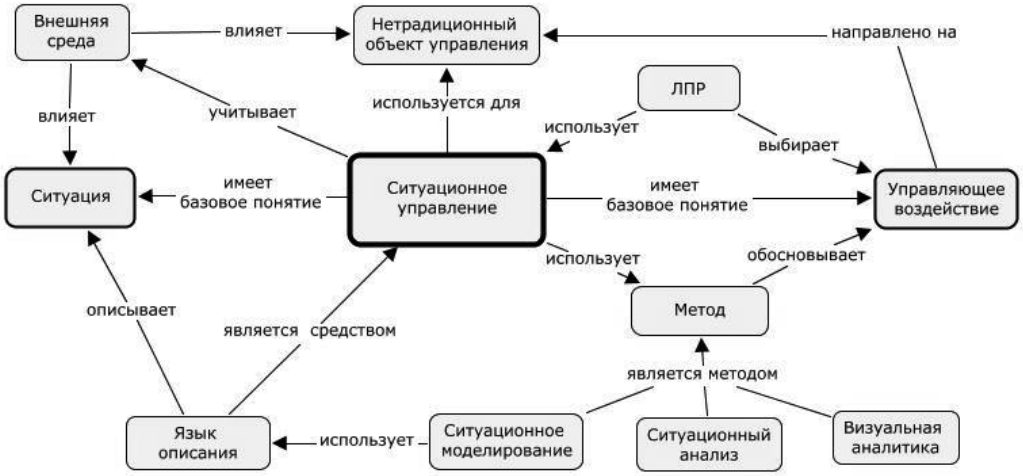


Рисунок 5 – Метаонтология ситуационного управления

Таким образом, ситуационное управление, так же, как и эвергетика, использует понятие ситуации и применяет управляющие воздействия для урегулирования критических ситуаций. Рассматривая вопрос, может ли ситуационное управление стать одним из путей реализации эвергетики, можно привести следующие доводы «за»:

1) эксперты, привлекаемые к ситуационному управлению – тоже люди повседневности (акторы);
2) экспертные суждения – это живые знания;
3) эксперты-акторы знают проблему (осознают проблемную ситуацию) и предлагают пути решения, но, как правило, не имеют механизмов и средств их реализации;
4) акторы вырабатывают интерсубъективные знания, формируют единое смысловое пространство и определяют основные направления решения проблемы, отвечая на вопросы «что надо делать?» и «зачем?» .

Следует заметить, что концепция «коллективного принятия решений» сейчас также активно обсуждается. Например, В.И. Протасовым [20-21] развивается идея «коллективного разума», основные положения которой перекликаются с эвергетикой.

Инструментальные средства поддержки ситуационного управления и направления их развития для поддержки принятия стратегических решений в энергетике рассматривались в ряде публикаций, и, в частности, в [22-23].

Заключение

Изменение ситуации в мире и явное отставание традиционных принципов управления от потребностей практики требуют развития новых идей, одной из которых является эвергетика. Безусловно, ее реализация предполагает не только разработку методических и инструментальных средств, но и привлечение к управлению лучших представителей человечества – передачу управления в руки «человека культуры». Несмотря на кажущуюся на первый взгляд «утопичность» этого утверждения, следует заметить, что «технократическая» наука начинает осознавать, что сейчас недостаточно только рациональных критериев развития, основанных на максимизации прибыли. Например, одним из условий реализации «умных» городов является наличие «умного» правительства и «умных» жителей, а все возрастающий интерес к исследованиям «качества жизни» показывает, что не все определяется только уровнем жизни – материальными показателями.

Представляется, что развиваемая автором идея о необходимости конвергенции исследований в области критических инфраструктур, качества жизни и безопасности, в которой предлагается использовать показатель «качество жизни» при определении и ранжировании критически важных объектов, согласуется с целями эвергетики, а разработанные под ее руководством подход и инструментальные средства ситуационного управления, а также средства поддержки коллективной экспертной деятельности [24] могут быть использованы, как механизм реализации новой науки управления.

Благодарности

Результаты, представленные в статье, получены при частичной финансовой поддержке гранта грантов РФФИ №15-07-01284, № 16-07-00474, № 16-07-00569.

Список литературы

[1] Кондратьев А. Современные тенденции в исследовании критической инфраструктуры в зарубежных странах http:// pentagonus.ru/publ/ soremnnye_tendencii_v_issledovanii_kriticheskoj_infrastruktury _v_zarubezhnoj_stranakh_2012/19-1-0-2082 (дата обращения 7.09.2015)

[2] https://www.dhs.gov/critical-infrastructure-sectors (дата обращения 10.05.2017)

[3] Кобец Б.Б., Волкова И.О. Инновационное развитие электроэнергетики на базе концепции Smart Grid. – М.: ИАЦ Энергия, 2010. – 208 с.

[4] Еделев А.В., Сендеров С.М., Сидоров И.А. Применение распределённых вычислений для выявления критически важных объектов газотранспортной сети России. Информационные и математические технологии в науке и управлении. Научный журнал. №1. 2016. ISSN 2413-0133. С. 55-62.

[5] Массель Л.В., Массель А.Г. Методы и средства ситуационного управления в энергетике на основе семантического моделирования//Труды V Международной конференции OSTIS, Беларусь, Минск: БГУИР. - 2015.- С. 199-204.

[6] Массель Л.В. Проблемы создания интеллектуальных систем семиотического типа для стратегического ситуационного управления в критических инфраструктурах / Информационные и математические технологии в науке и управлении. Научный журнал. Иркутск: ИСЭМ СО РАН. №1, 2016.- С. 7-27.

[7] Массель Л. В. Конвергенция исследований критических инфраструктур, качества жизни и безопасности / Информационные технологии и системы: Труды Шестой Международной научной конференции ИТиС –2017. Челябинск: ЧелГУ. Науч. электрон. изд. ISBN 978-5-7271-1417-9. - С. 170-175. URL: http://iit.csu.ru/content/docs/science/itis2017/itis2017.pdf (дата обращения 10.06.2017)

[8] ВОЗ Health Impact Assessment Toolkit - Руководство по оценке воздействия на здоровье. ВОЗ, 2005.

[9] Массель Л. В., Блохин А. А. Когнитивное моделирование индикаторов качества жизни: предлагаемый подход и пример использования / Вестник НГУ. Серия: Информационные технологии. Т.14. №2. 2016. С. 72-79.

[10] Айвазян С.А. Интегральные индикаторы качества жизни населения: их построение и использование в социально-экономическом управлении и межрегиональных сопостав-лениях – Москва: ЦЭМИ РАН, 2000. – 117 с.
[11] Массель Л. В., Блохин А. А. Метод когнитивного моделирования индикаторов качества жизни с учетом внешних факторов. Наука и образование. Научное издание МГТУ им. Баумана. №4. 2016. С. 65-754. DOI: 10.7463/0416.0839061
[12] Массель Л.В., Массель А.Г. Семантические технологии на основе интеграции онтологического, когнитивного и событийного моделирования // III международная научно-техническая конференция OSTIS-2013: труды. Беларусь. Минск. БГУИР. 2013. С. 247-250.
[13] Виттих В. А. Что такое эвергетика? Проблемы управления. 2014. Вып. 4. С. 26-34.
[14] Виттих, В.А. Понятие интерсубъективности в эвергетике / В.А. Виттих // Онтология проектирования. – 2014. - №4(14) – С. 90-97.
[15] Поспелов Д.А. Ситуационное управление. Теория и практика. – М.: Наука, 1986. – 284 с.
[16] Васильев В.И., Ильясов Б.Г. Интеллектуальные системы управления. Теория и практика. М. Радиотехника. 2009. 392 с.
[17] Массель Л.В., Массель А.Г. Интеллектуальные вычисления в исследованиях направлений развития энергетики // Известия Томского политехнического университета. – 2012. – Т. 321. – № 5. Управление, вычислительная техника и информатика.- С. 135-141.
[18] Массель Л. В., Массель А. Г. Интеллектуальные технологии для стратегического управления развитием энергетической инфраструктуры /Проблемы управления и моделирования в сложных системах: Труды XVIII Международной конференции. Самара: ООО «Офорт», 2016. – С. 245-252.
[19] Массель Л.В., Массель А.Г., Ворожцова Т.Н., Макагонова Н.Н. Онтологический инжиниринг ситуационного управления в энергетике /Материалы Всероссийской конференции с международным участием «Знания, онтологии, теории» (ЗОНТ-2015). Т. 2, 2015.-Новосибирск: ИМ СО РАН.- С. 36-43.
[20] Массель Л.В., Массель А.Г. Инструментальные средства ситуационного управления в энергетике. В сб.: «Информационные системы и технологии». Труды Четвертой Международной научной конференции. Отв. ред.: Ю. С. Попков, А. В. Мельников. 2015. –Челябинск: ЧелГУ.- С. 168-172.
[21] Массель А.Г. Иванов Р.А. Ситуационный полигон как инструмент ситуационного управления в энергетике / Труды IV Международной конференции OSTIS. – Беларусь, Минск: БГУИР. – 2014.– С. 277-280.
[22] Протасов В.И., Потапова З.Е., Осипчук О.К. Сертификация экспертов и определение относительной цены задачи в зависимости от ее сложности. Труды XX Байкальской Всероссийской конференции «Информационные и математические технологии в науке и управлении». Часть 2. – Иркутск: ИСЭМ СО РАН. 2015, с.164-175.
[23] Карелин В.П., Протасов В.И. Эволюционно-генетические и бионические методы моделирования коллективного интеллекта в системах управления и поддержки принятия решений. Вестник Таганрогского института управления и экономики. 2012. № 1. с. 71-76.
[24] Копайгородский А.Н. Управление знаниями в коллективной экспертной деятельности по обоснованию рекомендуемых решений в энергетике / Труды XX Российской научной конференции «Инжиниринг предприятий и управление знаниями (ИП&УЗ – 2017)». М.: РЭУ им. Г.В. Плеханова. – С. 128-135.

Biography

Massel Liudmila Vasilievna graduated from the Tomsk Polytechnic Institute, Faculty of Automation and Computer Engineering in the specialty "Applied Mathematics" in 1971, Doctor of Technical Sciences (1995). Chief Researcher, Head of Information Technologies Laboratory in Melentiev Energy Systems Institute SB RAS. Professor of Automated Systems Department of the Cybernetic Institute in the Irkutsk National Research Technical University. The list of scientific works includes more than 200 articles in the field of semantic modeling, design of information systems and technologies, and the development of intelligent decision support systems in the field of energy solutions.

МУРАВЬИНЫЕ АЛГОРИТМЫ В ПЛАНИРОВАНИИ ДВУХФАЗНЫХ ОПЕРАЦИЙ НА БОЛЬШИХ СЕТЯХ

Я.А. Мостовой, В.А. Бердников

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева
443086, Самара, Московское шоссе, 34, Россия
ssau@ssau.ru
тел: +7 (846) 267-43-70, факс: +7 (846) 267-43-70

Ключевые слова: *информационная безопасность; мультиагентные системы; большие сети; перколяция; программируемая перколяция; двухфазные операции; теория алгоритмов*

Abstract

Considered a large scale network. The paths between certain network nodes are protected. There are not enough resources to build all possible protected routes in this network. In this paper the authors shows that the minimization of total costs is achieved in the case of using a two-phase operation, in the first phase creates the stochastic basis of protected routes, which are mapped to the secure paths inter nodes matrix. Protected paths form random clusters on this matrix. For construction of the protected percolation route it is necessary to conduct it in the second phase along the shortest route through the formed clusters of the protected paths, additionally introducing a relatively small number of protected paths, which covers intercluster intervals. Extensive statistical modeling was carried out and the results of this research defined statistical dependencies and phenomena, which allow to optimize this two-phase operation. Several algorithms for finding the shortest path through matrix with random filling have been considered for the construction of the percolation paths. In particular, the ant colony optimization algorithm was considered, which is inferior to the accuracy of the Dijkstra's algorithm, but is the fastest of the considered in this paper.

Введение

Большие (сложные) сети характеризуются большим количеством узлов и путей между ними и неоднородной топологией. Задачей стратегии безопасности для таких сетей, как не детализированного плана деятельности, охватывающего длительный период времени и направленного на достижение безопасности больших сетей, является эффективное использование ограниченных ресурсов при планировании защищённых маршрутов.

В этом случае поэтапное гибкое планирование решения задачи безопасности по критерию минимума суммарных затрат позволяет достичь поставленных целей. Достичь этого можно, используя приемы и методы теории перколяции. Имеющаяся неопределённость в обеспечении конкретного защищённого маршрута при таком планировании может быть разрешена статистическим исследованием на большом количестве случайных маршрутов.

Однако статистическое исследование большой сети – это затратный по времени процесс. Поэтому необходимо исследовать различные алгоритмы и подходы решения этой задачи по критериям времени работы и качеству построения оптимального защищенного маршрута.

1 Постановка задачи и проведение статистического моделирования

Рассматривается большая сеть. Пути между некоторыми узлами сети защищены. Для того чтобы построить в ней сразу все возможные защищенные маршруты ресурсов не хватает. Можно каждый раз, когда в этом возникает необходимость прокладывать свой защищённый маршрут. Но это займет много времени и поэтому такие маршруты дороги по сравнению с

маршрутами, проходящими через уже имеющиеся защищённые пути при условии определённой их концентрации. В этом случае для образования требуемого маршрута придется дополнительно вводить какое-то относительно небольшое количество защищенных путей, закрывающих «межкластерные дыры».

Имеющаяся неопределённость на стадии планирования по прохождению конкретных защищённых маршрутов в большой сети может быть разрешена статистическим исследованием на большом количестве случайных маршрутов.

Таким образом, в большой сети рассматривается какая-то случайная часть защищенных связей между узлами, которая образует стохастическую защищённую основу. На базе этой основы возможна прокладка полностью защищенного маршрута между любыми узлами сети путем введения дополнительно защищенных путей на тех участках сети, где это требуется. Эти дополнительные защищенные пути прокладываются в экстренном режиме, требуют определённого их местоположения и поэтому дороже, чем защищенные пути в стохастической основе.

Требуется определить вероятность наличия защищенной связи в стохастической основе (в терминологии теории перколяции – концентрацию «черных»), которая минимизирует общие расходы на создание защищенных маршрутов в сети.

2 Определение и свойства МНЗС

Классическая теория перколяции рассматривает матрицу со случайным заполнением, как модель операционной среды в прямой геометрической интерпретации. Т.к. большинство сетей обладают случайной топологией (см. рис. 1), то необходимо создать некоторое правило перехода от любой сетевой топологии к перколяционной матрице. Этим правилом стала «матрица наличия защищенных связей» (МНЗС). Данная МНЗС может позволить исследовать безопасность сетей и наличия сквозных путей на ней методами теории перколяции.

Пример подобного перехода представлен ниже на рисунках 1 и 2.

На рисунке сети черными линиями показаны информационные связи (пути) между узлами-участниками сети, желтые – это защищенные соединения (защищенные пути) между узлами.

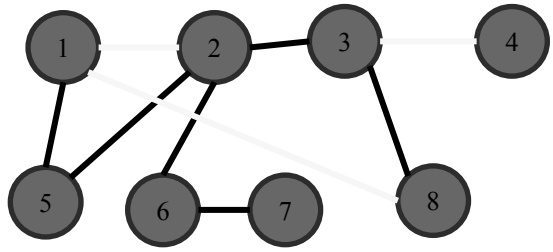


Рисунок 1 – Случайный сетевой граф

	1	3	6
2	■		
8	■		
5			
7			
4		■	

Рисунок 2 – МНЗС только для безопасных участков сети, представленной на рисунке 1

Заполнение МНЗС происходит по следующему правилу: имена конечных узлов путей, которые нас интересуют, откладываем по вертикали; имена начальных узлов путей в сети, которые нас интересуют, откладываем по горизонтали (на рисунке 2 они отмечены голубым цветом). Важно, чтобы узлы по вертикали и горизонтали МНЗС не повторялись. Для предлагаемого метода исследования не очень важна строгая квадратность МНЗС. Возможно случайное перемешивание как строк, так и столбцов.

Ниже представлен следующий алгоритм заполнения МНЗС:

1. Повторять, пока не закончатся узлы:

1.1. Если узел А отсутствует в таблице, то по горизонтали записывают имя узла.

1.2. По вертикали записывают те узлы, с которыми в сети есть связь с узлом А.

1.3. В соответствующие ячейки МНЗС проставляют наличие защищенной связи (ячейка делается черной) между узлом А и остальными узлами таблицы.

2. Конец цикла.

Соседние «черные» ячейки образуют кластер, смысл которого – это возможность передачи защищенной информации по этому участку сети. В данном примере (см. рис. 2) есть два кластера: кластер «1-2, 1-8» и кластер «3-4».

Если добавить в МНЗС в определённые «межкластерные дыры» защищённые связи (добавленные связи обозначим красным цветом), то в МНЗС образуется сквозной не стохастический, а программируемый перколяционный маршрут, который означает, что все узлы, расположенные по вертикали, доступны для защищенной связи с узлами из горизонтали.

Таким образом, создание защищенной связи между всеми узлами, отложенными по вертикали отображается на МНЗС в виде программируемого перколяционного вертикального маршрута (см. рис. 3):

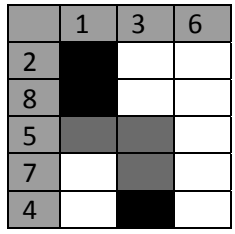


Рисунок 3 – Программируемая перколяция в МНЗС

3 Методы исследования

Рассматривается некоторая МНЗС. Часть ее ячеек – «черные» – проводят условный поток, другая часть – «белые» – нет. В классической теории перколяции [7, 8] ищется концентрация «черных» ячеек $К_П$ – порог стохастической перколяции, при которой образуется сквозной случайный маршрут по «черным» ячейкам через всю матрицу в заданном направлении – стохастический перколяционный кластер. Однако стохастический перколяционный кластер имеет рыхлую структуру, множество мертвых ветвей и явно избыточен с точки зрения решения различных практических задач. Поэтому предлагается воспользоваться теорией двухфазных операций, позволяющей определить оптимальную концентрацию (наличие «черных»), которая минимизирует расходы на создание дополнительных проводящих ячеек на пути программируемой перколяции.

При реализации программируемой перколяции [3-6] на первой фазе создаётся стохастическая основа из распределенных случайным образом «черных» ячеек при значениях их концентрации гораздо ниже порога стохастической перколяции, а на второй фазе строится сквозной перколяционный маршрут за счет внедрения (установки) дополнительных проводящих

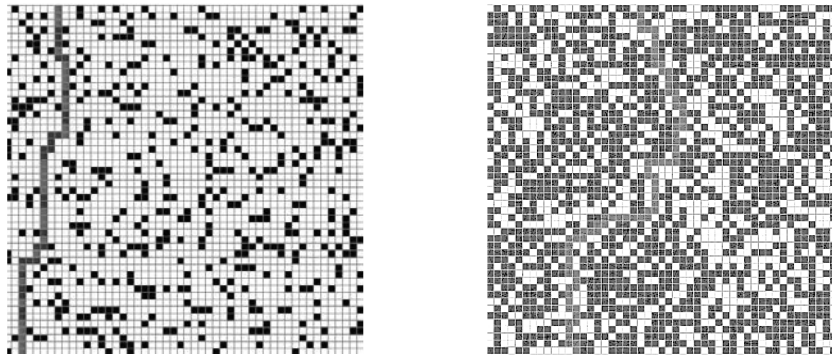
ячеек («красные») в имеющиеся межкластерные интервалы. При этом концентрация стохастической основы выбирается таким образом, чтобы суммарные затраты на двухфазную операцию были минимальны. В результате решения этой задачи концентрация объектов (защищенных путей) при программируемой перколяции становится более чем в два раза меньше порога стохастической перколяции и находится в окрестности концентрации, характерной для среднего максимального числа образующихся кластеров (K=0.25).

Предлагаемый подход к статистическому моделированию случайных операционных сред состоит из ряда последовательных этапов, повторяющихся для каждой из матриц со случайным заполнением и для каждого значения концентрации:

- заполнение матрицы объектами случайным образом в соответствии с заданным законом распределения вероятностей и значением концентрации;
- выделение и анализ образующихся кластеров объектов;
- вычисление по выделенным кластерам характеристик распределения (средних значений, дисперсий и т.п.) их размеров, межкластерных интервалов и т.п.;
- анализ интервалов между стохастически образованными кластерами и прокладка путей искусственной перколяции с определением среднего его значения по совокупности случайных матриц.

Для целей выделения кластеров и подсчета их характеристик был использован алгоритм Хошена- Копельмана. Для целей прокладки пути через образовавшиеся кластеры был разработан алгоритм «Молния-точка», являющийся модификацией алгоритма «Молния» и Дейкстры [3-6]. Реализация двухфазной операции представлена на рисунке 4.

Данный алгоритм работает долго. Учитывая большой объём статистического моделирования на случайных матрицах большого размера, рассмотрен также и «муравьиный алгоритм». Сравнительный анализ эффективности данных алгоритмов приведен ниже.



а) б)

Рисунок 4 – Примеры перколяционных маршрутов для матриц с концентрацией заполнения а) K=0.25, б) K=0.6

3 Статистические особенности образования кластеров и исследование двухфазных операций

Концентрация K – относительная доля «черных» узлов при случайно-однородном заполнении матрицы является вероятностью появления «черной» ячейки [8] при равномерном распределении вероятности их появления по матрице. Поэтому здесь и далее наряду с выражением «вероятность наличия заданного объекта в ячейке матрицы (защищенного пути)» употребляется более краткое выражение «концентрация».

Статистическое моделирование на таких квадратных матрицах со случайным заполнением позволяет обнаружить и исследовать несколько статистических феноменов (особенностей) образующихся кластеров, имеющих большое практическое значение.

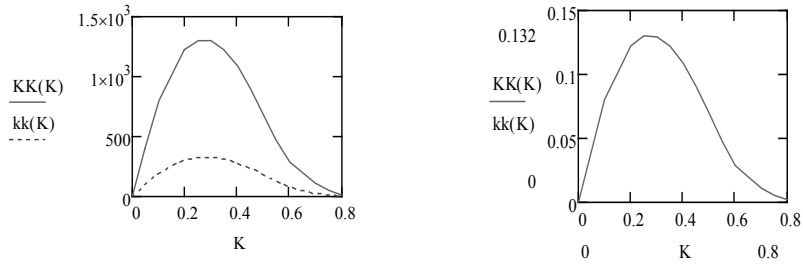
Первая особенность – наличие порога стохастической перколяции, как «пробоя» матрицы проводящим перколяционным кластером, гарантировано наступает при K=0.6.

Вторая особенность – наличие значения концентрации объектов, при котором среднее число образовавшихся кластеров имеет максимум [3-6]. Там же показано, что это значение робастно – имеет малую чувствительность к закону распределения вероятности нахождения объекта в ячейке матрицы. Эта особенность выполнима при K=0.25 (см. рис. 5).

Третья статистическая особенность – наличие максимума средней длины кратчайшего маршрута через стохастически образованные кластеры в направлении перколяции, возникающего при росте концентрации объектов и связанного с ростом «извилистости» этого маршрута. Средняя длина кратчайшего маршрута программируемой перколяции L(K) растет вплоть до порога стохастической перколяции, после чего начинает уменьшаться. Чем больше извилистость перколяционного маршрута (т.е. чем больше его длина), тем из большего количества «попутных» кластеров он состоит.

Физические соображения подсказывают, что количество кластеров, образовавшихся на матрице при определенной концентрации, зависит от площади матрицы L^2. Длины путей на матрице зависят от линейного размера матрицы L. Таким образом, от влияния размеров матрицы на численные результаты статистического моделирования можно избавиться, если результаты нормировать путем их деления соответственно на L или L^2, что и подтверждается численными расчетами (см. рис. 5).

Зависимость среднего количества образовавшихся кластеров на матрице от вероятности наличия объекта в ячейке K отражена на рисунке 5. По мере увеличения этой вероятности до значения ~0.25 матрица заполняется объектами и количество кластеров растёт. При дальнейшем увеличении концентрации кластеры начинают сливаться, их среднее количество падает, а размеры растут.



а) б)

Рисунок 5 – Зависимость среднего количества кластеров от вероятности наличия объекта в ячейке для матрицы 50x50(обозначена пунктиром) и 100x100 – а) и нормированное по площади матрицы среднее число кластеров – б) для обоих случаев

Снижения потребной концентрации объектов и, следовательно, необходимого их количества для реализации перколяции можно достичь, если использовать вместо классической стохастической перколяции предложенную программируемую перколяцию с применением оптимальной двухфазной операции.

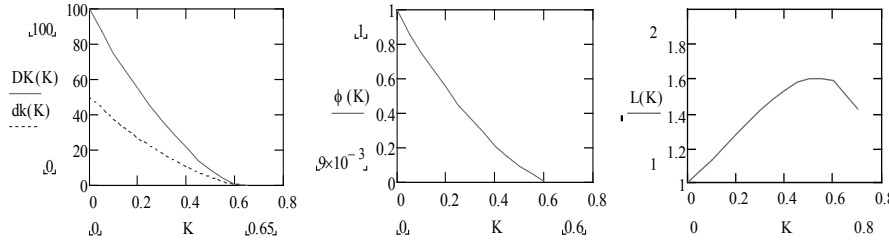
Учитывая различную стоимость «объектов первого рода», распределенных случайным образом и образующих стохастическую основу («черные» ячейки), и «объектов второго рода», внедряемых в определенные места зоны обслуживания для достижения программируемой перколяции с минимальной длиной пути («красные» ячейки), можно найти концентрацию

объектов стохастической основы, при которой общие расходы на создание пути программируемой перколяции будут минимальны.

При этом можно полагать, что во всех приложениях данной теории каждый из объектов стохастической основы, разбросанных случайно по операционной среде, дешевле внедряемого (устанавливаемого) в определенное место операционной среды дополнительного объекта.

На рисунке 6 приведены обработанные результаты моделирования двухфазных операций: среднее число добавленных объектов для получения программируемой перколяции при различных значениях концентрации объектов стохастической основы и для матриц различных размеров. На рисунке 6а) по вертикали отложено среднее число добавленных объектов для матриц размером 50×50 (обозначено пунктиром) и 100×100. На рисунке 3б) данные зависимости нормированы по размеру матрицы (после чего графики совпали).

При значении концентрации K=0.6 образуется стохастический перколяционный кластер, и кратчайший перколяционный маршрут проходит по нему. Поэтому среднее число добавленных ячеек в этом случае стремится к нулю. Извилистость и длина маршрута перколяции для этой концентрации максимальны. При дальнейшем росте концентрации кратчайший маршрут перколяции «спрямляется» и длина его падает (рис. 6в) [6].



а) б) в)

Рисунок 6 – Зависимость среднего числа добавленных объектов *φ(K)* и средней нормированной длины пути программируемой перколяции *L(K)* от вероятности наличия объекта в ячейке *K*

3 Сравнительное исследование муравьиного алгоритма и алгоритмов построения перколяционного маршрута на базе алгоритма Дейкстры

Алгоритм «Молния-точка» возвращает гарантированно минимальный маршрут, т.к. является обычным алгоритмом Дейкстры, который был выпущен из каждой точки начальной строки матрицы до каждой точки последней строки матрицы. Такой подход хоть и возвращает гарантированно минимальный маршрут, но является трудоемким и затратным по времени. Поэтому было проведено исследование различных алгоритмов (модификация алгоритма Дейкстры, мультиагентный муравьиный алгоритм) с целью поиска оптимального по времени алгоритма, который не сильно ухудшал бы стоимость минимального маршрута (количество добавленных «красных» ячеек). Рассмотрим подробнее эти алгоритмы:

Скорость алгоритма Дейкстры сильно зависит от скорости сортировки вершин графа. В среднем сортировка (быстрая сортировка, бинарные кучи) работает со скоростью *O(nlogn)*, где n – это количество вершин. В нашем случае $n=L^2$. Т.к. этот алгоритм работает по принципу точка-точка (ссылка), то его необходимо запустить еще L раз для каждой точки конечной строки и еще L раз для каждой точки начальной строки. Потом из полученного множества оптимальных путей выбрать самый оптимальный. Итого расчетная скорость алгоритма «Молния» приблизительно равна $O(L^4 logL)$.

Модифицированный алгоритм Дейкстры – это стандартный алгоритм Дейкстры у которого изменено условие остановки: он просто должен достичь любой ячейки конечной строки матрицы. Т.к. правило выбора направления движения Дейкстры заключается в перемещении в

минимальную по стоимости ячейку, то подобный подход с высокой вероятностью возвращает оптимальный путь, однако (т.к. рассматриваются не все пути от начальной точки до точек на конечной строки, а только путь, который первым достиг конечную строку) всегда существует вероятность того, что от исходной точки до конечной строки существует иной более оптимальный путь, нежели выбранный. Подобный подход позволяет значительно выиграть в скорости: можно сократить условие движения до точек конечной строки с L раз до одного раза. Тогда скорость алгоритма можно оценить как $O(L^3 logL)$.

Стандартная оценка сложности муравьиного алгоритма равна $O(n^2 m)$ [9], где n – это количество ребер, а m – количество муравьев в колонии. Однако на практике этот алгоритм можно оптимизировать: в нашем случае алгоритм будет (в общем случае, без учета краевых эффектов) случайно выбирать одну из четырех соседних ячеек (движение в ту точку, откуда муравей пришел запрещено), переходить в нее и помечать ее феромоном. Тогда максимальный путь, который сможет проделать муравей будет равен L^2. Количество операций (вычисление вероятности) равно в нашем случае $4L^2$. Тогда можно сделать следующую оценку скорости алгоритма: $O(L^2 m)$ в худшем случае и от $O(Lm)$ до $O(LlogLm)$ в среднем (см. рис. 7).

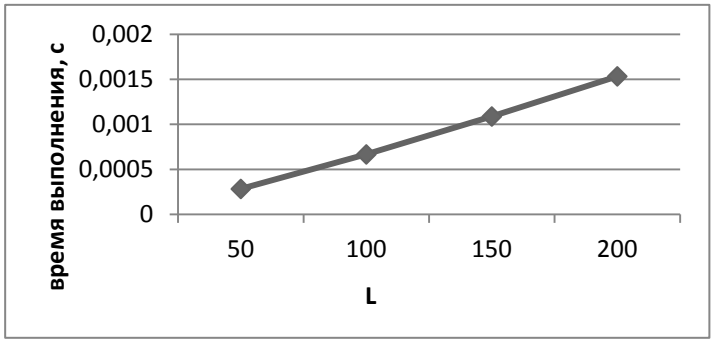


Рисунок 7 – Среднее время работы муравьиного алгоритма (количество муравьев m=100)

Но чтобы найти наиболее оптимальный маршрут, алгоритм предстоит запустить из каждой ячейки начальной строки МНЗС. Тогда его скорость можно оценить в среднем от $O(L^2 m)$ до $O(L^2 logLm)$. Сравнение среднего времени работы алгоритмов представлено на графике 8 и в таблице1. Все результаты представленные на графиках 7, 8 и 9 и в таблице1, были получены на программах, написанных на языке C++ на процессоре Intel Core i7 CPU 870.

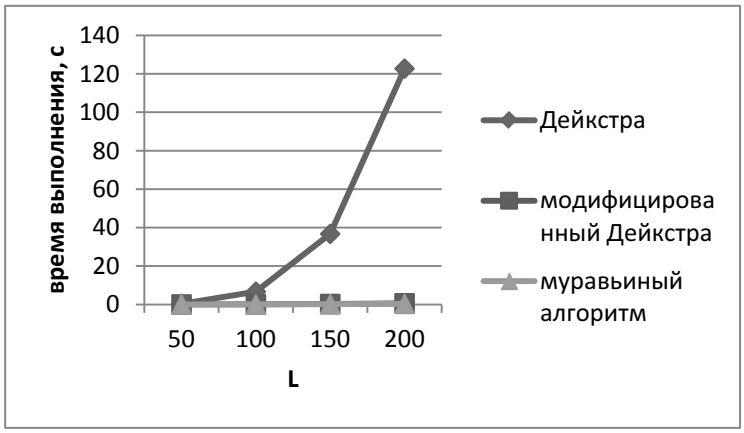


Рисунок 8 – Среднее время работы алгоритмов

Таблица 1 – Среднее время работы алгоритмов

L \ T	Дейкстра	Мод. Дейкстра	Мур. алг.
50	0,35395208	0,007079042	0,014158083
100	6,66666667	0,066666667	0,066666667
150	36,72154	0,244810267	0,163206844
200	122,7216	0,613607999	0,306803999

Муравьиный алгоритм, являясь самым быстрым из рассмотренных, проигрывает по скорости для матриц малых размеров (50×50), однако значительно выигрывает на больших (100×100 и выше).

Статистические исследования проведены для 3000 случайных матриц. Разница в точности работы алгоритмов выражена в среднем количестве добавленных «красных» защищенных путей в оптимальные маршруты. Как видно из графика 9 результат работы стандартного алгоритм Дейкстры, возвращающего строгое и точное решение, не очень сильно отличаются от результатов работы других алгоритмов. Таким образом, другие алгоритмы не намного его хуже поточности решения, но значительно быстрее. Заметим, что мультиагентный муравьиный алгоритм требует первоначальной настройки параметров (стоимость феромона, количество муравьев), которые оказывают достаточно сильное влияние на итоговый результат.

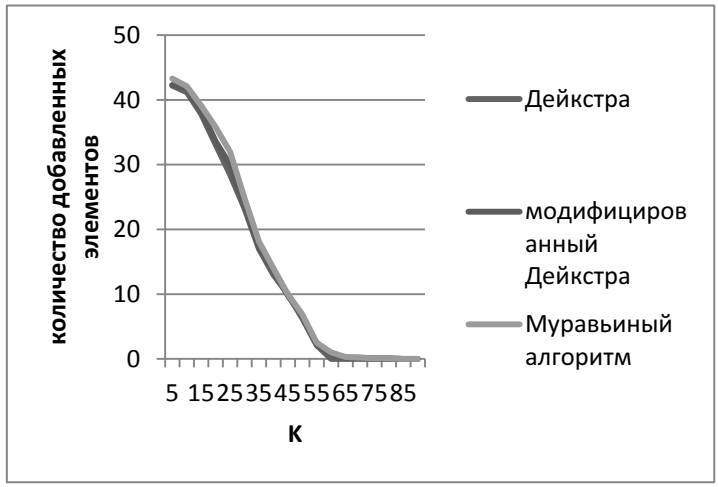


Рисунок 9 – Среднее количество добавленных элементов для алгоритмов

Теоретическая оценка скорости $O(L^2 logLm)$ подтверждается на практике. Муравьиный алгоритм является наименее точным из всех рассмотренных, но увеличение количества агентов (муравьев) и перенастройка параметров алгоритма могут частично исправить этот недостаток.

4 Выбор оптимальной концентрации защищенных путей для двухфазной операции

Был построен график общей стоимости двухфазных операций по формуле, представленной ниже:

$$(1)\quad P_{отн} = \frac{P}{P_{П}} = 1.7K + 1.7\left(\frac{\left(\theta_0 \varphi(K)^2\right)}{\left(\alpha L(K)\right)}\right) = 1.7\left(K + \frac{R\varphi(K)^2}{L(K)^2}\right)$$

где $P_n = \alpha K_n L^2$ – стоимость чисто стохастической однофазной операции; $R = \theta_0 / \alpha$ – отношение стоимости дополняющего объекта к стоимости объекта стохастической основы. $P = = \alpha K L^2 + \theta(K)\varphi(K)L$ – суммарная стоимость двухфазной операции, в которой:

Первое слагаемое – стоимость подготовки стохастической основы операционной среды, KL^2 – количество базовых защищенных путей в стохастической основе, как функция концентрации, α – стоимость определения каждого из распределенных случайным образом защищённых путей.

Второе слагаемое – стоимость защищенных путей для формирования кратчайшего программируемого перколяционного маршрута. $\theta(K)$ – стоимость одного дополнительного защищенного пути, выбираемого в определенном месте большой сети на второй фазе, $\varphi(K)L$ – среднее количество добавленных защищенных путей в МНЗС размером L.

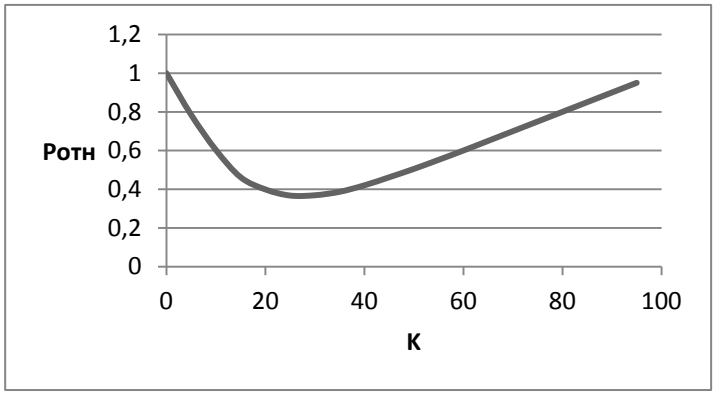


Рисунок 10 – Зависимости относительных затрат на проведение двухфазной операции от концентрации объектов стохастической основы

Анализ графика на рисунке 10 показывает, что при реализации двухфазных операций оптимальное значение вероятности наличия защищенного пути «в ячейке стохастической основы» с точки зрения минимизации общих затрат составляет ~0.25, что соответствует максимальному числу кластеров стохастической основы (см. рис. 5). В использованных для построения графика (см. рис. 10) выражениях нигде в явном виде не присутствует эта замечательная точка. Этот хорошо физически интерпретируемый результат можно трактовать как подтверждение правильности данных статистического моделирования и модели трудоемкости двухфазной операции.

Заключение

1) При наличии ограничений на ресурсы оптимальное по затратам планирование защищенных маршрутов должно проходить две фазы: на первой фазе создаётся стохастическая основа защищенных путей при сравнительно низкой их концентрации, на второй прокладываются конкретные защищенные маршруты через кластеры стохастической основы с добавлением минимального числа защищенных путей в интервалы между кластерами стохастической основы.
2) Концентрация защищённых связей в стохастической основе должна быть 0.25. При этой концентрации защищенных узлов число образовавшихся кластеров максимально. В этом случае возможно с минимальными суммарными средними затратами построить любой конкретный защищённый маршрут между заданными узлами сети.

3) По результатам данного исследования мультиагентная система, реализованная в виде муравьиного алгоритма оказалась наиболее быстрой среди рассмотренных алгоритмов поиска оптимального защищенного маршрута для матриц размером до 100×100.. Теоретическая оценка его скорости $O(L^2 logLm)$ подтверждается на практике Также он является наименее точным из всех рассмотренных, но увеличение количества агентов (муравьев) и перенастройка параметров алгоритма могут уменьшить этот недостаток.

Список литературы

[1] Голубев А.С., Звягин М.Ю., Милованов Д.С. Эффект перколяции в информационных сетях с неустойчивыми связями/ А.С. Голубев, М.Ю. Звягин – Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского, №3 (2), 2011, стр. 260-263.

[2] Некрасова А.А., Соколов С.С., Исследование возможности применения теории перколяции для управления потоками данных в информационных сетях на транспорте/ А.А. Некрасова, С.С. Соколов – Вестник государственного университета морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова, №4, 2010, стр. 192-198.

[3] Мостовой Я.А., Статистические феномены больших распределенных кластеров наноспутников/ Я.А. Мостовой – Вестник Самарского Государственного Университета имени академика С.П. Королева (национального исследовательского университета) № 2 (26), 2011, стр. 80-89.

[4] Мостовой Я.А., Двухфазные операции в больших сетях наноспутников/ Я.А. Мостовой – Компьютерная оптика, том 37, № 1, 2013, стр. 120-130.

[5] Мостовой Я.А., Управляемая перколяция и оптимальные двухфазовые операции в больших сетях наноспутников/ Я.А. Мостовой – Инфокоммуникационные технологии, том11, №1, 2013, стр. 53-62

[6] Мостовой Я.А., Моделирование оптимальных двухфазных операций в случайных операционных средах/ Я.А. Мостовой – Автометрия, Том51, №3, 2015, стр. 35-41.

[7] Москалев П.В. Математическое моделирование пористых структур./ П.В. Москалев, В.В. Шитов, – Москва: Физматлит,2007. -120с.

[8] Тарасевич, Ю.Ю. Перколяция: теория, приложения, алгоритмы. / Ю.Ю. Тарасевич, – Москва: УРСС,2002. – 109с.

[9] Штовба С.Д. Муравьиные алгоритмы // Exponenta Pro. Математика в приложениях. – 2003. – №4. – стр. 70–75.

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ МОДЕЛЕЙ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ЗНАНИЙ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧИ СИНТЕЗА СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА СТРУКТУРНЫХ СОСТОЯНИЙ СЛОЖНЫХ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

П.А. Охтилев[1], А.В. Крылов[1], А.Д. Бахмут[2]

[1]Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации РАН
199178, Санкт-Петербург, 14 линия, 39, Россия
spiiran@iias.spb.su
тел.: +7 (812) 328-34-11

[2]Санкт-Петербургский государственный университет
аэрокосмического приборостроения
190000, г. Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 67. лит.А., Россия
k43@guap.ru
тел: +7 (812) 494-70-43

Ключевые слова: *сложный организационно-технический объект, автоматизированная система мониторинга, теория искусственного интеллекта, модели представления знаний*

Abstract
The article gives an overview and a comparative analysis of knowledge representation models (KRM) used as a methodological basis for the synthesis of intelligent automated monitoring system (AMS) for complex organizational and technical objects (COTO). The development of AMS is related to the need of implementing the correct management of COTO. As a result of the analysis of KRMs compared with a number of indicators, a G-model was chosen. It offers a methodological instrument for constructing AMS, based on the implementation of an imitation-analytical polymodal complex for estimating the state of COTO.

Введение

На сегодняшний день на практике в различных сферах встречаются сложные объекты (СлО), сочетающие как технические, так и организационные аспекты [1 - 3]. Это означает, что в составе системы элементы могут быть представлены как аппаратно-программными и информационными комплексами, так и людьми, и система может иметь некоторую сложную структуру отношений между элементами. Такие объекты называют сложными организационно-техническими объектами (СОТО) [5]. Неучёт структурных особенностей СОТО, временных ограничений на принятие решений при управлении, недоопределенности и неполноты информации о состоянии системы может приводить к серьезным (иногда катастрофическим) последствиям при управлении подобными системами, поскольку зачастую они относятся к критическим сферам. Кроме того, с точки зрения циркулирующей в таких объектах информации, характеризующей состояния объектов, имеет место структурная динамика СОТО и их информационного облика. Изменение информационной структуры СОТО влечет за собой необходимость учета такой динамики и соответствующего хода управленческого процесса. В связи с этим становится актуальным вопрос проектирования автоматизированных систем мониторинга (АСМ) структурных состояний (СтрС) для осуществления корректного управления СОТО [4]. Такая АСМ СтрС СОТО должна обладать свойством интеллектуальности, позволяющим комплексно и конструктивно подходить к оцениванию СтрС СОТО на основе экспертных знаний. Основой формального описания знаний служат модели представления знаний (МПЗ), являющиеся инструментом моделирования теории искусственного интеллекта.

1 Сложные организационно-технические объекты

Под сложным организационно-техническим объектом будем в дальнейшем понимать искусственную, самоорганизующуюся, динамическую организационно – техническую полиструктуру, состоящую из взаимосвязанных элементов и предназначенную для некоторой целенаправленной деятельности, осуществляемой человеком [5].

К СОТО [5, 9] в настоящее время, безусловно, можно отнести существующие и проектируемые территориально распределенные производственные и сервисные объекты, входящие в состав корпораций и крупных предприятий, многочисленные транспортные и логистические системы, городское хозяйство и государственные структуры, органы военного управления, системы космической отрасли, высококонкурентные сферы экономики и пр., так как все они имеют целый ряд особенностей, среди которых следует выделить:

- изменчивость во времени собственной структуры и выполняемых функций (многоструктурность);
- неполное соответствие своей структуры целям системы, изменяющимся во времени;
- неполная информация об условиях функционирования системы;
- неполнота формальных критериев для принятия решений по поддержанию целостности и развитию СОТО;
- высокая сложность структуры и разнородность выполняемых функций;
- интеллектуальность, означающая, что по мере накопления опыта функционирования СОТО, появляется возможность улучшения её действий;
- сверхбольшие объемы информации о составе, структуре и состоянии СОТО;
- многоаспектность;
- неопределенность поведения;
- иерархичность;
- избыточность основных элементов и подсистем, связей между ними;
- многовариантность реализации функций управления на каждом уровне иерархии;
- территориальная распределенность и мобильность компонентов;
- наличие, как правило, режима функционирования в реальном времени.

СОТО представляют собой заданную совокупность взаимосвязанных программных, аппаратных и организационных (информационных, математических, лингвистических и других) средств и включают [10, 11]:

- информационные ресурсы, содержащие информацию, необходимую для реализации основных процессов;
- средства и системы информатизации, программные средства (операционные системы, системы управления базами данных и др.), автоматизированные системы управления, системы связи и передачи данных, осуществляющие приём, обработку, хранение и передачу информации, их информативные физические поля;
- технические средства и системы, обрабатывающие информацию;
- персонал, обеспечивающий деятельность СОТО;
- систему нормативно-технических документов, регламентирующих применение и функционирование СлО.

В последние годы много говорится о необходимости автоматизации процессов мониторинга и управления СОТО. Этой теме посвящено много теоретических и прикладных работ [2, 3, 5-11]. Однако, выработка управляющих решений до сих пор большей частью осуществляется человеком на вербальном уровне. А специальное программное обеспечение (СПО) имеет узкую специализацию и помогает решать лишь некоторые частные вопросы.

Можно выделить несколько проблем, существующих на сегодня в сфере разработки АСМ СОТО:

1) Реализация в АСМ комплексов расчетных задач, не связанных друг с другом;
2) Наличие решения напрямую связано с полнотой, точностью и достоверностью исходной информации. Существующие АСМ не дают решений в условиях неполной, нечеткой информации;
3) Отсутствие унифицированного подхода к извлечению и представлению знаний экспертов о предметной области (использование интеллектуальных технологий);
4) Отсутствие единой методологической базы построения АСМ;
5) Отсутствие унифицированного СПрО разработки АСМ.

С позиции системного подхода, ставится задача синтеза интеллектуальной системы мониторинга оценивания структурных состояний СОТО, позволяющей осуществить формальное описание структуры и состава СОТО и характера ее функционирования, учитывающей указанные выше недостатки. Одной из задач при проектировании АСМ является задача выбора и обоснования выбора модели представления знаний.

2 Моделирование предметной области

Моделирование процессов в составе СОТО при помощи ЭВМ связано с представлением информации о них в форме, реализуемой на ЭВМ. Таким образом, необходимо рассмотреть два фундаментальных для информационных технологий понятия, позволяющих говорить о представлении информации: модель и алгоритм.

Уникальность и сложность каждой СОТО не позволяет использовать какие-либо готовые алгоритмы или методы, позволяющие имитировать или вычислять процессы, происходящие в составе СОТО, описывать те или иные стороны её функционирования, организационную структуру, движение информационных потоков по элементам системы и пр. В подобной ситуации остаётся полагаться на знания экспертов предметной области. Представить в ЭВМ знания экспертов возможно с помощью соответствующего комплекса моделей предметной области, созданного с помощью некоторой интеллектуальной системы [2, 5, 12, 18].

Следует отметить, что уже довольно продолжительное время наблюдается тенденция, в которой модель начинает преобладать над алгоритмом [13]. Дело в том, что информация, которой оперирует ЭВМ, разделяется на процедурную (императивную) и декларативную [14]. Процедурная информация овеществлена в программах, которые выполняются в процессе решения задач, а декларативная информация – в данных, с которыми эти программы работают. Процедурная информация представляется в форме алгоритма, где под алгоритмом можно понимать точное предписание последовательности действий, необходимых для получения искомого результата [2]. Декларативная информация представляется в моделях как формальное описание исследуемого объекта, процесса или явления. Считается, что модель определяет, ЧТО надо вычислять, а алгоритм – КАК надо вычислять [2]. Исходя из вышеизложенного, можно выделить ряд преимуществ модели над алгоритмом (см. Таблица 1)

Поскольку модель ориентирована на конкретную предметную область и позволяет конструктивно описывать функционирование анализируемого объекта или системы, можно говорить о том, что модель является более высокоуровневым средством представления по сравнению с алгоритмом. Модель не просто определяет порядок преобразования входных данных в выходные, как это происходит в алгоритме, но позволяет оперировать абстрактными сущностями и отношениями между ними, приближая таким образом ход вычислений в ЭВМ к тем подходам, которые свойственны человеческому мышлению.

Таблица 1 - Сравнительная таблица модели и алгоритма

МОДЕЛЬ	АЛГОРИТМ
Принципиально декларативна	В определенном смысле антидекларативна
Симметрична по отношению к параметрам, поскольку все они неявным образом определяются друг через друга	Разделяет параметры на входные и выходные, явным образом определяя вторые через первые
В неявной форме определяет решение всех задач, связанных с объектом модели	Определяет в явной форме задает решение только одной задачи, отношение которой к реальному Объекту не всегда очевидно
Может быть недоопределенной	Алгоритм и недоопределнность - несовместимые понятия
В общем случае определяет пространство решений	Традиционный (не интервальный) алгоритм позволяет получать только отдельные точечные решения

Кроме того, реальный объект или система, подвергаемая анализу, обладает естественным параллелизмом, асинхронностью, децентрализованностью и недетерминированностью происходящих в них процессов. В связи с этим фон-Неймановская архитектура ЭВМ является препятствием на пути моделей при организации параллельных вычислений. Вычислительный процесс, организованный при помощи сжатия пространства модели на основе программирования в ограничениях, был бы децентрализованным, параллельным, недетерминированным, асинхронным и, следовательно, естественным образом переносимым на параллельные ЭВМ.

Уже сейчас наблюдается активный переход от алгоритмов к модели. Популярной стала объектно-ориентированная парадигма (ООП), отходящая от процедурной концепции. В объектно-ориентированном программировании предлагается оперировать классами и объектами, представляющими собой некоторые сущности. Однако, остается сильна роль алгоритмов, представляющих некоторую последовательность вычислений. ООП – лишь начало модельной технологии. В будущем предполагается возможность работать напрямую с моделями.

Создание и последующее использование модели определяет следующий порядок автоматизации моделирования (см. Рисунок 1).

ОБЪЕКТ > МОДЕЛЬ > ЗАДАЧА > ФУНКЦИЯ > АЛГОРИТМ > ВЫЧИСЛЕНИЕ

Рисунок 1 – Последовательность этапов формализации и автоматизации моделирования объекта или системы

Приведенный порядок указывает на следующую особенность: основным средством для автоматизированного интеллектуального анализа и имитации объектов и систем становится модель, в то время как алгоритм становится лишь инвариантной составной частью модели. Алгоритм ожидает судьба ассемблеров: потеря сегодняшних ключевых позиций и место в сравнительно тонком, базовом уровне будущей технологии программирования.

Таким образом, исходя из вышеизложенного, можно сделать вывод о том, что модель по своим свойствам гораздо ближе по сравнению с алгоритмом к требованиям задачи оценивания состояния СОТО, поскольку позволяет конструктивно описывать объект анализа, обрабатывать недоопределенную информацию, определять пространство решений, а не отдельные частные решения и пр.

3 Модели представления знаний

Представить в ЭВМ знания экспертов возможно с помощью соответствующего комплекса моделей предметной области, создаваемого с помощью интеллектуальной системы, основанной на некоторой унифицированной методологии [2, 12, 16]. Построение интеллектуальной системы связано с необходимостью моделирования и представления знаний о предметной области в некоторой форме. Данная тема освещается в теории искусственного интеллекта, вводится два существенных определения: представление знаний, база знаний [15, 16]. Также говорят о моделях представления и извлечения знаний.

Выделяют несколько видов моделей представления и извлечения знаний: классические МПЗ, модели на принципах, заимствованных у природы, модели интеллектуального анализа данных. В современной литературе приводится их обобщенная классификация [17]. Выбор той или иной МПЗ определяется чаще спецификой решаемой задачи. Однако, на практике при моделировании экспертных систем, основанных на знаниях экспертов, целесообразно пользоваться классическими МПЗ, эвристическими моделями (см. Рисунок 2) [16].

Рисунок 2 – Подходы к представлению знаний

МПЗ можно классифицировать двумя способами: с одной стороны, их делят на формальные (логические, формальные продукционные) и эвристические (фреймы, продукционные, семантические сети), с другой – на процедурные и декларативные.

Эвристические модели чаще выбирают при моделировании экспертных систем, поскольку их возможности ориентированы на моделирование тех или иных форм экспертных знаний.

Процедурные модели основаны на предпосылке, что интеллектуальная деятельность есть знание проблемной среды, вложенное в программы, то есть знание о том, как можно использовать те или иные сущности. Декларативные модели основаны на предпосылке, что знание неких сущностей («знать что») не имеет глубоких связей с процедурами, используемыми для

обработки этих сущностей. При использовании декларативных моделей считается, что интеллектуальность базируется на некотором универсальном множестве процедур, обрабатывающих факты любого типа, и на множестве специфических фактов, описывающих частную область знаний. Основным преимуществом декларативных моделей является возможность реализации принципа управления по данным, когда ход вычислений основывается на потоковом процессе ввода данных о состоянии некоторой системы [2, 3].

На практике необходима реализация смешанных моделей (декларативно-процедуральных). Такой подход позволяет рассматривать объекты через их модели с декларативной точки зрения, а их поведение – через программы с императивной позиции. Объектно-ориентированная парадигма реализует указанные принципы. Однако, она является лишь промежуточным этапом на пути использования моделей в интеллектуальных технологиях. Другой декларативно-процедуральной моделью является G-модель [2, 3].

G-модель предлагает унифицированную методологию построения интеллектуальных систем анализа. На Рисунок 2 видно, что G-модель основывается на принципах многих других МПЗ, что говорит о широких возможностях этой модели при моделировании различного рода объектов, явлений и процессов. В то же время G-модель базируется на классических МПЗ теории искусственного интеллекта.

В работах [14, 16] выделено 4 основных МПЗ, выделенных в рамках теории искусственного интеллекта:

- Логические МПЗ,
- Сетевые (иногда называют семантические) МПЗ,
- Продукционные МПЗ,
- Фреймовые МПЗ.

Использование каждой из МПЗ при моделировании СОТО связано с рядом проблем, которыми характеризуются такие модели в приложении к особенностям функционирования СОТО:

1) Продукционная модель:
- Громоздкость сети знаний не позволяет эксперту-аналитику оперативно с ними работать.
- Малая степень структуризации БЗ;
- Неясность взаимных отношений продукций.
- Разнородность информации в СОТО зачастую характеризуется наличием «исключений из правил». Выражения «если-то» превращаются в громоздкие конструкции при моделировании таких исключений.
- Сложность оценки целостного образа знаний (выявление противоречий).
- Неуниверсальность (не всякое знание удобно представлять в виде продукций).

2) Формальная логическая модель:
- Высокие требования и ограничения при моделировании информации предметной области (из-за «жесткой» формализации) не позволяет полноценно моделировать процессы, происходящие в СОТО.
- Высокая сложность вычислений при исследовании динамики поведения элементов и подсистем СОТО.
- Проблема наглядности процесса вычислений.
- Проблема невозможности построения автоматического логического вывода для ряда задач.

3) Семантическая сеть:
- Сложность поиска подграфа соответствующего запросу о необходимом процессе, происходящем в СОТО.
- Проблема объяснения предлагаемых системой решений.
- Проблема формального описания процессов.

- Трудна для понимания.

4) Фреймовая модель:

- В условиях сложных процессов, протекающих в составе СОТО, возникает проблема наглядности фреймового представления при наполнении фрейма знаниями эксперта.
- Моделирование причинно-следственных связей возможно только в рамках одного фрейма, но не между ними.

Таким образом, на основе проведенного анализа следует сделать вывод о том, что необходимо привлечение комбинированных МПЗ так, чтобы включаемые МПЗ нивелировали недостатки друг друга и дополняли преимущества. В работе [23] предложен подход совместного использования семантической сети и фреймового представления знаний. При этом учитывается возможность применимости алгоритмов в составе фреймов к входным данным с помощью условных выражений. Кроме того, при сравнении по ряду показателей оказалось, что комбинация фреймовой и продукционной моделей позволяет более комплексно подходить к моделированию процессов, происходящих в СОТО (см. Таблица 2). Такой подход обеспечивает возможность моделирования процессов и «в ширину», и «в глубь» [2] (см. Рисунок 3).

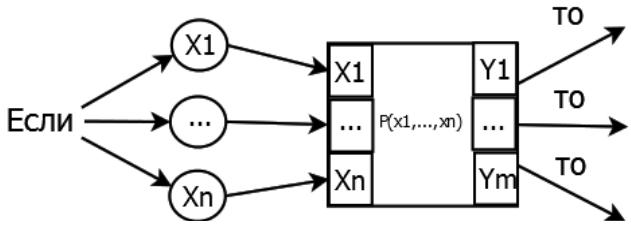


Рисунок 3 – Схема продукционно-фреймового представления знаний (P – некоторый алгоритм)

При таком подходе может быть сформирована продукционная база знаний [15, 16]. На основе такой БЗ может моделироваться принятие решений, связанное с процессами мониторинга и управления СОТО, соответствующее некоторому сложному дереву решений [24], расширенному за счет способности фреймов моделировать сложные процессы. Кроме того, такой подход реализует описание декларативно-процедуральной информации о функционировании объекта анализа, где знания становятся активными элементами управления. Существенно и то, что такая МПЗ выставляет на первое место модель как средство описания предметной области. Алгоритмы же становятся лишь инвариантными автоматическими блоками в составе таких моделей [2]. На сегодняшний день такая унифицированная МПЗ для моделирования сложных систем теоретически разработана и уже применяется для реально существующих сложных систем. Эта МПЗ названа «G-модель» [2].

4 G-модель как унифицированная модель представления знаний

G-модель предлагает унифицированную методологию автоматизированного оценивания состояния сложных систем и синтеза соответствующей программы анализа. Данная методология и методические основы интеллектуального интерактивного мониторинга и управления сложными объектами получила широкую и успешную реализацию в различных предметных областях (космонавтика, атомная энергетика, экология, логистика, военные приложения и т.п.). «Интересные перспективы открываются по использованию данной технологии и соответствующих систем при создании сети ситуационных центров поддержки принятия решений при мониторинге и управлении объектами в военной и гражданской сферах» [9].

G-модель является основой для создания имитационно-аналитического полимодельного комплекса и возникла как результат обобщения существующих подходов в рамках систем искусственного интеллекта [2]:

- концептуальное программирование;
- программирование в ограничениях;
- мультиагентное моделирование;
- и др.

Коротко суть G-модели в концептуальном программировании заключается в следующем:

- Вводится понятие вычислительной модели как фрейма, описывающего вычислительную обстановку;
- Знания о сложной ситуации представляются набором признаков, действий, а также условий их применения;
- Слоты фрейма заполняются при конкретизации знаний, когда фрейм применяется в связи с некоторой конкретной ситуацией.
- МПЗ представляется в виде семантической сети, дополненной описанием действий и совокупностью правил для выполнения этих действий.
- В узлах сети находятся денотаты предметной области, представленные с помощью измеряемых и вычисляемых параметров.
- Отношения между денотатами представляются в форме отображений, ограниченных набором вычислимых функций. В терминах программирования такие функциональные отношения можно назвать операторами.
- Сети, объектами которых являются переменные, связанные между собой отношениями, называются вычислительными моделями. В расширенных вычислительных моделях также определены управляющие вершины concat, cond, sub.
- Синтез программы вычислений происходит после аксиоматизации МПЗ, заключающейся в формировании для каждого оператора сети некоторого вычислимого отношения.

G-модель является разновидностью обобщенной вычислительной модели (ОВМ), определенной в рамках программирования в ограничениях. Остановимся коротко на содержании технологии программировании в ограничениях. Оно предполагает:

- Описание модели задачи, а не алгоритмов её решения;
- Модель описывается в виде неупорядоченной совокупности отношений, которые соответствуют связям между денотатами предметной области;
- Отношения называют ограничениями. Могут быть представлены уравнениями, неравенствами, логическими выражениями, символьными операторами и пр.
- Постановка задачи конкретизируется введенными в модель ограничениями на допустимые значения параметров.
- Параметры задачи не разделены на входные и выходные.
- Пользователь самостоятельно решает, какие параметры заданы точно, какие неизвестны совсем, а какие- приблизительно.
- Методы программирования в ограничениях обеспечивают автоматическое решение задачи.

Обобщенные вычислительные модели имеют следующий вид [23]:

(1) $\mathrm{M} = (\mathrm{V}, \mathrm{W}, \mathrm{C}, \mathrm{R})$

где V – множество объектов из заданной предметной области, W – множество функций присваивания (двухместные функции, определяющие новые значения объектов как функции от текущего значения и присваиваемого), C – множество функций проверки корректности, R – множество ограничений на значениях объектов из V.

В ОВМ определено понятие недопределенной переменной. Такая переменная принимает значения из непустого подмножества универсума, включающего как точное значение, так и неопределенные значения (интервалы, перечень возможных альтернативных значений –

вплоть до полностью неизвестного значения). В процессе уточнения значение при поступлении новых данных может конкретизироваться.

ОВМ представляется двудольным ориентированным графом, в которым определены вершины-объекты и вершины-функции. Дуги соотносят вершины-объекты и вершины-функции. Входящие в вершины-функции дуги соотносят с ними объекты, значения которых являются входными для функций.

Вычислительный процесс на основе ОВМ имеет потоковый характер: вершины-объекты активизируют вершины-функции. Вычислительный процесс закончится тогда, когда не остается активных функциональных вершин, или когда функция проверки корректности вырабатывает ложь.

ОВМ имеет ряд недостатков:

- в ОВМ отсутствует возможность организовать вычислительный процесс в реальном режиме времени. Функционирование в реальном времени позволило бы получать результаты анализа в процессе получения значений входных данных за определенное прогнозируемое время.
- в ОВМ определено лишь явное выражение одних объектов через другие. В реальной сложной системе процессы не всегда можно описать явными функциями. В связи с этим в вычислительном процессе должна присутствовать возможность использования алгоритмов в рамках вычислительных блоков (вершин-функций).
- Недетерминизм и параллелизм ОВМ точно не определен, что может приводить к тупикам в процессе вычислений.

Данные недостатки устранены в G-модели.

G-модель описывается следующим кортежем [2]:

(2) $\mathrm{M}_G = (\mathrm{X}, \mathrm{R}_M, \mathrm{P}_M, \Delta_M)$

где

X – конечное множество параметров (переменных), характеризующих процессы функционирования сложной системы. Природа параметров может быть произвольной.

R_M – конечное множество отношений на множестве параметров из X,

P_M – конечное множество предикатов, предметными переменными в которых являются элементы из X.

Δ_M – отображение $\mathrm{R}_M \rightarrow \mathrm{P}_M$, ставящее в соответствие каждому отношению из R_M элемент в P_M.

G-модель можно представить в виде операторной схемы и просто схемы (Рисунок 4).

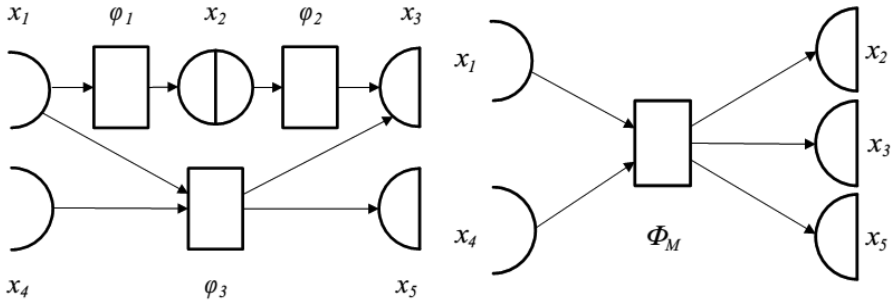


Рисунок 4 – Операторная схема (слева) и схема (справа) G-модели

Операторная схема несет в себе информацию о структуре модели, показывая структурные взаимосвязи между элементами. Простая схема G-модели отображает единственный общий оператор, выявляя параметры, которые в конечном счете могут быть вычислены.

При моделировании реальной системы с помощью G-модели, образуется полимодельный комплекс, где каждая модель представлена своей операторной схемой. Таким образом реализуется мультиагентный подход, где каждая операторная схема является автономным семантическим анализатором (или агентом). Комплекс образует совокупность слабосвязанных между собой интеллектуальных агентов, где каждый из них выполняет свою роль [2].

В терминах теории распознавания образов объект, явление или процесс характеризуется набором признаков [19-22]. При этом оценивание состояния системы обычно представляется как набор автономно формулируемых задач для каждого входящего в систему элемента или подсистемы. Зачастую не учитываются структурные взаимосвязи между соответствующими признаками, что ведет к существенному обеднению полноты свойств системы [2].

При оценивании состояния СОТО должен быть осуществлен переход от признаков элементов и подсистем к соответствующим параметрам. Иначе говоря, в каждый момент времени СОТО находится в некотором состоянии ω из потенциально бесконечного множества состояний Ω. В процессе наблюдения за объектом анализа производятся измерения, результаты которых передаются в систему анализа. В результате проведения некоторых операций в вычислительном процессе экспертной системы в G-сети (реализации G-модели для конкретной задачи) определяются значения вычисляемых параметров.

Целью мониторинга является получение обобщенных оценок совокупности параметров состояния системы, значение которых в явном виде указывают на степень работоспособности ОА, вид и место возникшей проблемы, прогнозируемые процессы и явления с заданной точностью и интервалом прогноза и пр.

В соответствии с теорией распознавания образов, полученное структурное состояние можно интерпретировать как класс состояний G. Множество измеряемых параметров, в таком случае, является пространством признаков. При этом множество измеряемых параметров является синтаксическим, а множество вычисляемых параметров – семантическим, поскольку представляют собой описание происходящих на ОА процессов.

5 Сравнение моделей представления знаний

Был проведен системный анализ классических МПЗ и продукционно-фреймовой G-модели по некоторым существенным для задачи показателям [16].

К таким показателям можно отнести отношения, в которые вступают информационные единицы системы: отношения структуризации (иерархичность), функциональные отношения, каузальные отношения (причинно-следственные), семантические отношения, отношения релевантности (семантическая метрика, ассоциативная связь).

Кроме того, к дополнительным показателям также можно отнести возможность моделирования различных типов знаний: поверхностные знания (эмпирические ассоциации, причинно-следственные отношения), глубинные знания (абстракции, образы, аналогии, структура предметной области), жесткие знания (четкие рекомендации при заданных начальных условиях), мягкие знания (множественные расплывчатые решения).

Также к существенным показателям можно отнести два различных типа вывода на знаниях: дедуктивный вывод, индуктивный вывод.

Таким образом был проведен анализ МПЗ по следующим показателям возможности моделирования (см. Таблица 2):

1) декларативно-процедурального;
2) отношений структуризации;
3) функциональных отношений;

4) каузальных отношений;
5) семантических отношений;
6) отношений релевантности;
7) поверхностных знаний;
8) глубинных знаний;
9) жестких знаний;
10) мягких знаний;
11) дедуктивного вывода;
12) индуктивного вывода.

Таблица 2 - Системный анализ классических МПЗ и G-модели

Вид модели	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	+
Продукционная модель	+	-	-	+	-	-	+	-	+	+	+	-	**6**
Формальная логическая модель	-	-	+	+	-	-	+	-	+	-	+	-	**5**
Семантическая сеть (сетевая модель)	+	+	-	-	+	+	-	+	+	+	-	-	**7**
Фреймовая модель	+	+	+	-	-	+	-	+	+	+	-	-	**7**
Продукционно-фреймовая модель (G-модель)	+	-	+	+	+	-	+	+	+	+	+	-	**9**

В результате проведенного анализа было выяснено, что G-модель обладает рядом преимуществом по сравнению с другими МПЗ при решении задачи автоматизированного мониторинга структурных состояний СОТО.

Заключение

Синтез интеллектуальной АСМ СтрС СОТО в условиях неопределенности связан с необходимостью в некоторой унифицированной методологии разработки систем мониторинга состояний сложных объектов, опирающейся на моделирование знаний экспертов. Такой методологией может выступать G-модель, которая обладает рядом преимуществ для моделирования, оценивания, анализа и прогнозирования структурной динамики СОТО. Однако, стоит отметить, что СОТО характеризуется, среди прочего, наличием организационной структуры, а также и другими структурами с заданными типами отношений, изменяющимися во времени (структурная динамика) [3]. Поскольку G-модель не учитывает полноценно отношения структуризации (иерархичность системы), необходимые для разделения потоков информации по соответствующим элементам структур СОТО, необходимо привлечение дополнительных моделей. Такой моделью может выступать модель «сущность-связь». Также необходимо учесть, что в условиях неполной или недоопределенной информации на основе получаемого СтрС возникает сложность формирования выводов для принятия решений по управлению СОТО. Для решения указанной проблемы может быть использована прецедентная методика (метод аналогий), в связи с чем необходимо введение отношения релевантности, не учитываемое в G-модели, а также метода индуктивного вывода, необходимых для формирования выводов по некоторым семантическим метрикам при сравнении анализируемого состояния и прецедентов.

Благодарности

Исследования, выполненные по данной тематике, проводились при финансовой поддержке ведущих университетов Российской Федерации: СПб ГПУ (мероприятие 6.1.1), ИТМО (субсидия 074–U01), Программы НТС Союзного государства «Мониторинг-СГ» (проект 1.4.1-1), грантов РФФИ (№№15-07-08391, 15-08-08459, 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), госзадания Министерства образования и науки РФ №2.3135.2017/К, в рамках бюджетных тем №№0073–2014–0009, 0073–2015–0007, 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] Калинин В.Н. Теоретические основы системных исследований учебник. - СПб.ВКА имени А.Ф. Можайского, 2016. - 293 с.

[2] Охтилев М.Ю. Основы теории автоматизированного анализа измерительной информации в реальном времени. Синтез системы анализа. – СПб: ВИКУ им. Можайского, 1999. – 161 с.

[3] Охтилев М.Ю., Соколов Б.В., Юсупов Р.М. Интеллектуальные технологии мониторинга состояния и управления структурной динамикой сложных технических объектов. – М.: Наука, 2006. – 410 с. – (Информатика: неограниченные возможности и возможные ограничения). – ISBN 5-02-033789-7 (в пер.)

[4] Масленникова Н.Ю., Слинкова О.К. Понятие и сущность мониторинга с позиции системного подхода // Science Time. 2014 г. Вып.№6(6). С. 110-121.

[5] 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

[6] Охтилев П.А. Программный комплекс первичной обработки информации при оценивании состояний сложных технических объектов в составе автоматизированной системы поддержки принятия решений. // Шестьдесят восьмая международная научная конференция ГУАП. Сб. докл.: в 2ч. Ч.1 Технические науки / СПб.:ГУАП., 2015. С.255 - 258: ил. ISBN 978-5-8088-1032-7 (Ч.1) ISBN 978-5-8088-1031-0

[7] Охтилев П.А. Обзор возможных подходов к оцениванию состояний сложных организационно-технических объектов//Научная сессия ГУАП: сб. докл.: В 3 ч. Ч. 2 Технические науки / СПб.: ГУАП, СПб., 2016. С.246-255.

[8] Немыкин С.А., Охтилев М.Ю., Охтилев П.А., Крылов А.В., Соколов Б.В. Анализ и обоснование подходов к созданию систем поддержки принятия решений в асу объектами военно-государственного управления // Материалы 9-й конференции «Информационные технологии в управлении» (ИТУ-2016). – СПб:ЖАО «Концерн ЦНИИ «Электроприбор», 2016. С. 185-193.

[9] Автамонов П.Н., Охтилев М.Ю., Соколов Б.В., Юсупов Р.М. Актуальные научно-технические проблемы разработки и внедрения взаимосвязанного комплекса унифицированных интегрированных систем поддержки принятия решений (СППР) в АСУ объектами военно-государственного управления // Известия Южного федерального университета. Технические науки. Вып. №3(152) – Ростов-на-Дону: Южный федеральный университет, 2014. С. 14-27

[10] Данеев А.В., Воробьев А.А., Лебедев Д.М.. Исследование динамики поведения сложных организационно-технических систем в условиях воздействия неблагоприятных факторов // Вестник Воронежского института МВД России. Вып. №2 – Воронеж: государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «воронежский институт министерства внутренних дел российской федерации», 2010. С. 163-171.

[11] Данеев А.В., Воробьев А.А., Лебедев Д.М. Применение теоретико-игровых моделей для исследования качества функционирования сложных организационно-технических систем // Вестник Воронежского института МВД России. Вып. №2 – Воронеж: государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «воронежский институт министерства внутренних дел российской федерации», 2010. С. 76-82.

[12] Соколов Б.В., Юсупов Р.М. Комплексное моделирование рисков при выработке управленческих решений в сложных организационно-технических системах // Проблемы управления и информатики – 2006, №1. С. 1 – 22.

[13] Нариньяни А.С. Модель или алгоритм: новая парадигма информационной технологии //Информационные технологии. – 1997. - № 4. – С. 11-16.

[14] Поспелов Д.А. Искусственный интеллект. – В 3-х кН. Кн. 2. Модели и методы: Справочник. – М.:Радио и связь. 1990г. – 304 с.

[15] Гаазе-Рапопорт М.Г., Поспелов Д.А. Структура исследований в области искусственного интеллекта //Толковый словарь по искусственному интеллекту /Авторы – составители А.Н. Аверкин, М.Г. Гаазе-Рапопорт, Д.А. Поспелов. – М.: Радио и связь, 1992. – С. 5-20.

[16] Гущин А.Н. Основы представления знаний: учеб, пособие / А.Н. Гущин; Балл. гос. техн. ун-т. — СПб., 2007. -31 с. ISBN 5-85546-285-4
[17] Волкова В. Н., Козлов В. Н. Моделирование систем и процессов: учебник для академического бакалавриата / В. Н. Волкова, Г. В. Горелова, В. Н. Козлов, Ю. И. Лыпарь, Н. Б. Паклин, А. Н. Фирсов, Л. В. Черненькая ; под общ. ред. В. Н. Волковой и В. Н. Козлова. — М.:Издательство Юрайт, 2014. — 588 с. — Серия: Бакалавр. Академический курс. ISBN 978-5-9916-3742-8
[18] Кон П. «Универсальная алгебра», — М.: Мир, 1969, 351 с.
[19] Вапник В.Н., Червоненкис А.Я. Теория распознавания образов (статистические проблемы обучения), М.: Наука, 1974. – 416 с.
[20] Ту Дж., Гонсалес Р. Принципы распознавания образов. Пер. с англ. И.Б. Гуревича. Под ред. Ю.И. Журавлева. М.:Мир, 1978. -411 стр.
[21] Верхаген К., Дёйн Р., Трун Ф. Распознавание образов: состояние и перспективы. Пер. с англ. М.:Радио и связь, 1985. -104с.
[22] Фу К. Структурные методы в распознавании образов./под ред. Айзермана М.:Мир, 1977. -320 стр.
[23] Тыугу Э.Х. Концептуальное программирование. – М.: Наука, 1984, - 255 с. – (Проблемы искусственного интеллекта).
[24] Murthy S. Automatic construction of decision trees from data: A multidisciplinary survey. Data Mining and Knowledge Discovery // Kluwer Academic Publishers, Boston. Manufactured in The Netherlands. 1998. 49 p.

МОДЕЛЬ ОГРАНИЧЕНИЙ СУЩЕСТВОВАНИЯ СВОЙСТВ В ОНТОЛОГИЧЕСКОМ МОДЕЛИРОВАНИИ

Д.Е. Самойлов[1, 2], В.А. Семенова[2], С.В. Смирнов[2]

[1] Самарский национальный исследовательский университет им. академика С.П. Королева,
Самара, Россия
dmitrysam3@gmail.com

[2] Институт проблем управления сложными системами РАН
443020, Самара, ул. Садовая, 61, Россия
smirnov@iccs.ru
тел: +7 (846) 332-39-27, факс: +7 (846) 333-27-70

Ключевые слова: *ограничения существования свойств, формальная онтология, онтологический анализ данных, анализ формальных понятий, формальный контекст, α-аппроксимация.*

Abstract
Objects' properties existence constraints of the subject domain are necessary knowledge for constructing of formal ontologies. The paper presents a new model of these constraints. The point of view on the constraints' genesis and the elementary binary relations of incompatibility and conditionality are combined in the model. The algorithm for crisp approximation of the "soft" formal context in ontological data analysis is described.

Введение

Эффективным подходом к автоматизации вывода *формальных онтологий* из эмпирических данных является использование теории *анализа формальных понятий* [1-5]. Разрабатываемая нами прикладная реализация этого популярного «паттерна» именуется *онтологическим анализом данных* [3, 6-8] и включает этап, когда извлеченное из исходного эмпирического материала нечеткое/нестрогое соответствие «объекты-свойства» трансформируется в содержательно такое же, но однозначное соответствие, именуемое в анализе формальных понятий *формальным контекстом* [4]. Формально это преобразование состоит в замещении нечеткого/нестрогого бинарного отношения его *сечением* уровня α, где истинностное значении α указывает субъективно устанавливаемый *порог доверия* к исходным данным [2, 3]. Однако описанная *α-аппроксимация* в общем случае не будет корректной, т.к. процедура сечения не учитывает обычно имеющиеся в исследуемой предметной области (ПрО) зависимости существования одних свойств объектов от существования других их свойств, или *ограничения существования свойств* (ОСС).

Элементарные ограничения такого рода вполне очевидны и рассматривались в литературе (см., например, [9-11]):

1) если объект обладает свойством x, то он обязательно обладает и свойством y, но обратное неопределенно (бинарное отношение *обусловленности*);
2) если объект обладает свойством x, то он заведомо лишен свойства y, и наоборот (бинарное отношение *несовместимости*).

Для разработки метода корректной α-аппроксимация формального контекста в [12] была поставлена задача построения модели ОСС как *системы* элементарных ограничений на множестве измеряемых свойств ПрО. В [13] разработана формальная двухуровневая модель ОСС, отражающая ситуацию, наиболее часто встречающуюся на практике. Однако ограниченность предложенной схемы легко обнаруживается при исследовании генезиса ОСС [14, 15].

В данной статье предлагается новая модель ОСС, в основе которой по-прежнему лежат бинарные отношения несовместимости и обусловленности свойств объектов ПрО, но и учитывается общая точка зрения на генезис ОСС. Дополнительно очерчивается определяемое такой моделью конструкция алгоритма корректной α-аппроксимация формального контекста задачи вывода формальной онтологии.

1 Иерархическая схема ограничений существования свойств

Априорные знания об ОСС отражают уровень миропонимания субъекта и доставляются некоторой *системой гипотез* [16], в соответствии с которой зондируется актуальная для исследователя ПрО. Прежде всего, эта система определяет отбор релевантной информации об объекте и/или программу измерений объекта. Генезис же ОСС имеет по нашим наблюдениям две различные по природе и проявляющиеся последовательно одна за другой составляющие:

1) определяемые априорными представлениями «*естественные*» ОСС предметной области. Например, «Рожденный ползать – летать не может!» (М. Горький, стихотворение в прозе «Песня о соколе», 1898 г.);
2) ОСС, являющиеся продуктом фундаментальной познавательной процедуры – *концептуального шкалирования* [4, 14], - которая формально означает субъективное конструирование *покрытия* динамического диапазона измерительного средства, используемого для зондирования некоторого свойства объекта. Тем самым такое свойство (или «*протосвойство*») декомпозируется и замещается группой *новых измеряемых свойств*, которые оказываются *сопряженными* в смысле их сосуществования у идентифицируемого объекта ПрО [14, 15].

Тогда, учитывая модели элементарных ООС, упоминавшихся во введении, обобщенная модель ООС должна иметь иерархическое устройство, отражающее:

1) точку зрения о генезисе ОСС в форме бинарного отношения *вложенности* между ГСС - *группами сопряженных свойств* (см. пример на рисунке 1);
2) сопряженность измеряемых свойств *внутри* каждой ГСС, которая определяется отношениями обусловленности и несовместимости свойств (см. пример на рисунке 2). Необходимо и достаточно, чтобы всякое свойство в ГСС участвовало, *по меньшей мере, в одном* из этих отношений с другим свойством в данной группе.

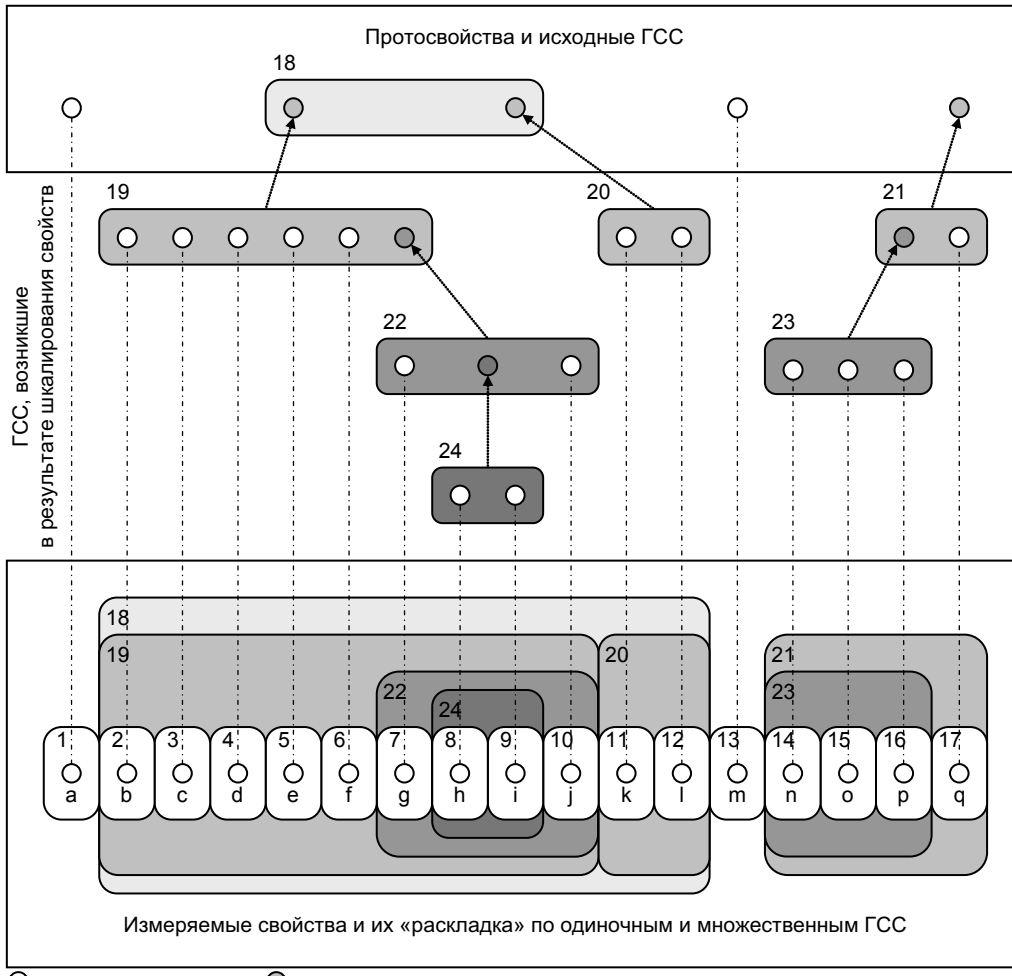
В целом допустимые конфигурации сопряженных пар измеряемых свойств внутри ГСС определяются очевидными свойствами симметрии бинарных отношений обусловленности и несовместимости:

- обусловленность рефлексивна, асимметрична и транзитивна;
- несовместимость антирефлексивна, симметрична и нетранзитивна.

Отсюда, в частности, следует, что каждое измеряемое свойство *самообусловлено* (рисунок 2а) и поэтому для унификации может рассматриваться как *одиночная* ГСС (в противоположность *множественным* ГСС). Кроме того, легко показать [9], что несовместимость «*транзитивна относительно обусловленности*»: если свойство x обуславливает свойство y, а y несовместимо со свойством z, то x и z несовместимы.

Отметим также, что концептуальное шкалирование измеряемых *свойств-валентностей* (одна сопряженная пара таких свойств имеется на рисунке 2б), благодаря которым в анализ формальных понятий удается органично и эффективно внедрить механизм описания произвольных бинарных *структурных отношений* между выводимыми понятиями [16, 17], для сохранения присущим свойствам-валентностям особенностей должно подчиняться следующим правилам:

- валентность допустимо подвергать лишь *номинальному* шкалированию [14, 15];
- шкалированию должны подвергаться оба сопряженных свойства-валентности с *изоморфизмом* (биективным соответствием) шкал для каждого члена пары.



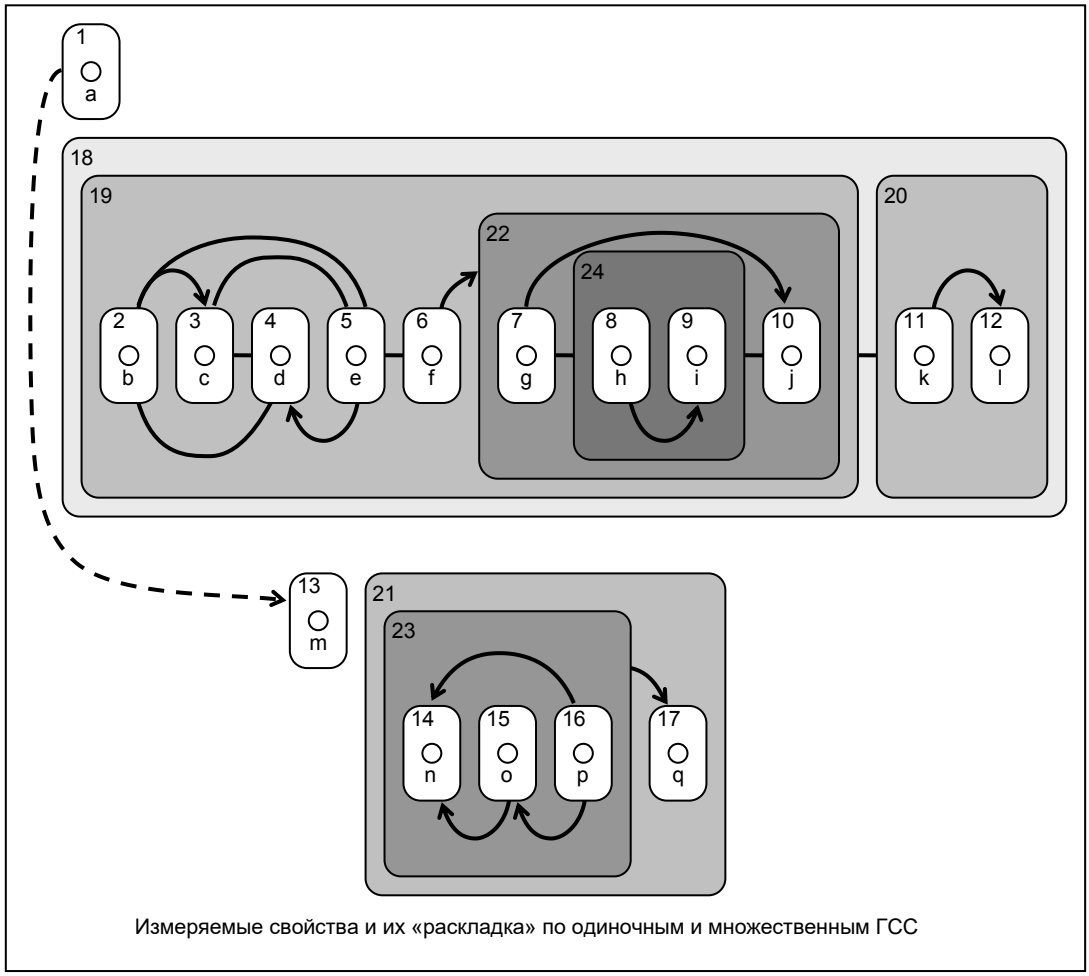
○ - измеряемое свойство; ◎ - протосвойство, подвергнутое шкалированию;
⬭ - группа сопряженных свойств (внутри контура – «вложенные» измеряемые свойства и ГСС);
↗ - связи, реализующие отношение вложенности; ⋰ - соответствие фигур на рисунке;
буквами поименованы измерительные свойства, цифрами - группы сопряженных свойств.

Рисунок 1 - Генезис возникновения и структурная организация групп сопряженных свойств (ГСС)

2 Алгоритм корректной аппроксимации формального контекста

Введение новой иерархической модели ОСС не влечет пересмотр *эвристики*, предложенной в [12] для корректирования α-аппроксимации формального контекста задачи вывода формальной онтологии: субъект свободен в выборе порога доверия к исходным данным, а соответствующий порогу и в общем случае недопустимый состав свойств исследуемого объекта следует последовательно *сокращать* за счёт локального ужесточения порога доверия для отсечения на каждом шаге свойства, нарушающего ОСС. Основным критерием выбора измеряемого свойства для отсечения служит *минимальное ужесточение* порога доверия, установленного субъектом [3, 7].

а) «Самообусловленность» всякого отдельного измеряемого свойства «x»,
определяющая существование соответствующей одиночной ГСС «X»



Измеряемые свойства и их «раскладка» по одиночным и множественным ГСС

б) Пример сопряженности измеряемых свойств и групп сопряженных свойств
(самообусловленность измеряемых свойств опущена)

○ - измеряемое свойство; ⬭ - группа сопряженных свойств;

／ - несовместимость; ↗ - обусловленность;

↗ - связь сопряженных измеряемых свойств-валентностей, определяющих
существование бинарного отношения между объектами предметной области

Рисунок 2 - Сопряженность измерительных свойств и групп сопряженных свойств (ГСС)

Соответствующий эвристический метод рациональной α-аппроксимации *результативен* [3, 13], однако в силу иерархической структуры модели ОСС реализующий его алгоритм, представленный в [3, 7], должен быть существенно *переработан*.

Суть необходимой модификации заключается в изменении содержания главного цикла алгоритма, где для каждого объекта обучающей выборки последовательно должны быть выполнены две рекурсивные процедуры:

- первая вычисляет для каждой ГСС «*ложь-порог*» - локальный порог доверия, устанавливающий отсечение всех вложенных в группу измеряемых свойств и ГСС (формально отсечение происходит при выборе локального порога доверия в определенной *малой окрестности* «ложь-порога» ГСС);
- вторая опирается на результаты первой и реализует собственно используемую эвристику. При этом для каждой ГСС вычисляется локальный «*истина-порог*», устанавливающий корректное (т.е. не нарушающее ОСС) присутствие в идентифицируемом составе свойств объекта *хотя бы одного* измеряемого свойства из числа вложенных в данную группу измеряемых свойств или ГСС. Если таких измеряемых свойств не найдется, то в результате выполнения процедуры «истина-порог» у рассматриваемой ГСС оказывается равным ее «ложь-порогу».

После выполнения этих процедур в пределах каждой ГСС рассматриваемого объекта производятся локальные α-сечения отвечающей объекту строки исходного нечеткого/нестрогого соответствия «объекты-свойства» (см. введение) с порогами доверия равными «истина-порогам» этих ГСС.

В результате такой циклической обработки либо будет сформирован искомый корректный (в смысле соблюдения ОСС) однозначный формальный контекст задачи вывода формальной онтологии, либо будет установлено, корректная α-аппроксимация исходного нечеткого/нестрогого соответствия «объекты-свойства» невозможна вследствие обнаружения *неустранимого противоречия* в эмпирических данных, состоящего в присутствии в «мягком» соответствии однозначно истинных оценок инцидентности «объект-свойство», нарушающих ОСС.

Заключение

Предложенная модель обобщает формальные схемы ОСС, ранее построенные в работах авторов. Так в модели, рассматривавшейся в [12], существование ОСС на уровне протосвойств (см. рисунок 1) не допускалось, второй же уровень (а других не предусматривалось) могли образовывать измеряемые свойства, сформированные исключительно номинальным шкалированием некоторых из протосвойств (т.е. моделировались ГСС только с парной несовместимостью). В двухуровневой модели ОСС в [3, 13] была допущена возможность образования *произвольных* ГСС на уровне протосвойств.

Вместе с тем, новая модель ОСС адекватна ранее разработанному эвристическому подходу к однозначной аппроксимации формального контекста задачи вывода формальной онтологии. Разумеется, алгоритм коррекции стандартного α-сечения исходного «мягкого» соответствия «объекты-свойства» существенно изменяется, лишаясь некоторой специфики, которая была связана с наличием лишь одного видом сопряженности на втором уровне [7, 13], и приобретая рекурсивные составляющие для обработки иерархической и самоподобной на каждом уровне иерархии модели ОСС.

Благодарности

Статья подготовлена по материалам научных исследований в рамках субсидированного государственного задания Институту проблем управления сложными системами РАН на 2017 год на НИР по теме «Интерсубъективное управление инновационным развитием социотехнических объектов с применением онтологических моделей ситуаций».

Список литературы

[1] Obitko, M. Ontology Design with Formal Concept Analysis / M. Obitko, V. Snasel, J. Smid // Proc. of the CLA 2004 International Workshop on Concept Lattices and their Applications (Ostrava, Czech Republic, September 23-24, 2004). V. Snasel, R. Belohlavek (Eds.). - P. 111-119.

[2] Yang, K.M. Fuzzy Concept Mining based on Formal Concept Analysis / K.M. Yang, E.H. Kim, S.H. Hwang, S.H. Choi // Int. J. of Computers. - 2008. – Issue 3, Vol. 2. – P. 279-290.

[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] Ganter, B. Formal Concept Analysis. Mathematical foundations / B. Ganter, R. Wille. - Berlin-Heidelberg: Springer-Verlag, 1999. - 290 p.

[5] Formal Concept Analysis Homepage - http://www.upriss.org.uk/fca/fca.html

[6] 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.

[7] 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): Материалы VI международной научно-технической конф. (18-20 февраля 2016 г. Минск, Беларусь) / Редкол.: В.В. Голенков (отв. ред.) [и др.]. – Минск: БГУИР, 2016. – С. 83-88.

[8] 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.

[9] Lammari, N. Building and maintaining ontologies: a set of algorithms / N. Lammari , E. Metais // Data & Knowledge Engineering. – 2004. - Vol. 48(2). - P. 155-176.

[10] 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.

[11] Закревский, А.Д. Логика распознавания / А.Д. Закревский. - Мн.: Наука и техника, 1988.

[12] 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.

[13] Семенова, В.А. Модели и методы интеллектуального анализа неполных данных для построения формальных онтологий. / В.А. Семенова, С.В. Смирнов // Информационные технологии и нанотехнологии (ИТНТ-2015): Материалы международной конф. и молодежной школы (29 июня-1 июля 2015 г., Самара, Россия). – Самара: Изд-во СамНЦ РАН, 2015. – С. 192-196.

[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] Смирнов, С.В. Онтологический анализ предметных областей моделирования / С.В. Смирнов // Известия Самарского научного центра РАН. - 2001. - Т. 3, № 1. - С. 62-70.

[17] 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.

ОПЕРАТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ РЕСУРСАМИ ЦЕХОВ ПРЕДПРИЯТИЙ НА ОСНОВЕ МУЛЬТИАГЕНТНОГО ПОДХОДА

П.О. Скобелев[1], А.А. Жиляев[1,2], И.В. Майоров[2,3], В.Г. Елисеев[2], В.С. Травин[2], Е.В. Симонова[1,2]

[1]Самарский национальный исследовательский университет им. академика С.П. Королёва
443086, Самара, Московское шоссе, д.34, Россия
тел: + 7 (846) 335-18-26

[2]ООО «НПК «Разумные решения»
443013, Самара, ул. Московское шоссе, 17, офис 12-01, Россия
info@smartsolutions-123.ru
тел: +7 (846) 279-37-79

[3]Самарский государственный технический университет
443100, Самара, ул. Молодогвардейская, д. 244, Россия
тел: + 7 (846) 278-43-11

Ключевые слова: *ситуационное управление, мультиагентные системы, событийное планирование, самоорганизация, системы распределения ресурсов, реальное время*

Abstract

The distributed system of operational shop floor scheduling for resource management has been developed based on multi-agent principles. A description of the situation model that is used in the scene of interacting agents is introduced. Expansion of the network of demand and resource agents is proposed. A planning algorithm has been developed using the enterprise agent for management of scheduling criteria. Implementation of the system includes workplaces of workshop chief, foreman, planner, technologist, rate setter, and dispatcher. Communication between them is carried out in the distributed network of the enterprise. The system provides adaptive event-based scheduling of incoming orders in real time.

Введение

На современном этапе развития производственных систем управления и планирования распределением ресурсов возникают значительные трудности, характерные для предприятий, работающих в условиях неопределенности. Неопределенность связана с проблемами учета множества разнородных факторов, таких, как необходимость индивидуального подхода к каждому заказу, динамика цен на комплектующие, вариативность поставок от предприятий-смежников, срыв сроков, непрерывное изменение в технологиях, поступление различных событий, прямо затрагивающих производственные процессы в цехах и на предприятии в целом.

Существующие MES системы (Manufacturing Execution System, система управления производственными процессами) обладают широким функционалом, интегрированностью с исполнительными модулями, поддерживают производственные процессы от выпуска до формирования на доставку. Однако, они лишены инструментов поддержки принятия решений и реакций на динамические ситуации, когда об их появлении заранее не было известно [1,2].

Внедрение новых автоматизированных и роботизированных комплексов требует интеграции высокого уровня по всем звеньям производства. Планы, которые формируют корпоративные ERP системы (Enterprise Resource Planning, планирование ресурсов предприятия), поступают в MES и применяются на цеховом уровне. Поскольку современные компании сталкиваются с проблемой удовлетворения спроса заказчиков в клиент-ориентированной рыночной среде и интенсивной конкуренцией, для производства становится

наиболее важным справляться с динамическим спросом клиентов и быстро меняющейся ситуацией в каждом цехе. Несмотря на то, что современные MES системы в некоторой степени учитывают необработанные данные, они не занимаются их анализом и не оказывают влияния на функции управления производством при принятии решений. Поэтому перспективным направлением является интеграция цеховых систем с системами принятия решений, т.н. Smart MES (интеллектуальные системы управления цехового уровня) [3].

Трудовые ресурсы предприятий также подвержены высокой динамике, к которой следует отнести текучесть кадров, постоянные процессы переобучения, изменения в квалификации, требующие перераспределения работников для роста эффективности использования, выравнивание загрузки в производственных циклах – все это свидетельствует о необходимости событийного планирования ресурсов [4].

Поэтому поддержка производственных планов в адекватном состоянии на всех уровнях с учетом неопределенных по времени и характеру поступления изменений становится актуальной задачей. Современные интегрированные системы производства должны гибко и оперативно реагировать на события, учитывать распределенный характер, отсутствие централизации в большинстве подсистем управления, самостоятельно принимать решения по коррекции и парированию непредвиденных ситуаций и выдавать обновленные согласованные планы [5].

Основные принципы построения и реализации таких систем рассмотрены в [6].

Решение такой плохо формализованной задачи должно происходить в реальном времени, поэтому система управления должна строиться на сетецентрических принципах и быть адаптивной к изменениям.

В настоящее время широкое распространение получили мультиагентные методы, основанные на решении динамических задач распределения ресурсов в среде взаимодействующих между собой агентов, которые действуют параллельно и асинхронно, совместно получая решение сложной задачи путем самоорганизации. Этот принцип в корне отличается от централизованного подхода и похож на процессы самоорганизации в живой природе. Перспективы применения мультиагентных систем в различных приложениях рассмотрены в [7], где рассматриваются основные архитектуры агентных систем и обсуждаются вопросы их дальнейшего развития.

1 Постановка задачи оперативного планирования

Рассматривается сборочное производство в цехах авиастроительного предприятия. Задано множество заказов на изготовление изделий с номерами $i = \overline{1,n}$. Каждый заказ характеризуется наименованием изделия и ограничениями на время выполнения (момент поступления заказа r_i, директивный срок завершения d_i). Для изделия задан технологический процесс его получения в виде последовательности операций. Для операций указаны необходимые детали и сборочные единицы, требования к исполнителям, оборудованию, технологической оснастке, инструменту, материалам, с описанием характеризующих их свойств (признаков, качеств, квалификаций и т.п.). Перечень таких свойств заранее неизвестен и подлежит изменению в процессе функционирования системы. Операции могут быть упорядочены между собой посредством отношений предшествования. Продолжительность каждой операции определяется ее трудоемкостью. Допускается возможность наличия альтернативных вариантов выполнения операции с использованием различного состава ресурсов и с различной продолжительностью.

Задано текущее состояние производственных ресурсов:

1) состав и доступность оборудования и технологической оснастки;
2) состав и календарь работы персонала;
3) наличие требуемых комплектующих и материалов.

Для заданного набора заказов и доступных ресурсов задача планирования заключается в расчете расписания выполнения заказов, определяющего распределение ресурсов по задачам и точное время их выполнения с точки зрения показателей эффективности:

1) выполнение заказов как можно раньше (ASAP) или точно в срок (JIT);
2) повышение выработки на каждого сотрудника;
3) уменьшение времени пролеживания продукции и др.

Получаемое решение должно удовлетворять ограничениям по производительности и графику работы ресурсов: ресурс может одновременно выполнять только одну операцию. После завершения выполнения операции освобожденные ресурсы могут быть мгновенно назначены на обслуживание других заказов. При наличии нескольких допустимых вариантов расписания необходимо выбрать решение, близкое к оптимальному.

Задача может быть отнесена к классу задач построения расписания выполнения работ проекта с учетом ограничений на ресурсы (Resource-Constrained Project Scheduling Problem – RCPSP). Однако, по сравнению с базовой постановкой, имеется ряд дополнительных расширений:

1) выполнение операции требует одновременного задействования группы ресурсов, каждый из которых характеризуется индивидуальным графиком работы;
2) выполнение операции может быть прервано вследствие ограничений, накладываемых доступностью ресурсов;
3) операции могут быть косвенно упорядочены между собой через производимые и потребляемые сборочные единицы;
4) процедура подбора ресурсов должна поддерживать расширяемый набор критериев.

Кроме того, необходимо учитывать возможные изменения в технологии сборочных операций, события появления ограничений в доступности оборудования и персонала, срыва поставки комплектующих, планирование новых заказов и др.

2 Принципы мультиагентного планирования ресурсов

Мультиагентная система состоит из агентов различных типов со своим поведением, характеристиками, ограничениями и целями. Агенты как компьютерные программы могут быть написаны на разных языках, работать на различных платформах и быть распределенными в компьютерной сети. Мультиагентные системы обычно носят открытый характер и содержат переменное число агентов: агенты могут входить в среду взаимодействия и покидать ее.

Основные свойства агентов заключаются в следующем:

1) Автономность агента связана со способностью действовать целенаправленно для достижения результата, без внешнего управления со стороны других систем. Агент контролирует свои действия и состояние внутренних переменных.
2) Агенты обладают социальным поведением – взаимодействуют с другими агентами в кооперации для выполнения общей задачи и согласованно разрешают конфликты с достижением консенсуса [8].
3) Агенты обладают реактивностью – получают события из внешней среды и реагируют на изменения в ситуации, при этом их поведение корректируется согласно изменениям и целям.
4) Проактивность агентов заключается в стремлении достичь цели, непрерывно улучшая характеристики внутреннего состояния.

Главное свойство агента – автономность, наличие целей и способов их достижения, реакция на изменения в среде. Особенности применения и принципы построения мультиагентных промышленных систем рассмотрены в [9, 10]. Агенты в сети потребностей и

возможностей имеют свои собственные цели, ограничения и предпочтения, в режиме проактивного улучшения показателей взаимодействуют на виртуальном рынке системы.

Под виртуальным рынком системы $M = \{A, L, P, Z\}$ понимается множество классов агентов в сети потребностей и возможностей (например, агентов ресурсов R и задач D), которые имеют виртуальные деньги Z для покупок и продаж мест в расписании и установления связей L между собой, а также видов протоколов P переговоров агентов в процессах купли-продажи.

Для оценки состояний у агентов имеются настраиваемые функции удовлетворенности текущим состоянием каждого показателя, принимающие значения от 0 до 1. Вводятся также бонус-штрафные функции агентов, при помощи которых агенты оценивают виртуальную стоимость изменения параметров и принимают решения о требованиях к другим агентам по возможным компенсациям за ухудшение своего состояния. Таким образом, агенты задач и ресурсов (потребностей и возможностей) взаимодействуют на виртуальном рынке в «сцене мира системы». Виртуальный рынок системы введен для описания взаимодействий с единых позиций. Агенты задач на виртуальном рынке покупают необходимые им ресурсы, резервируют части расписания, а агенты ресурсов стремятся подобрать более выгодные задачи за меньшую виртуальную стоимость.

Сеть агентов потребностей и возможностей в производственных системах расширена новыми типами агентов (таблица 1).

Таблица 1 – Классы агентов в системе управления ресурсами

№ пп	Класс агента	Функции агента
1	Агент заказа	Выбирает технологический процесс (из альтернативных) и контролирует план и факт
2	Агент технологического процесса	Планирует задачи и контролирует сроки и получаемые результаты по процессу
3	Агент подразделения	Управляет загрузкой сотрудников подразделений (цехов, участков, рабочих)
4	Агент задачи	Ищет лучшего рабочего по списку компетенций и согласовывает сроки выполнения задачи, контролирует выполнение
5	Агент рабочего (сотрудника)	Планирует задачи, подходящие сотруднику, контролирует загрузку и результаты
6	Агент оборудования, оснастки	Планирует операции и переходы, подходящие по его типу, подбирает сотрудников по квалификации, контролирует загрузку
7	Агент изделия (продукта)	Оценивает результаты, не допускает пролеживания
8	Штабной агент	Находит и исправляет «узкие места» в планах и анализирует риски

В предложенном подходе особая роль отводится штабному агенту подразделения. Штабной агент подразделения не управляет распределением ресурсов, а только определяет

критические участки расписания и предоставляет агентам задач и ресурсов (при возможности) виртуальную валюту для оплаты изменений в расписании у других агентов. Штабной агент определяет по выбранным критериям «худшие» участки расписания, которые не удалось исправить проактивностью заказов и ресурсов.

Найденные наиболее проблемные участки (заказы, технологические процессы, связанные задачи и ресурсы) сохраняются и далее могут быть локально распланированы, после чего им может быть изменена задача – даны новые требования с измененными в нужную сторону значениями весовых коэффициентов в компонентах функции удовлетворенности, в направлении улучшения выбранных критериев, которые в данный момент имеют худшие значения.

Мультиагентный подход в значительной мере преодолевает недостатки традиционных систем планирования, в которых основным является применение математических методов оптимизации на основе комбинаторных переборов с различными эвристиками. В агентных системах решения сложных задач производится путем достижения консенсуса между агентами на виртуальном рынке. Расширение типов участвующих агентов, гибкая настройка на предметную область, учет связей позволяют строить динамические расписания, удовлетворяющие требованиям реальных производственных систем.

3 Модель ситуации

Для реализации оперативного управления ресурсами цеха по событиям и учета особенностей динамики заказов, технологий их реализации, возможностей ресурсов, микроэкономики цеха, ряда других предпочтений и ограничений вводится модель ситуации.

Пример критериев, важность которых может меняться по ситуации: качество продукции, сроки поставок различных заказов, загруженность ресурсов, стоимость, риск. В некоторый момент времени для цеха важна прибыль, затем – срок и т.д. Требуется управлять каждым заказом и продуктом, задачей и ресурсом, индивидуально учитывать его критерии и приоритеты.

Таким образом, состав критериев и их важность может меняться в процессе решения задачи управления ресурсами, причем в любой момент и со стороны любой из сущностей при возникновении новых событий в реальном времени. В этой связи в ситуационном подходе требуется строить и поддерживать решение (расписание) в консенсусе участвующих сущностей.

Предлагается формализованная модель ситуации предприятия, которая задается кортежем

(1) $S(i) = \{History, Scene, Plan, KPI\},$

где S – состояние предприятия,

History – история принятых решений по предыдущим событиям (лог событий),

Scene – семантическая сеть, показывающая состояние и связи между заказами и ресурсами, задачами, продуктами и т.д.,

Plan – расписание использования ресурсов,

KPI – показатели эффективности работы подразделения (прибыль и др.),

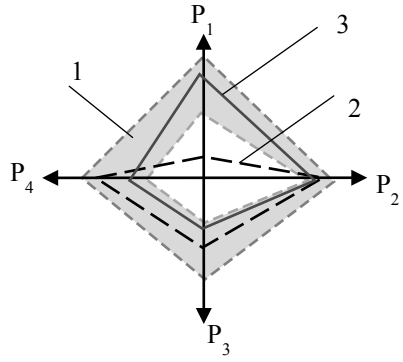
i – индекс, нумерующий состояние. Расписание с установленными связями между заказами и ресурсами рассматривается как ПВ-сеть, показывающая результат самоорганизации агентов потребностей и возможностей на виртуальном рынке предприятия, где установление, изменение или разрыв связи при согласии обоих партнеров трактуется как элементарный акт самоорганизации.

Тогда

(2) $S(i+1) = F(S(i), Event(i)),$

где S – новое устойчивое состояние, в которое цех переходит в процессе F в случае поступления события *Event*. Новое состояние отражает новое установившееся локальное равновесие при поиске баланса интересов агентов системы. Задача ситуационного управления ресурсами цеха определяется как задача максимизации прироста $K(i+1)$ для позитивных событий, связанных с приходом новых заказов, и минимизации ущерба $K(i+1)$ при негативных событиях, обусловленных выходом ресурсов из строя, недоступностью работников, отсутствием комплектующих.

На рисунке 1 показатель P_1 имеет наихудшую величину, вне области допустимых значений, и за счет некоторого ухудшения значения показателей P_3 и P_4 улучшается.



P_1-P_4 – показатели, 1 – область допустимых значений, 2 – значения показателей до события *Event*, 3 – значения показателей после акта самоорганизации

Рисунок 1 – Улучшение показателя с наихудшим значением в итерационном процессе

Такое развитие мультиагентного подхода и виртуального рынка допускает ситуационное управления ресурсами, итерационно работающее от «узкого звена» по тому критерию, где наблюдаются худшие значения.

Жизненный цикл событий связан с набором значений времени, которыми характеризуются этапы каждого события при помощи фиксации временной метки. В числе таких событий, например, может быть приход нового заказа, изменение сроков, поступление комплектующих и др.

При этом рассматривается и фиксируется следующая последовательность важнейших моментов жизненного цикла событий:

T1 – момент времени возникновения проблемной ситуации в производственном цехе;

T2 – момент времени, когда сообщение поступило в систему планирования цеха;

T3 – момент времени, когда событие отправлено на планирование и принятие решений по отработке нового события;

T4 – момент времени, когда была завершена отработка события и проведена адаптация плана к новому событию: предлагается перераспределение ресурсов, перепланирование, оптимизация, прогноз, перевод сотрудников между подразделениями и другие решения для цеха;

T5 – момент времени, когда выработанные и предложенные решения были доведены до исполнителей (получено согласие от исполнителя);

T6 – момент времени, когда пользователь исправил решение и принял финальное решение по управлению ресурсами, создав или утвердив новый план;

T7 – момент времени, когда новый план был выполнен в цехе.

Промежуток времени между T3 и T4 соответствует времени обработки события в системе, между T1 и T7 –времени адаптации производства к возникшему непредвиденному

событию (класс события известен, но совершенно не известно заранее, что именно случится и когда).

Фиксация указанных времен T1 – T7 позволяет по каждому событию оценить степень оперативности (и далее – адаптивности) системы (и управления в целом) на каждое событие на каждом автоматизированном рабочем месте каждого цеха, а также выявить участки и примеры событий, где имеется наибольший простой ресурсов и потери производства.

Эти возможности становятся исключительно важными для развития принципов бережливого производства: интервал времени от выявления проблемы – до принятия решений и их реализации (Time-To-Decision – Time-To-Go), что позволяет уменьшить данные интервалы и наглядно показывает преимущества работы системы в реальном времени [10].

4 Применение базы знаний

Агенты системы планирования настраивают свои свойства и поведение при помощи обращения к базе знаний на основе онтологии [11], которая учитывает детальные знания об индивидуальных особенностях объектов и процессов предметной области авиастроения, в том числе, конкретного сборочного производства цеха.

Онтологии формализуют предметные знания, влияющие на логику планирования, в виде семантических сетей классов понятий («задача», «заказ», «техпроцесс», «продукт», «ресурс» и др.) и отношений, таких как «состоит из», «обладает свойством», «является условием», «предшествует», «требует» и т.д.

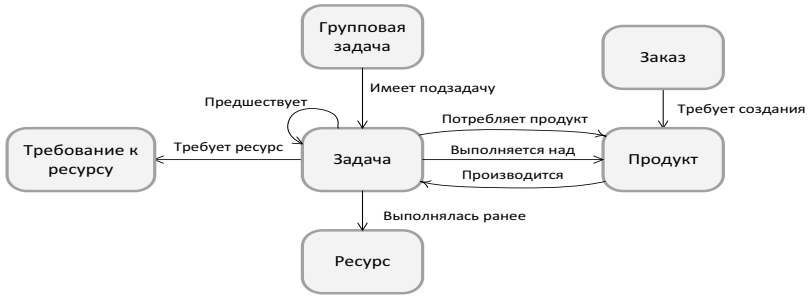


Рисунок 2 – Базовые отношения задач, ресурсов, продуктов и заказов

Примеры таких предметных знаний могут включать не только общепринятые описания структуры изделий и технологий их изготовления, типов оборудования и компетенций рабочих, комплектующих и материалов, но и более подробные данные о входящих в сборку комплектующих, детальные сведения о рабочих в группах. Например, наличие сведений о «закладных» деталях позволит при их наличии начать сборку с дефицитом некритичных комплектующих; знания о компетенциях по выполнению тех или иных операций и предпочтениях рабочих, таких, как совместимость работы в группе позволит более качественно подобрать исполнителей работ и т.д.

На рисунке 3 представлен пример семантической сети сборки изделий из многих компонентов.

На основе терминов языка предметной области в системе записываются правила, определяющие или связывающие параметры, что упрощает процесс планирования.

Формализация такого рода знаний позволят на новой основе собирать, систематизировать, обобщать и применять знания в системе оперативного цехового планирования.

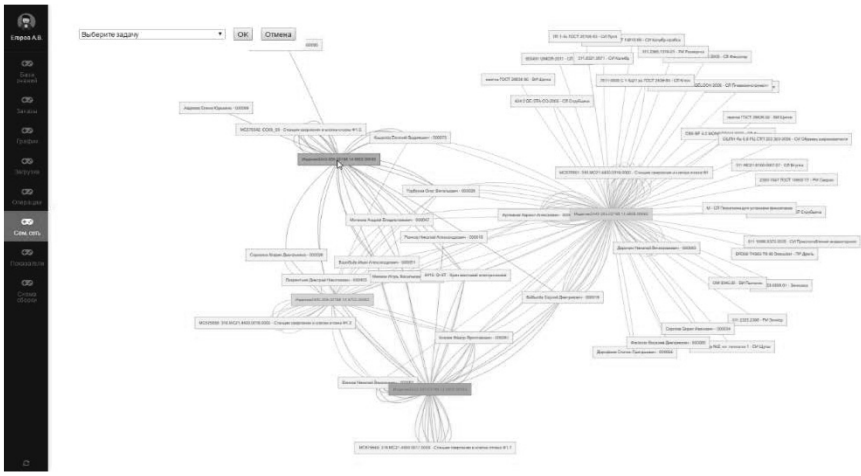


Рисунок 3 – Семантическая сеть сборочного производства

Онтологическое описание структуры участков и процессов работы позволяет создать онтологическую модель цехов, а далее – онтологические модели ситуаций, необходимые для адаптивного перепланирования ресурсов по событиям.

В основе онтологических описаний модели цехового производства лежит понятие «Задачи» на выполнение технологической операции, которое является основным для системы планирования цеха (рисунок 4).

Рисунок 4 – Онтологическая модель понятия «Задача» технологического процесса для планирования

Агенты задач в системе планирования, имея сценарии обработки свойств «предшественники-последователи», требований к ресурсам, «часть-целое», «входные и выходные объекты», требования к исполнителям (1-8 на рисунке 4), могут выполнять ранее неизвестные им типы задач без перепрограммирования поведения. Аналогичным способом строится онтологическое описание ресурса, которое использует агент.

Таким образом, в мультиагентной системе планирования применяется онтология для конкретизации условий, критериев, сценариев планирования, которые могут быть изменены в процессе работы при помощи событий.

5 Реализация метода цехового планирования

Основной метод адаптивного планирования на примере планирования заказа (на сборку определенной технологической сборочной единицы) в оперативном планировщике цеха состоит в следующем:

1) агент поступившего заказа считывает из базы знаний технологический процесс, связанный с производством данной сборочной единицы;
2) создается агент технологического процесса (может быть несколько при наличии альтернативных процессов);
3) агент технологического процесса получает требования заказа к исполнению и создает агентов задач (операций);
4) агенты задач отправляют запросы всем ресурсам необходимого типа с описанием требований и предлагаемой цены;
5) агенты ресурсов, оценивая свои текущие расписания и значения показателей, подсчитывают стоимости и времена выполнения, на начальной стадии избегая конфликтов;
6) агенты задач сообщают о своих вариантах исполнения агентам технологических процессов, которые собирают и анализируют информацию, чтобы помочь задачам запланироваться каким-либо начальным образом;
7) агент заказа выбирает такое предложение, которое является наилучшим в текущей ситуации по наименьшей цене и будет ближайшим к предельному сроку заказа на основе модифицированного протокола контрактов;
8) если удовлетворительных предложений нет и расписание не складывается, но еще есть время на поиск и анализ вариантов, начинают рассматриваться варианты с конфликтами и делается запрос агентам ранее запланированных задач на предмет возможности освободить место и перебросить их для выполнения на другие ресурсы или произвести сдвиги для размещения неудовлетворенного заказа, с предварительным анализом вариантов стоимостей, удовлетворенностей и рассчитываемой по ситуации компенсации ухудшений сдвигаемых или перераспределяемых заказов;
9) агенты ресурсов при своей недостаточной загрузке снижают виртуальную стоимость оставшихся свободными слотов расписания или повышают её для слотов, пользующихся особым спросом, в случае высокой загрузки;
10) после завершения первой фазы начального планирования начинает работать вторая фаза проактивного улучшения, когда каждый агент заказа или ресурса по своим показателям делает попытку улучшить решение;
11) ресурсы опрашивают заказы на других ресурсах, а заказы – другие ресурсы для получения предложений по перестроению расписания. Если предложенное решение улучшает локально пересчитываемые показатели системы в целом, оно принимается, если нет – отвергается;
12) если ни один из агентов не может улучшить свое состояние и состояние системы в целом, завершается вторая фаза проактивного улучшения плана и фиксируется решение задачи для пользователя;
13) далее по желанию пользователя или в автоматическом режиме начинается третья фаза – начинает работать штабной агент, который пытается определить «худшие» участки расписания по выбранным критериям, которые не удалось исправить проактивностью заказов и ресурсов;
14) найденные наиболее проблемные участки (заказы, технологические процессы, связанные задачи и ресурсы) сохраняются и далее могут быть локально распланированы, после чего им может быть изменена задача, т.е. даны новые

требования с измененными в нужную сторону значениями весовых коэффициентов в направлении улучшения значений выбранных критериев;

15) в ходе нового планирования, даже если у агента не получается добиться улучшения ранее полученного результата, в процессе переговоров будет получена новая оценка цены для возможного достижения требуемых улучшений и соответствующая сумма с возможным приростом ценности может быть запрошена от штабного агента в обмен на предложение улучшить результат системы в целом;
16) если результат улучшается, новое решение фиксируется и старое отбрасывается, иначе процесс может продолжаться;
17) при этом в любой момент пользователь может остановить процесс вычислений (заморозить расписание) и интерактивно (вручную) осуществить перераспределение заказов между ресурсами и изменение расписания, что будет сопровождаться автоматическим пересчетом и выводом основных показателей.

Метод позволяет учитывать изменения атрибутов агентов в реальном времени.

Реализация системы оперативного цехового планирования была выполнена с помощью модулей платформы, разработанной в ООО «НПК» Разумные решения» [12], и включает автоматизированные рабочие места начальника цеха, мастера, плановика, технолога, нормировщика и диспетчера.

В качестве примера рассматривается автоматизированное рабочее место мастера. Мастер работает с производственными заказами на уровне группы исполнителей со сменно-суточными заданиями, распределяет сменные задания на исполнителей, осуществляет мониторинг и контроль каждого участника группы, вводит события по перепланированию расписаний и др. Динамическое расписание, создаваемое агентами системы планирования, отображается в виде гант- и перт- диаграмм, учитывающих загрузку ресурсов исполнителей. Предоставлена возможность назначать периоды недоступности ресурсов, учитывающие события невыхода на работу, создания календарей отпусков, ремонтов оборудования. На рисунке 5 представлен один из видов экрана рабочего места мастера. На расписании показываются задачи, выполняемые работниками на выбранном интервале времени, и загрузка в часах по отношению к плановой загрузке.

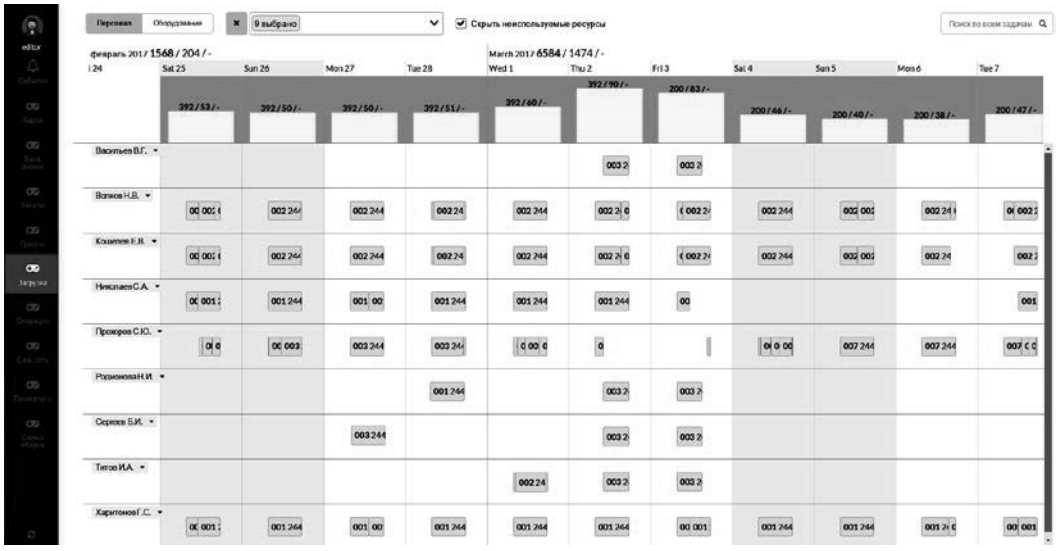


Рисунок 5 – Рабочее место мастера с диаграммой загрузки исполнителей

Аналогичные экраны с планами для всех участков имеются у начальника цеха, плановика, диспетчера и технолога. На экранах в табличной форме и в виде диаграмм также отображаются операции по техпроцессам, недоделы и переделы с процентами выполнения, последовательности сборки, показатели по группам критериев, такие как опоздания, риски невыполнения, суммарные загрузки, текущие стоимости планирования и др.

Данные обновляются по окончанию обработки поступающих событий от рабочих мест всех участников производственного процесса, что приводит к динамическому перепостроению планов.

Заключение

Существующие системы управления ресурсами цехового уровня сталкиваются с значительными трудностями, поскольку необходим учет непредвиденных событий, нарушающих созданные планы. Предлагается мультиагентная система оперативного планирования цехов сборочного производства, основанная на применении событийной модели и ситуационном управлении. Поступающие в систему события активизируют агентов расширенной сети потребностей и возможностей, которые частично перестраивают текущие планы, находясь в непрерывном процессе проактивного улучшения. Создаваемые планы каждого подразделения строятся на основе самоорганизации в сети агентов. Разработана база знаний системы авиастроительного производства, учитывающая конкретную предметную область. Предложенная конструкция связей и отношений между концептами позволяет агентам системы планировать новые типы задач. Применение онтологии ограничивает возможные комбинаторные переборы и ускоряет процесс поиска решений в реальном времени.

Разработанные методы применены при создании распределенной системы цехового планирования в автоматизированных рабочих местах начальника цеха, технолога, нормировщика, мастера, диспетчера, плановика.

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), pp.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), pp. 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, pp. 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, pp. 126–140.
[6] G. Rzevski, P. Skobelev. Managing complexity. WIT Press, 2014, 198 p.
[7] Городецкий В.И., Бухвалов О.Л., Скобелев П.О. и др. Современное состояние и перспективы индустриальных применений многоагентных систем / Управление большими системами. Выпуск 66. М.: ИПУ РАН, 2017. – С.94-157.
[8] Виттих, В.А. Принятие решений на основе консенсуса с применением мультиагентных технологий / В.А. Виттих, Т.В. Моисеева, П.О. Скобелев // Онтология проектирования. – 2013. – №2(8). – С. 20-25.

[9] P.Skobelev. 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, pp. 207–230.
[10] Skobelev P., Trentesaux D. Disruptions Are the Norm: Cyber-Physical Multi-agent Systems for Autonomous Real-Time Resource Management //Service Orientation in Holonic and Multi-Agent Manufacturing. – Springer, Cham, 2017, – pp. 287–294.
[11] Скобелев, П.О. Онтологии деятельности для ситуационного управления предприятиями в реальном времени / П.О.Скобелев // Онтология проектирования. – 2012. – №1(3). – С. 6-38.
[12] Petr Skobelev, Denis Budaev, Vladimir Laruhin, Evgeny Levin, Igor Mayorov. Multi-Agent Platform for Designing Real Time Adaptive Scheduling Systems // Proceedings of the 12th International Conference on Practical Applications of Agents and Multi-Agent Systems (PAAMS 2014), 4-6 June, 2014, Salamanca, Spain. 2014. – Lecture Notes in Computer Science series, vol. 8473. – Springer, Switzerland, pp. 383-386.

РАЗРАБОТКА МУЛЬТИАГЕНТНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЕКТАМИ В АЭРОКОСМИЧЕСКИХ ПРИЛОЖЕНИЯХ

П.О. Скобелев[1], С.С. Кожевников[2], И.В. Майоров[2], Д.П. Полюдов[2], Е.В. Симонова[2]

[1] Институт проблем управления сложными системами РАН
443020, Самара, ул. Садовая, 61, Россия,
petr.skobelev@gmail.com

[2] НПК «Разумные решения»
443013, Самара, Московское шоссе, 17, офис 1201
simonova@smartsolutions-123.ru

Ключевые слова: *управление проектами, самоорганизация, мультиагентные технологии, планирование ресурсов, режим реального времени.*

Abstract

Aerospace companies nowadays are striving to use new advantages of networking organizations in order to improve their efficiency. It requires implementation of a new approach to project management, which involves self-organization and active interaction for coordinated and efficient decisions on allocation of resources, both within individual project teams, and also between such teams. This paper dwells on the concept of new project management in networking enterprises and the multi-agent system "Smart Projects" which supports decision-making processes for achieving maximum productivity and efficiency of human resources. The system supports self-organization among the project teams with continuous adaptive planning and communication with workers. Thus, coordinated, flexible and efficient use of resources is guaranteed in case of unforeseen events. The article presents functionality and architecture of the “Smart Projects” system and describes the first results of its implementation.

Введение

Вызовы мировой экономики, связанные с растущей сложностью бизнеса, а также неопределенностью и высокой динамикой спроса и предложения, заставляют предприятия искать новые подходы к повышению эффективности современных проектных предприятий [1-4].

Аэрокосмические предприятия являются одним из примеров чрезвычайно сложных проектов, основанных на передовых знаниях и талантах инженеров и имеющих дело с уникальными и инновационными техническими объектами, системами и компонентами. Традиционное бюрократическое управление в подобных проектах не работает эффективно из-за высокой степени сложности объектов и процессов, связанных с неопределенностью и динамикой многих факторов, а также напрямую зависит от креативности, знаний и других личных качеств инженеров. Решение проблемы повышения эффективности проектной деятельности требует сдвига парадигмы от централизованной, монолитной, иерархической структуры в управлении проектами «сверху вниз» к сетевым структурам, основанным на новых принципах самоорганизации проектных групп и внутренней мотивации инженеров, ориентированных на конечный результат [5].

Однако большинство попыток достичь такого типа организации и разработать новые программные решения для управления проектами потерпели неудачу из-за отсутствия интеллектуальных систем поддержки адаптивного планирования задач внутри проектов с горизонтальным взаимодействием и координацией между сотрудниками. Требуется решение, которое может «на лету» распределять кадровые ресурсы с учетом их интересов, компетенций и текущей

загрузки и в то же время обеспечивать планирование загрузки для команд с учетом возникающих событий при наличии одновременно идущих нескольких проектов.

Одной из главных особенностей такого нового решения должна быть возможность общаться в режиме реального времени с сотрудниками всех уровней для наилучшего выполнения планов в срок и в рамках заданного бюджета, при этом с максимальным качеством и минимальными рисками.

В данной статье представлено такое интеллектуальное решение – система «Smart Projects» для управления проектами, основанная на мультиагентных технологиях распределения ресурсов в реальном времени, предназначенная для адаптивного планирования и оптимизации, а также мониторинга и контроля результатов и коммуникации с сотрудниками.

В 1-м и 2-м разделах этой статьи описаны ключевые требования и новый подход к управлению проектами и ресурсами для аэрокосмических предприятий, а также описаны основные идеи нового решения. 3-й и 4-й разделы посвящены функционалу и архитектуре предлагаемого решения. В 5-м разделе описан пользовательский интерфейс системы «Smart Projects».

Первые результаты разработки и использования системы в Ракетно-космической корпорации «Энергия» (Россия) представлены в 6-м и 7-м разделах статьи.

1 Современные требования к управлению проектами в аэрокосмических приложениях

Сложность управления проектами в аэрокосмических приложениях признана менеджерами отрасли на высшем уровне. Эволюция развития моделей управления в аэрокосмической промышленности в последние десятилетия представлена на рисунке 1.

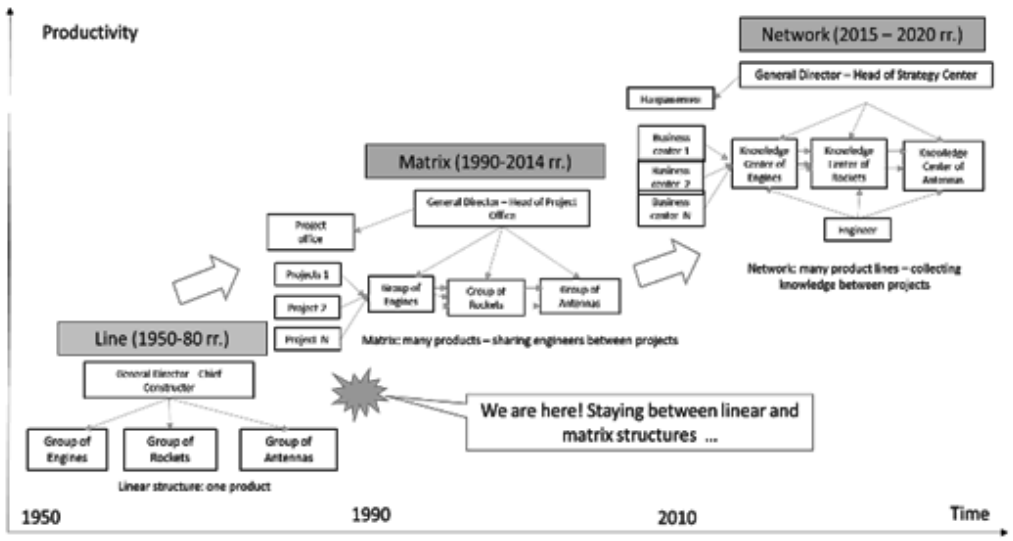


Рисунок 1 – Эволюция процессов управления в аэрокосмической промышленности

Эта диаграмма и таблица 1 демонстрируют эволюцию моделей управления в аэрокосмических предприятиях от линейной структуры – к матрице и далее – к сетям.

Особенности сетевых организаций приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Традиционные предприятия против сетевых организаций

Традиционные предприятия	Сетевые организации
Централизация	Децентрализация
Иерархическая структура, строго регламентированные отношения между сотрудниками	Сетевая структура, гибкие отношения между сотрудниками
Закрыты для окружающей среды	Открыты для окружающей среды
Знания в процессе принятии решений строго фиксированы, решения принимаются в соответствии с формальными правилами бизнес-процессов	Знания не фиксированы, приоритет дается генерированию новых знаний, решения принимаются не формально, а с учетом текущей ситуации
Плановый подход, при котором все ресурсы назначаются заранее	Рыночный подход, ресурсы выделяются по мере необходимости
Коммуникации сверху вниз в соответствии с иерархией	Коммуникации «равный с равным» – по мере возникновения необходимости для решения проблем
Пакетное планирование в соответствии с регламентами и инструкциями	Гибкое планирование в режиме реального времени с учетом возникающих событий
Полный контроль	Самомотивация
Фиксированная зарплата	Гибкая зарплата

Основные задачи развития такого подхода состоят в следующем [6]:

1) Внедрить принципы экономики реального времени и полной прозрачности для участия сотрудников в прибыли;
2) Решить сложные проблемы распределения ресурсов в проектах, планирования, оптимизации и контроля, при этом поддерживая коммуникации с инженерами для учета их интересов, компетенций и опыта;
3) Обеспечить адаптивное перераспределение задач в сети проектов и команд в режиме реального времени;
4) Стимулировать и поощрять новые идеи на всех уровнях организации;
5) Сократить или устранить бюрократические барьеры для взаимодействия между сотрудниками различных отделов;
6) Признать важную роль знаний в управлении проектами;
7) Приветствовать обучение путем проб, ошибок и неудач;
8) Стимулировать командную работу, ориентированную на результат;
9) Разработать систему вознаграждения, которая бы способствовала стремлениям к лучшему результату и т.д.

Но на практике эти задачи требуют отказа от существующих стереотипов в управлении проектами и приводят к разработке новых подходов к управлению проектами с фундаментальным изменением образа мышления сотрудников.

Главная проблема заключается в том, как помочь рядовым инженерам развиваться и становиться лидерами, обеспечивая инновации в отрасли.

Одним из возможных подходов может быть предоставление большей свободы в принятии решений в проектах, побуждающих молодых лидеров к достижению выдающихся результатов, при этом разделяя прибыль и риски проекта с предприятием.

2 Новый подход в управлении проектами для сетевых предприятий

Разработанный подход в управлении проектами представляет концепцию нового типа сетевого предприятия, построенного больше по горизонтали, а не по вертикали, как это принято в классической бюрократии.

Предлагаемое сетевое предприятие призвано функционировать на базе внутреннего виртуального рынка с «юберизацией» задач проекта для сотрудников, что дает инженерам возможность конкурировать и кооперироваться при выборе задач.

Ключевыми элементами такой структуры предприятия становятся бизнес-центры (БЦ), которые работают как виртуальные компании на внутреннем рынке головного предприятия. Другим ключевым элементом являются центры знаний (ЦЗ), которые выступают в качестве пула ресурсов для проектов и становятся «домом» для профессионального сообщества сотрудников, в котором определяется уровень их квалификации и профили компетенций, оцениваются рыночные ставки и подбираются индивидуальные маршруты развития компетенций инженеров. Кроме того, имеются и другие элементы: сервисные центры (СЦ), которые предоставляют специальные услуги для БЦ и ЦЗ, а также центр развития (ЦР), предназначенный для разработки стратегии, мониторинга результатов и аналитики.

Все центры должны строить свои отчеты по прибыли и убыткам.

Такой подход помогает начать трансформацию традиционной централизованной, иерархической и монолитной структуры реального предприятия в новую сетевую организацию, более прозрачную, гибкую и эффективную для управления проектами (рисунок 2).

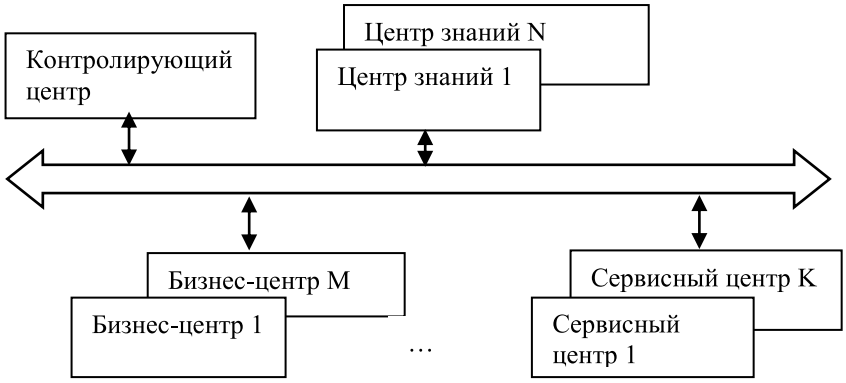


Рисунок 2 – Шаг от иерархии – к сетевой структуре предприятия

Сетевая организация может быть представлена как виртуальная структура, которая будет работать параллельно с существующей, но при этом должна быть полностью поддержана интеллектуальной системой поддержки принятия решений в управлении проектами.

При такой организации каждый сотрудник имеет возможность предлагать свои услуги или получать услуги других в ходе переговоров с БЦ, ЦЗ или СЦ о задачах и рабочих часах по каждому проекту или услуге. В этом случае оплата для сотрудников становится переменной и может расти до неограниченных размеров. «Дом» сотрудника также заинтересован в этом, так как он получает процент с каждого сотрудника, участвующего в проектах БЦ.

В целях долговременной мотивации сотрудников к достижению выдающихся результатов был разработан механизм виртуальных долей проекта (ВДП), который показывает личный вклад работника в каждый проект и достигнутые результаты.

ВДП выпускаются владельцами и руководителями БЦ и ЦЗ, и на их основе работник может получить определенный бонус, а также дивиденды знаний, если результаты, достигнутые при его участии, будут использованы в следующих проектах.

В результате все сотрудники могут открыто конкурировать и сотрудничать друг с другом за задачи для успеха проектов, что, в свою очередь, повышает эффективность работы предприятия в целом.

3 Smart Projects: мультиагентные технологии управления ресурсами

Предлагаемое решение предназначено для поддержки полного цикла управления ресурсами проекта, охватывающего распределение ресурсов, планирование и оптимизацию, перепланирование с учетом возникающих непредвиденных событий, коммуникации с сотрудниками и мониторинг выполнения задач, а также оценку качества результатов в режиме реального времени.

Система Smart Projects разрабатывается на основе концепции сетей потребностей и возможностей (ПВ-сетей) и мультиагентных технологий планирования ресурсов в режиме реального времени [7].

Мультиагентные технологии обеспечивают поддержку процессов принятия решений в режиме реального времени, делая возможным адаптивное перераспределение ресурсов при возникновении новых задач или неожиданных событий. Такие события могут происходить как вне организации, так и внутри нее в результате взаимодействия между членами команды. В рамках мультиагентных технологий каждое событие влечет за собой череду изменений в планах, которые приводят к созданию нового расписания путем смещения, перераспределения или замены задач сотрудников. Таким образом, новый проект, изменения в графике отпусков, новые задачи, задержки, изменения сроков, обновления хода выполнения задачи и т.д. могут быть быстро включены в общее расписание.

Принципы мультиагентного планирования можно кратко описать следующим образом:

1) Каждый заказ, проект, задача проекта, инженер или продукт имеют своего собственного программного агента;
2) Все агенты могут получать сообщения о событиях, принимать решения и общаться с другими агентами или пользователями;
3) Для принятия решения агент учитывает свои критерии, предпочтения и ограничения;
4) Процесс планирования рассматривается как процесс переговоров для нахождения консенсуса между агентами;
5) Например, агент задачи начинает планирование с поиска требуемых ресурсов;
6) Если соответствующие сотрудники заняты, обнаруживается конфликт, и начинаются переговоры;
7) В ходе переговоров возможны разные варианты: новая задача будет перенесена на менее подходящий ресурс; ранее занимающая нужный ресурс задача покинет расписание требуемых сотрудников или будет перемещена; задачи могут быть разделены на несколько частей или задачи могут поменяться местами и т.д.;
8) Даже после разрешения начальных конфликтов и получения нового расписания агенты проактивно продолжают поиск новых вариантов улучшения плана.

Мультиагентные технологии выгодно отличают предлагаемую систему от существующих математических решений, в которых все задачи и ресурсы рассматриваются как известные заранее и принципиально не меняются адаптивно во время реализации проекта [8, 9].

В таблице 2 представлены основные классы агентов, которые действуют от имени заказов, проектов, задач, отделов, сотрудников, результатов и т.д.

Таблица 2 – Основные классы агентов системы

Класс агента	Описание агента	Свойства
Заказ	Заказ ищет наилучшие возможности выполнения в рамках существующих или новых БЦ и ЦЗ, с учетом интересов и компетенций сотрудников	Продукт, стоимость, предпочтения по времени и т.д.
Проект	Пытается организовать и выполнить проект в соответствии с заданными критериями, предпочтениями и ограничениями, технологическими и бизнес-процессами, наличием сотрудников	Команда проекта, график задач, бюджет и сроки, результаты
Организация	Старается сбалансировать нагрузку и улучшить графики, отслеживает выполнение задач, меняет стратегию для выбранных агентов, ужесточает или ослабляет ограничения и предпочтения, чтобы выявлять и устранять «узкие места», фиксирует результаты и достижения	Список сотрудников, их компетенции и нагрузка, результаты и KPI
Сотрудник	Хочет быть полностью занятым согласно своему профилю компетенций и получать бонусы за качество, производительность и т.д. Также пытается улучшить свои компетенции для получения более высокого уровня квалификации и заработной платы	Организации, к которым он/она принадлежит, профиль компетенций, рабочий график, текущая задача, уровень квалификации, ВДП, заработная плата, полномочия по документам и компонентам продукта и т.д.
Компоненты продукта или документ	Стремятся быть максимально используемыми в проектах и, в случае необходимости, быть улучшенными. Учитывают связь между другими компонентами, документами, тестами и т.д.	Дизайн, приложение, автор, использование в проекте, отношение к другим компонентам, стоимость
Технологический или бизнес-процесс	Хочет быть выполненным наилучшим образом как цепь отдельных операций (задач), необходимых для выполнения заказов в рамках проектов	Компоненты продукта, список операций и график связей между ними, критерии выполнения, стоимость и другие условия
Задача/ операция	Ищет лучших сотрудников, документы и компоненты в соответствии с предпочтениями и ограничениями проекта и отношениями с другими операциями	Компетенции и квалификация сотрудника, продолжительность, отношение к проекту и другим операциям
Результаты	Стремятся быть достигнутыми в результате выполнения проекта с использованием готовых или новых компонентов	Характеристики продукта (результатов)

Расписание считается «оптимальным» и расчеты прекращаются после достижения одного из трех условий: или ни один агент больше не может улучшить решение, или решение колеблется вблизи достигнутого «оптимального» (баланс интересов), или время для поиска альтернативного решения подошло к концу.

4 Smart Projects: архитектура решения

Решение разработано в трехуровневой архитектуре, содержащей пользовательский интерфейс, модули мультиагентного планирования и реляционную базу данных (рисунок 3).

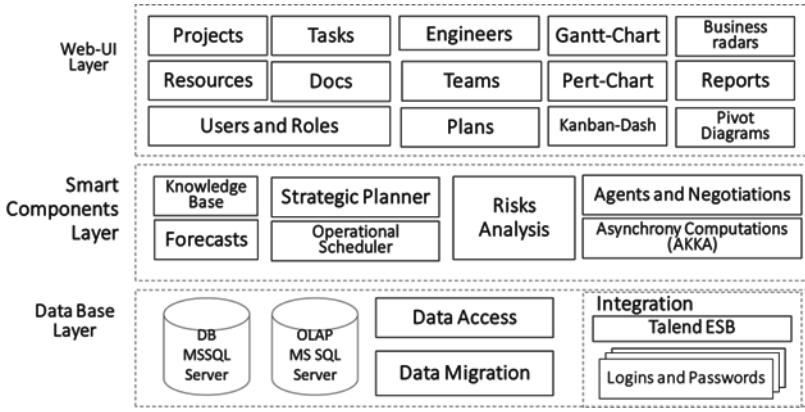


Рисунок 3 – Архитектура решения

Основные платформы системы:

1) Devexpress eExpress Application Framework (XAF) – поддерживает веб-интерфейс, учетную часть и базу данных, включая современные компоненты пользовательского интерфейса на основе среды ExtJS для интерактивных диаграмм Ганта и PERT, а также доски Канбан;
2) MS Entity Framework – компоненты для получения и обработки данных из различных баз данных (MS SQL Server, Oracle Database, Postgress и т.д.) в среде .Net;
3) Tallend ESB – интеграционные модули и другие.

Ключевым компонентом решения является сервер приложений с мультиагентными планировщиками, который запускает адаптивное планирование на основе событий, взаимодействует с пользователями, выполняет обработку данных и предоставляет механизмы управления правами доступа к системе.

На данный момент существует два пользовательских интерфейса:

1) Интерфейс руководителя, предназначенный для распределения задач, планирования работ, мониторинга результатов, модификации графиков и других подобных функций.
2) Интерфейс члена команды проекта, позволяющий сотруднику выбирать задачи, создавать новые, если это необходимо, указывать свои предпочтения и просматривать список предпочтительных задач, а также сообщать о проделанной работе.

Основными компонентами модуля мультиагентного планирования являются: агент диспетчера, система обмена сообщениями, система поддержки жизненного цикла агентов, системы создания и удаления агентов, поддержка протокола коммуникаций агентов и доступа к сцене данных.

Подсистема интеграции позволяет взаимодействовать с другими информационными системами, в настоящий момент поддерживаются Windchill и Microsoft Project.

Во время выполнения импортируются различные события, которые обрабатываются подсистемой планирования в режиме реального времени.

Примерами таких событий являются:

- изменение параметров задач (запланированное время и т.д.),
- изменение состояния ресурса или появление нового ресурса,
- изменение доступности ресурса,

- изменение навыков сотрудников,
- сообщения о выполнении задачи и другие.

5 Пользовательский интерфейс системы Smart Projects

Начальный экран системы представлен на рисунке 4.

Пользователь может увидеть информацию о текущих проектах, статусах этапов и задач проектов, KPI (ключевых показателях эффективности) и бюджете на такой панели.

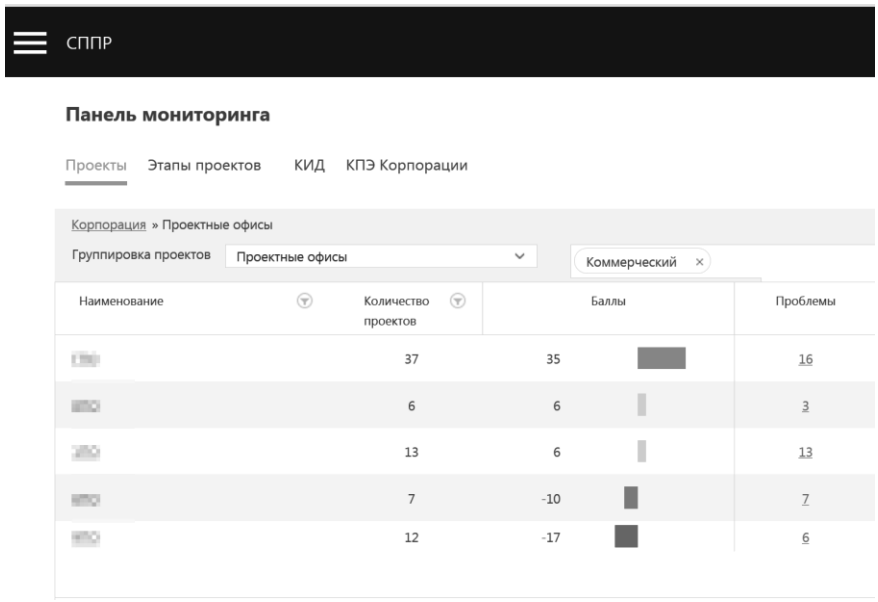


Рисунок 4 – Начальный экран системы Smart Projects

Главное меню системы обеспечивает доступ к следующим объектам:

- проекты – график исполнения задач проекта;
- задачи – текущее состояние выполнения задач и результаты;
- сотрудники – профили сотрудников и рабочая нагрузка, виртуальные доли проектов;
- динамика – отчеты о рабочей нагрузке;
- база знаний – онтология и сцена, представляющие текущую ситуацию на предприятии;
- услуги – дополнительные сервисы (интеграция с MS Project и т.д.).

Руководитель проектной группы имеет возможность назначать задания вручную или наблюдать результаты самоорганизации задач (рисунок 5).

На этом экране отображается информация с использованием грид-представлений с дополнительной цветовой индикацией состояния задач (не назначено, запланировано, выполняется, отложено и т.д.). Такое визуальное представление данных обеспечивает функционал для группирования, фильтрации и сортировки данных по любому количеству полей одновременно. Например, пользователь может фильтровать данные по проекту, временному диапазону и ответственному лицу.

Графическое представление расписания проекта по всему набору ресурсов выполняется с использованием комбинированной диаграммы Ганта-Перт (рисунок 6), отражающей зависимости между задачами. Кроме этого, верхний график на экране отображает нехватку или избыток ресурсов рабочей нагрузки конкретного отдела.

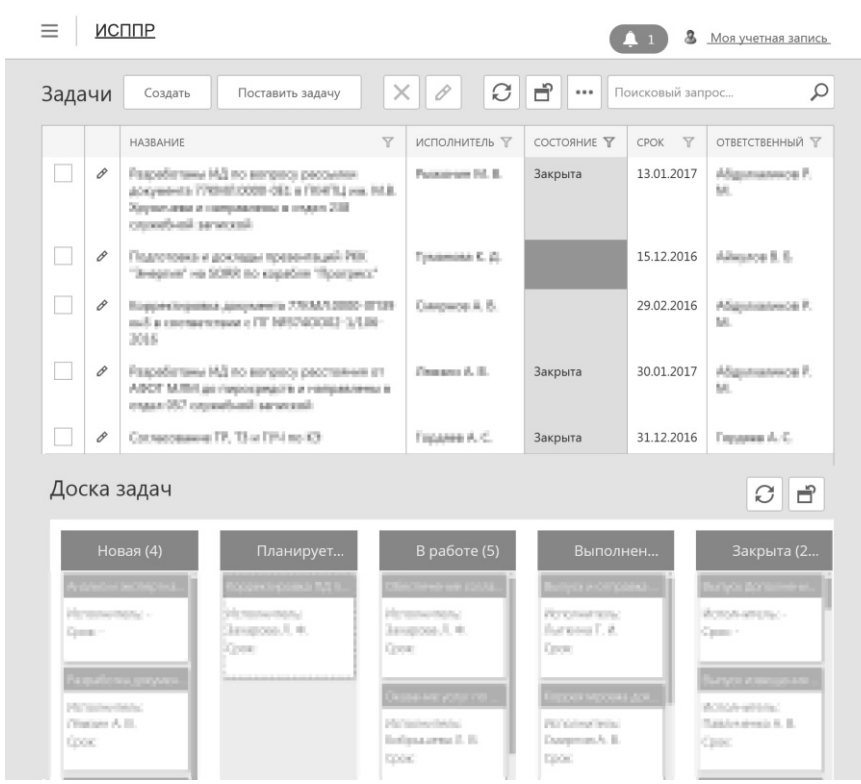


Рисунок 5 – Журнал текущих задач

Рисунок 6 – Экран «Показатели эффективности»

Самым интересным компонентом является пользовательский интерфейс «участника команды проекта», который поддерживает связь с пользователями:

- просмотр предлагаемых задач и выбор задачи для выполнения;
- декомпозиция задачи или создание новой задачи, изменение ее параметров (например, оценка работы);
- принятие задачи, начало выполнения, указание проблем в ходе выполнения, завершение задачи, запрос помощи в выполнении задачи;
- возможность указать отношение исполнителя к задаче, насколько она ему/ей нравится (задача, которая исполнителю не нравится, может быть перераспределена другому сотруднику);
- определение предпочтений и ограничений исполнителя;
- отображение задач по статусам (не начато, в процессе выполнения, выполнено и т.д.); фильтрация задач с использованием семантических дескрипторов и т.д.

Пример экрана пользовательского интерфейса участника проекта показан на рисунке 7.

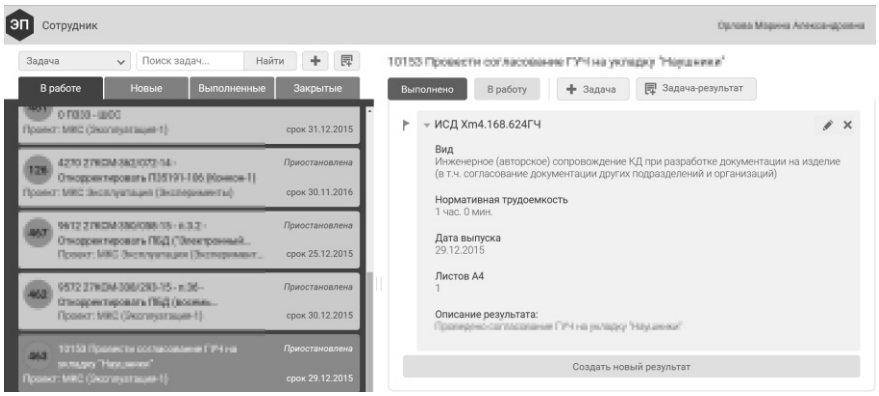


Рисунок 7 – Пользовательский интерфейс участника команды проекта

Этот интерфейс позволяет системе интерактивно взаимодействовать с пользователями для получения подробной информации об их оценке задач и использовать эту информацию для разработки альтернативных графиков с целью достижения максимально эффективного результата.

Задачи не навязываются пользователю, а скорее предлагаются, так что пользователь может самостоятельно принять решение, согласившись на выполнение задачи или отклонив ее. Таким образом, приложение использует статистику аналогичных задач, выполненных ранее, импортирует эти знания и позволяет пользователю пересмотреть предположения и, если необходимо, предложить новые задачи, переопределить параметры и т. д.

Для мониторинга результатов команды был разработан набор отчетов, отображающих общие результаты соответствующих проектов и отделов. Панели мониторинга отображаются и обновляются в режиме реального времени, демонстрируя тем самым динамику изменений на проектах, например, важных задач, новых этапов проекта, увеличения рабочей нагрузки проекта и т.д. (рисунок 8).

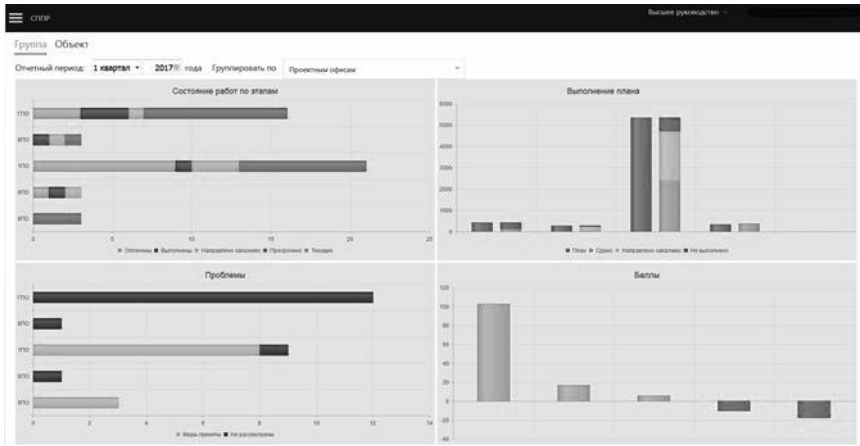


Рисунок 8 – Экран отчетов и панелей мониторинга

6 Моделирование потока задач

Для оценки качества и производительности мультиагентной системы моделирования (ядра модуля адаптивного планирования) использовались сгенерированные связанные задачи (Job Shop Scheduling problem), которые решались в пакете IBM ILOG CPLEX Optimization Studio 12 для критерия минимизации максимального времени выполнения (Max span). Для каждого набора задач с помощью CPLEX были найдены точные решения. Для этих же наборов получены решения в МА платформе, которые не являлись точными и превышали решения CPLEX.

В систему из 5 ресурсов поступает поток задач, каждая из которых состоит из 5 отдельных операций, требующих выполнения на заданных ресурсах. Всего поступает 500 различных операций. Мультиагентная система моделирования планирует их на ресурсах по критерию минимизации максимального времени выполнения. Объем задач варьируется от 1 до 5 условных единиц работы, времена поступления экспоненциально распределены на интервале в 100 единиц модельного времени. Стоимости задач пропорциональны объему.

За эффективность было взято отношение максимальной продолжительности, полученное CPLEX, к продолжительности, полученной МАС. Измерено также общее время вычислений в МАС и CPLEX. Эксперименты проводились в Win 10 на типичной рабочей станции с 4-ядерным процессором с частотой 2 ГГц и 4-мя ГБ оперативной памяти. Результаты приведены на рисунках 9 и 10.

В начале моделирования результат мультиагентной системы составлял около 85-90% (больше по опозданию) от решения CPLEX. В дальнейшем качество составило около 40%. Это объясняется тем, что в начале система ресурсов относительно свободна, и эвристический алгоритм мультиагентного планирования дает результаты, сходные с точным алгоритмом. При дальнейшем нарастании потока задач эвристический алгоритм ухудшает показатели.

Однако по вычислительной трудоемкости мультиагентная система на 20% опережает CPLEX за счет частичного перепланирования, а не поиска решения заново (рисунок 10).

Также была определена эффективность МАС планирования по прибыли. Рассматривались атомарные задачи без связей.

Эффективность планирования оценивается по прибыли, привнесенной запланированными задачами с меньшим отклонением от предельного срока. Поскольку мультиагентная система планировала, в первую очередь, более выгодные задачи, то эффективность планирования составила 90%, с опозданием планировались менее выгодные задачи (рисунок 11).

При моделировании потока несвязанных задач качество планирования достигает 80%, что объясняется ослаблением ограничений.

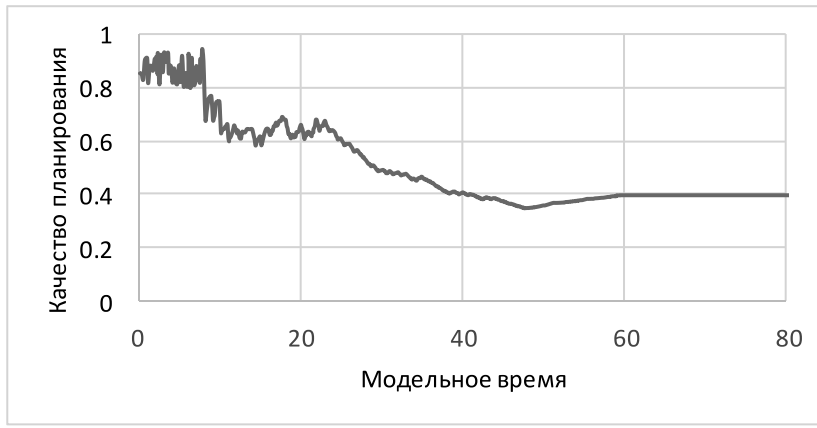


Рисунок 9 – Качество планирования в зависимости от модельного времени

Рисунок 10 – Время вычислений в зависимости от количества подзадач

Рисунок 11 – Эффективность планирования в зависимости от модельного времени

7 Влияние сложности задач на качество и время планирования

Для сравнения точного планирования пакетом CPLEX и мультиагентной системой был использован пример 4-х задач, состоящих из 3-х операций каждая, которые должны быть выполнены на 3-х различных ресурсах, не допускающих одновременного выполнения задач. Задачи обладают одинаковым приоритетом, появляются в один и тот же момент времени, но их операции имеют различную длительность и порядок выполнения на ресурсах (таблица 3). Целевой функцией является минимизация времени выполнения.

Таблица 3 – Параметры операций задач и их последовательность

Работа	Последовательность ресурсов операций	Длительность операций
1	3,2,1	3,2,9
2	3,1,2	5,3,5
3	3,2,1	1,7,1
4	1,3,2	5,3,3

В результате планирования MAC и CPLEX получены следующие расписания (рисунки 12, 13).

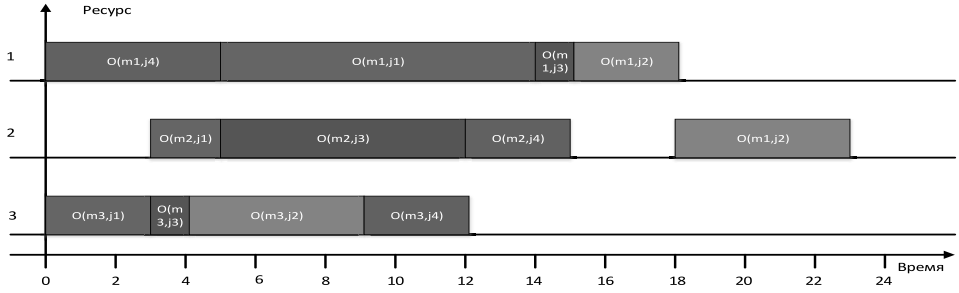


Рисунок 12 – Расписание, построенное MAC для примера 4-х задач

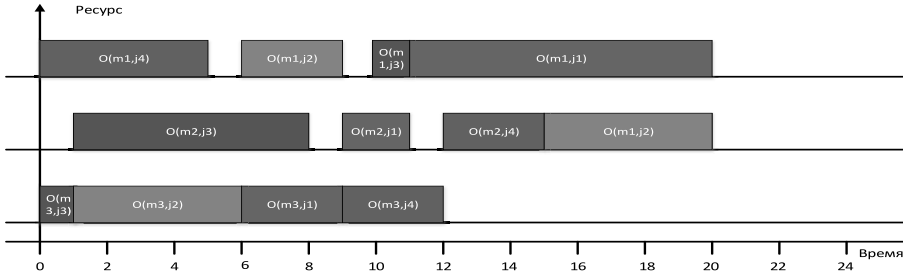


Рисунок 13 – Расписание, построенное CPLEX (оптимальный результат) для примера 4-х задач

Качество расписания может быть оценено как отношение максимальной длительности выполнения всех задач с использованием CPLEX и MAC, в данном случае 20/23=0,86.

Выполнен более объемный эксперимент по сравнению результатов планирования MAC и CPLEX на 300 JSSP задачах в зависимости от их количества, каждая из операций имеет длительность до 10 ед. Качество решения определялось отношением точного и MAC-

решения, максимального времени выполнения всех задач (рисунок 14). Измерялось также и время вычислений (рисунок 15).

Рисунок 14 – Качество планирования в зависимости от количества запланированных операций

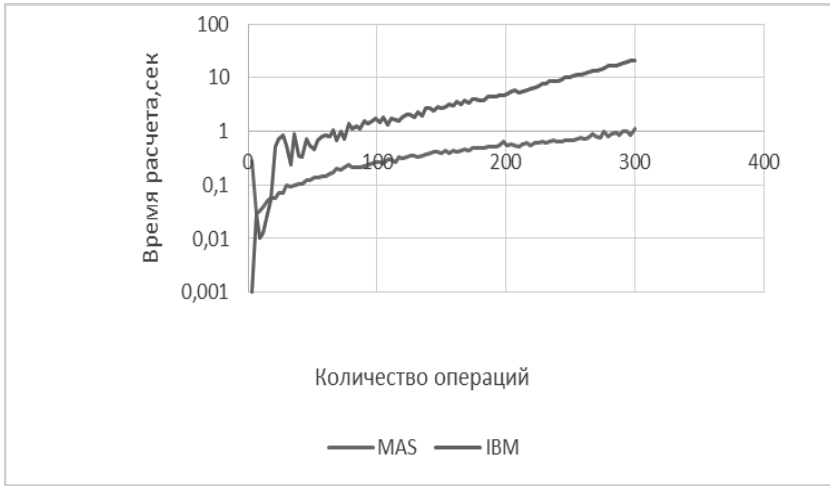


Рисунок 15 – Значение времени вычислений в зависимости от количества запланированных операций

Анализ эксперимента показывает, что результат МАС примерно на 10% хуже точного решения, однако по скорости вычислений в 10-20 раз превосходит CPLEX, что позволяет применять МАС в предметных областях, где требуется оперативное реагирование на изменения в поступающих задачах.

Заключение

Представлен новый подход к управлению проектами для аэрокосмических предприятий и решение для его реализации, которые в настоящее время проходят испытания в ракетно-космической корпорации «Энергия».

Практическое применение разработанной концепции приводит к изменению структуры компании и сдвигу парадигмы от централизованного принятия решений и иерархических

структур к сетевым организациям, созданным на базе бизнес-центров и центров знаний, работающих в условиях конкуренции и кооперации при выполнении задач проектов.

Важную роль в этой структуре играют лидеры (акторы, в отличие от менеджеров), которые могут взять на себя ответственность, динамично формировать команды для решения возникающих проблем и достижения результатов с возможностью интерактивного взаимодействия и переговоров для принятия скоординированных решений в управлении проектами, в частности, в распределении сотрудников по проектам и формировании команды, составлении и адаптации графиков проектов, координации сроков выполнения работ и решении других вопросов.

Разработанный подход дает руководителям и членам проектных групп возможность разделить с предприятием прибыль в случае успеха и мотивировать новое поколение талантливых сотрудников к достижению выдающихся результатов.

Разработанное решение в будущем сможет применяться для любых других типов предприятий.

Благодарности

Статья подготовлена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации – контракт №14.578.21.0137, уникальный идентификатор проекта – RFMEFI57815X013.

Список литературы

[1] Johnson, R., Kast, F. & Rosenzweig, J., The Theory and Management of Systems, McGraw-Hill Book Company: New York, 1967.
[2] Shepard, H., Changing Relationships in Organizations, Handbook of Organizations, eds., III, Rand McNally and Company: Chicago, 1965.
[3] Koestler, A., The Ghost in the Machine, Arcana books: London, 1989.
[4] Best Project Portfolio Management (PPM) Software, 2017 // Available from: https://www.g2crowd.com/categories/project-portfolio-management-ppm. [30 March 2017].
[5] Vittikh, V., Introduction to the theory of intersubjective management, SSC RAS: Samara, 2013.
[6] 'Open Innovations', Proceedings of the Moscow Forum of Innovations; Moscow, 2012.
[7] Rzevski, G. & Skobelev, P., Managing complexity, WIT Press: London-Boston, 1st edition, 2014.
[8] Leung, J., Handbook of Scheduling: Algorithms, Models and Performance Analysis, CRC Computer and Information Science Series, eds., Chapman & Hall: London, 2004.
[9] Skobelev, P., Multi-Agent Systems for Real Time Adaptive Resource Management, Industrial Agents: Emerging Applications of Software Agents in Industry, eds., Elsevier, pp. 207–230, 2015.

МЕТОД ПОСТРОЕНИЯ ТАНДЕМ-ПЛАНА КОМПЛЕКТАЦИИ И КУРЬЕРСКОЙ ВНУТРИГОРОДСКОЙ РАЗВОЗКИ СБОРНЫХ ГРУЗОВ В СПЕЦИАЛЬНОЙ VRPTW ЗАДАЧЕ ДОСТАВКИ ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ

П.О. Скобелев[1], А.Н. Лада[1,2], И.В. Орлов[3, 4]

[1] Самарский Государственный Технический Университет
petr.skobelev@gmail.com

[2] Научно-производственная компания «Интеллектуальные Транспортные Системы», г. Самара
lada@kg.ru

[3] Научно-производственная компания «Разумные решения», г. Самара
orlov@smartsolutions-123.ru

[4] Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики
443010, Самара, ул. Льва Толстого, 23, Россия

Ключевые слова: *VRP, адаптивное планирование ресурсов, транспортная логистика, LTL, сборные грузы, составление сборочных расписаний*

Abstract

A method of calculating the delivery plan with regards to coordination with a storehouse picker's schedule in the consideration of intra-city food delivery has been analyzed and is being proposed. In order to assemble a client's order, storehouse pickers are employed, who, upon notification, collect the necessary items for packaging and delivery. The picker's assembly schedule should be consistent with couriers' intended schedule of travel around the city; delivering packages to clients, according to the client's preferred time windows. It is necessary to calculate a coordinated and conditionally optimal plan for storehouse pickers on the one hand, and for courier drivers on the other, taking into account their mutual interrelationship. At the same time, it is required to be able to provide a desired time window for delivery of the order to the client. These calculations result in minimizing the courier's route, taking into account the forecast of traffic congestion at certain times of the day, adaptively redistributing the assembly of packages (order filling) to other stores, if all pickers in the current location are overloaded.

Введение

Проблема оптимизации грузоперевозок (Vehicle Routing Problem, VRP), впервые описанная в работе [1], является одной из актуальных и значимых задач современной теории оптимизации. Классификация оптимизационных задач транспортной логистики приведена в [2, 3]. Обзор и классификация задач VRP с предлагаемыми методами решения дается также в работе [4].

Перевозки в современной транспортной логистике разделяются на два типа: FTL и LTL. FTL (Full Truck Load) перевозки характеризуются тем, что перевозчик имеет крупные контракты с заказчиками на резервирование ими грузовика целиком. Это означает, что все заказы грузовик выполняет последовательно, один грузовик одновременно может перевозить только один заказ: загрузил первый заказ, поехал по точкам его выгрузки и все разгрузил, поехал ко второму заказу, выполнил его таким же образом, поехал к третьему заказу и т.д. Можно существенно упростить задачу оптимизации таких перевозок, не учитывая возможность частичной загрузки при построении маршрута. Описание моделей организации FTL грузоперевозок приводятся в [5]. Решение задачи такого класса описано авторами в работах [6-8]. LTL (Less than Truck Load) перевозки напротив допускают параллельное выполнение заказов, т.е. один грузовик может одновременно выполнять несколько заказов: загрузил первый заказ, поехал по точ-

кам его выгрузки и по дороге загрузил второй заказа, разгрузил первый и часть второго, поехал к третьему заказу и т.д. Задача оптимизации LTL перевозок существенно сложнее FTL, в таких задачах дополнительно, как правило, требуется учитывать временные окна прибытия грузовика на погрузку и выгрузку, что позволяет отнести эти задачи к классу VRPTW (Vehicle Routing Problem with Time Windows). Точные решения данной задачи, за исключением переборов, на больших объемах заказов и ресурсов в настоящий момент не известны, однако существуют имитационные методы, дающие неточное решение, но приемлемого (допустимого) качества. Как правило, это гибриды и разновидности методов ветвей и границ, как, например, в [9], или различные другие эвристические методы (генетические алгоритмы, нейронные сети и т.д.). У авторов данного исследования есть опыт решения подобных задач [10, 11], а также их реализации в прикладных мультиагентных системах, описанных в [12, 13].

В данной работе рассматривается специальная VRPTW задача построения плана курьерской развозки заказов на продукты питания, для решения которой дополнительно необходимо строить план сборки этих заказов сотрудниками продуктовых магазинов. Также требуется адаптивно перепланировать развозку в случае возникновения фактических отклонений от плана при сборке, вызванных объективной реальностью. При такой постановке исходная VRPTW задача дополнительно усложняется необходимостью постоянной «оглядки» на план комплектации заказов, что, в свою очередь, требует перестраивать и согласовывать план развозки с планом сборки. Т.е. необходимо в реальном времени планировать и перепланировать маршрут курьера, выбирать наиболее удобные места погрузки (магазины сборки заказов) и выгрузки заказов клиентам по пути. Необходимо также планировать работу сборщиков заказов, формируя план для сборки каждого заказа, подстраивая его под постоянно поступающие заказы и вовремя направляя к ним курьеров. Наконец, если курьер застрял в «пробке» – возможно рассмотрение его как мобильного склада и подключение других курьеров, например, на мотоциклах или даже велосипедах, чтобы перехватить опаздывающий заказ и доставить товары в срок потребителю.

В данной работе рассмотрена постановка задачи и предложен подход к ее решению на основе развиваемого подхода к управлению мобильными ресурсами.

Следует понимать, что бизнес задача формулируется существенно шире описанной выше математической задачи, поскольку включает в себя множество дополнительных критериев, которые необходимо учитывать в процессе работы.

Одним из ключевых требований к разработке является необходимость работы системы в реальном времени.

Дополнительно требуется учитывать загруженность сборщиков заказов в каждый момент времени и прогноз дорожной ситуации на момент выезда курьера к клиенту («пробки»).

В первом разделе мы рассмотрим постановку задачи, во втором –- предложим подход к решению, а в заключении – рассмотрим результаты первых шагов реализации и перспективы развития и применения системы.

1 Постановка бизнес задачи сборки и доставки продуктов питания

В логистической системе внутригородской доставки продуктов питания по LTL схеме необходимо наладить прием заказов, их обработку, сборку товаров в заказ и непосредственно саму доставку заказов курьерами.

Для этого нужно решить следующие задачи:

1) Определить, в каком магазине имеющейся сети под заказ будут собирать товары с учетом наличия ресурсов сборщиков в каждом магазине.
2) Встроить заказ в маршрут доставки без полного пересмотра (адаптивно).
3) Проанализировать возможность выбора другого магазина для сборки заказа в случае пропуска дедлайна (сроков) сборки и доставки.

4) Вычислить ETA (расчетное время прибытия) в пункт погрузки и доставки заказа.
5) Оценить влияние возникшей у курьера в процессе доставки проблемы вхождения в окно доставки заказа и осуществить поиск вариантов решения.
6) Создать новую точку погрузки на месте поломки или большой задержки машины курьера с перечнем заказов, находящихся у него в данный момент времени.

2 Подход к решению задачи

2.1 Назначение заказу магазина сборки с учетом наличия ресурсов сборщиков

Для каждого поступающего заказа необходимо определить место его сборки в одном из магазинов. Список магазинов с координатами расположения и количеством доступных сборщиков известен. Задача решается в два этапа, рассчитываются плановые времена начала и окончания сборки в каждом магазине, затем из полученных результатов выбирается лучший.

2.1.1 Расчет планового времени начала и окончания сборки

Предполагается, что время фактического начала и окончания заказа поступает в систему планирования из внешней информационной системы в режиме реального времени напрямую с мобильного приложения сборщика. Помимо моментов начала и окончания сборки система хранит и пересчитывает плановые времена начала и окончания сборки по всем заказам на основании скорости сборки единицы товара в магазине (зависит от количества и производительности сборщиков). Предполагается, что каждый раз получая информацию о новом факте сборки товара в конкретном магазине, можно и нужно пересчитывать текущую скорость его сборки и пересчитывать плановые времена начала и окончания сборок, оставшихся еще не собранных заказов. Рассмотрим на примерах, как это предлагается делать.

Предполагается, что времена сборки всех заказов в магазине рассчитываются в параллельных очередях, порядок в которых определяется согласно времени их поступления в систему и корректируется по фактическим временам начала и окончания сборки. Количество этих очередей равно количеству сборщиков в магазине. Внутри каждой очереди заказы выполняются последовательно.

На практике это будет выглядеть следующим образом.

Пусть имеем магазин с 2-мя сборщиками и таблицу равнозначных заказов. В начальный момент времени, пока не поступил ни один факт считаем, что продолжительность сборки каждого заказа одним сборщиком 5 минут (Таблица 1).

Таблица 1 – Хронологическая таблица обработки заказов

Номер заказа	Время заказа	Планируемое время начала сборки	Планируемое время окончания сборки	Фактическое время начала сборки	Фактическое время окончания сборки
O1	13:00	13:00	13:05		
O2	13:00	13:00	13:05		
O3	13:00	13:05	13:10		
O4	13:15	13:15	13:20		

Заказы O1 и O2 собираются параллельно, поскольку в магазине присутствуют два сборщика, имеющие одинаковую оценку по времени начала и окончания сборки.

Заказ O3 должен ждать, пока освободится либо первый, либо второй сборщик и поэтому по плану будет собираться лишь после первых двух.

Заказ O4 поступил в 13:15, к этому времени все сборщики уже освободятся и заказ будет выполнен только одним из них, т.к. считается, что два сборщика одновременно заказ не собирают.

Далее рассмотрим на примере таблицы 2, как будут корректироваться плановые времена начала/окончания сборки при поступлении фактических данных.

Таблица 2 – Хронологическая таблица обработки заказов после фактического начала сборки заказа О1

Номер заказа	Время заказа	Планируемое время начала сборки	Планируемое время окончания сборки	Фактическое время начала сборки	Фактическое время окончания сборки
О1	13:00	**13:10**	**13:15**	13:10	
О2	13:00	**13:10**	**13:15**		
О3	13:00	**13:15**	**13:20**		
О4	13:15	13:15	13:20		

В момент времени 13:10 пришел факт начала сборки по заказу О1, который начался на 10 минут позже запланированного и, как следствие, теперь будет собран в 13:15, это привело к изменениям в плановых временах начала и окончания по остальным заказам.

Заказ О2 по плану начнет собираться только в 13:10, т.к. уже 13:10, а факта начала сборки еще нет.

Заказ О3 сдвинется на 5 минут вправо.

По плану заказа О4 у никаких изменений не произойдет, т.к. с учетом его запаса время, как раз, подходит.

Пусть пришли новые фактические данные (Таблица 3).

Таблица 3 – Хронологическая таблица обработки заказов после фактического окончания сборки заказа О1

Номер заказа	Время заказа	Планируемое время начала сборки	Планируемое время окончания сборки	Фактическое время начала сборки	Фактическое время окончания сборки
О1	13:00	13:10	**13:20**	13:10	13:20
О2	13:00	**13:20**	**13:30**		
О3	13:00	**13:20**	**13:30**		
О4	13:15	13:30	13:40		

В момент времени 13:20 пришел факт окончания сборки по заказу О1, который завершился на 5 минут позже запланированного, а, значит, изменилась продолжительность сборки заказа сборщиком (вместо начальных 5 минут теперь 10 минут), что привело к изменениям плановым моментов начала и окончания сборки остальных заказов.

Заказ О2 по плану начнет собираться только в 13:20, т.к. уже 13:20, а факта начала сборки еще нет, также с учетом новой скорости сборка займет 10 минут, поэтому закончится в 13:30.

Заказ О3 собирается параллельно с заказом О2.

Заказ О4 по плану сдвинется и начнет собираться сразу после заказа О2 или О3.

Пусть пришли новые фактические данные (Таблица 4).

Таблица 4 – Хронологическая таблица обработки заказов после фактического начала сборки заказа О2

Номер заказа	Время заказа	Планируемое время начала сборки	Планируемое время окончания сборки	Фактическое время начала сборки	Фактическое время окончания сборки
О1	13:00	13:10	13:20	13:10	13:20
О2	13:00	**13:25**	**13:35**	13:25	
О3	13:00	**13:25**	**13:35**		
О4	13:15	**13:35**	**13:45**		

В момент времени 13:25 пришел факт начала сборки заказа О3 (для удобства заказы с фактами сразу поднимаются вверх очереди), который начался на 5 минут позже запланированного, что привело к изменениям в плановых временах начала и окончания по остальным заказам

Пусть пришли новые фактические данные (Таблица 5).

Таблица 5 – Хронологическая таблица обработки заказов после фактического окончания сборки заказа О2

Номер заказа	Время заказа	Планируемое время начала сборки	Планируемое время окончания сборки	Фактическое время начала сборки	Фактическое время окончания сборки
О1	13:00	13:10	13:20	13:10	13:20
О2	13:00	13:25	**13:30**	13:25	13:30
О3	13:00	**13:30**	**13:38**	13:30	
О4	13:15	**13:30**	**13:38**		

В момент времени 13:30 пришел факт начала сборки заказа О2 и окончания сборки о заказа О3, теперь скорость сборки заказов оценивается как среднее значение между разностью по двум уже полученным фактам начала и окончания и составит $\frac{(13:20-13:10)+(13:30-13:25)}{2} = 7{,}5$.

Далее расчеты выполняются аналогично.

2.1.2 Выбор лучшего магазина для сборки заказа

После расчета планового времени окончания сборки заказа, для которого в настоящий момент определяется магазин, для каждого магазина выполняется проверка, успеет ли теоретически машина доехать до клиента, начиная с этого времени к моменту окончания окна разгрузки, с учетом времени доезда от текущего магазина до клиента. Если успеет, результат по данному магазину фиксируется как возможный и сохраняется. Из всех возможных вариантов складов следует выбрать тот, который требует минимального времени доезда от склада до клиента (т.е. минимум работы водителя в виде километража пробега) при условии, что плановое время сборки на этом складе не выходит за рамки окна погрузки, в противном случае рассматривается более удаленный магазин и т.д., пока не будут перебраны все магазины.

2.2 Назначение заказу маршрута доставки

После завершения выбора магазина для сборки заказа подбирается маршрут курьера, в который лучше всего встроить заказ, либо создается новый маршрут, если все существующие маршруты уже наполнены и невозможно встроить в них еще один заказ. При этом учитывается окно доставки заказа клиенту и время доезда с учетом движения по линии маршрута в городе.

Маршрут для курьера начинается в момент заполнения машины заказами для развозки и заканчивается в момент доставки последнего пакета клиенту. Затем курьер едет для погрузки новых заказов на склад, начиная новый маршрут.

2.3 Анализ возможности перераспределения заказа в случае пропуска дедлайна по сборке

Если сборщик не завершил сборку заказа до крайнего срока (пропустил дедлайн по сборке), можно попробовать запланировать сборку этого заказа в другом магазине и перепланировать этот заказ на другой маршрут.

На данном этапе повторяется шаг, описанный в подразделе 2.1.1.

2.4 Вычисление ETA (расчетного времени прибытия) по доставке

В процессе планирования заказов на маршруты рассчитывается ETA по доставке с учетом прогноза по загруженности дорог в определенное время дня. В качестве поставщика данных

по трафику используются внешние сервисы, предоставляющие данную информацию, среди самых популярных Яндекс [14] и Google [15]. Система планирования запрашивает время выполнения маршрута от пункта А до пункта Б от сервиса «пробок» на время планируемой доставки, получив результат, использует его в дальнейшем планировании как время выполнения маршрута в процессе исполнения заказа.

2.5 Оценка влияния проблемы курьера на окно доставки заказа

В случае возникновения проблемы в процессе доставки заказа оценивается, насколько задержка повлияет на срок доставки, выйдет ли он за пределы окна. Для этого предусматриваются опоздание и задержка. Опоздание фиксируется, когда курьер едет с заказом по маршруту (например, попадает в пробку или случается проблема с машиной), задержка фиксируется, когда курьер прибыл на место и начал разгрузку заказа, но в процессе возникла проблема (закрытая территория, нужен пропуск или не работает лифт, необходимо подниматься по лестнице и т.д.).

2.6 Создание новой точки отгрузки с перечнем заказов

Предусматривается функция создания дополнительной точки погрузки в произвольном месте, когда на маршруте курьера неожиданно происходит непредвиденное событие (поломка, ДТП и прочее) и курьер не может продолжить выполнять развозку заказов, в этом случае он может сообщить, что ему нужна помощь с доставкой, в результате на месте происшествия создается точка с заказами этого курьера и его заказы встраиваются в другие маршруты других курьеров.

Заключение

В процессе выполнения работы сформулирована актуальная бизнес задача внутригородской развозки консолидируемых продуктов питания из Интернет магазинов.

Разработан и подробно описан подход к решению задачи и комплектации заказов в магазинах, который используется в тандеме с методом, решающим специальную VRPTW задачу доставки LTL (сборных) грузов, описанным авторами в [12, 13]. На базе разработанного метода создан прототип информационно-управляющей диспетчерской системы с интеллектуальным модулем планирования Smart Logistics, который используется в ежедневной работе службы доставки компании Инстамарт [16] (авторами получено благодарственное письмо), который позволяет: осуществлять планирование сборки заказов в реальном времени, гибко выбирая свободных сборщиков и наименее нагруженный магазин, равномерно распределяя доступные ресурсы; учитывать фактические задержки сборщиков, постоянно адаптивно перестраивая план под текущую обстановку и автоматически перенаправляя заказ в другой магазин, если есть вероятность, что текущий сборщик может не успеть в срок, либо уже пропустил дедлайн и нужно срочно что-то делать; выбирать оптимальный маршрут для курьеров, учитывая дорожную обстановку, экономя их время, при этом новые заказы стараются встроиться в текущие маршруты курьеров, даже если эти курьеры уже в пути, но у них имеется свободное место; реагировать на чрезвычайные ситуации с курьерами, когда планирование для остальных курьеров учитывает проблемы коллеги и наиболее эффективно встраивает его задачи в план других.

Предложенный подход развивает коллекцию методов и средств, разработанных в [18-19].

Перспективы развития системы связаны с созданием базы знаний на основе онтологий для описания особенностей регионов, магазинов, товаров (продуктов питания), сборщиков и курьеров, а также клиентов для обеспечения индивидуального подхода к планированию.

Возможно расширение числа применений для развозки других типов товаров, управления мобильными бригадами газовиков, энергетиков, водоканала и т.д.

Список литературы

[1] Dantzig G.B., Ramser J.H. The Truck Dispatching Problem // Management Science. 1959. Vol. 6, No. 1. P. 80-91.

[2] Michael Browne; Alan McKinnon; Sharon Cullinane. Green Logistics by Anthony Whiteing Published by Kogan Page, 2010

[3] Bertazzi, L., Savelsbergh, M., & Speranza, M. G. (2008). Inventory Routing. In Bruce Golden, S. Raghavan, & E. Wasil (Eds.), The Vehicle Routing Problem: Latest Advances and New Challenges (Vol. 43, pp. 49–72). New York: Springer Science+Business Media. doi:10.1007/978-0-387-77778-8

[4] The vehicle routing problem: state of the art classification and review De Jaegere N, Defraeye M, Van Nieuwenhuyse, KU Leuven. [Электронный ресурс] / Режим доступа: https://lirias.kuleuven.be/bitstream/123456789/457452/1/KBI_1415.pdf [14 января 2015].

[5] Oleg Granichin, Petr Skobelev, Alexander Lada, Igor Mayorov, Alexander Tsarev. Cargo transportation models analysis using multi-agent adaptive real-time truck scheduling system. – Proceedings of the 5th International Conference on Agents and Artificial Intelligence (ICAART'2013), February 15-18, 2013, Barcelona, Spain. – SciTePress, Portugal, 2013, Vol. 2. – pp. 244-249. 6

[6] Proceedings of the 19th World Multi-Conference on Systemics, Cybernetics and Informatics (WMSCI 2015), Orlando, Florida, USA, July 12-15, 2015.

[7] Indian Journal of Science and Technology. – Vol 9(12), March 2016. – pp. 1-8. DOI: 10.17485/ijst/2016/v9i12/89520

[8] Indian Journal of Science and Technology. – Vol 9(20), May 2016. – pp. 1-8. DOI: 10.17485/ijst/2016/v9i20/94478

[9] Andreas Bortfeldt. A Hybrid Algorithm for the Capacitated Vehicle Routing Problem with Three-Dimensional Loading Constraints [Текст] / Andreas Bortfeldt – Diskussionsbeiträge der Fakultät für Wirtschaftswissenschaft der FernUniversität in Hagen, 2010. – 15 с.

[10] Управление большими системами (электронный журнал). Выпуск 64. М.: ИПУ РАН, 2016. С. 65-80

[11] Труды XVIII Международной конференции «Проблемы управления и моделирования в сложных системах», Самара, 20-25 сентября 2016 г. – Самара: ОФОРТ, 2016. – С. 171-179.

[12] Вестник Самарского государственного технического университета, серия «Технические науки». 2013. № 3(39).– С. 65–74.

[13] Труды XVI Международной конференции "Проблемы управления и моделирования в сложных системах", Самара, 30 июня-03 июля 2014г. – Самара: СНЦ РАН, 2014. – С. 253-261.

[14] Пробки — Технологии Яндекса [Электронный ресурс] / Режим доступа: https://tech.yandex.ru/maps/doc/jsapi/1.x/mod/concepts/traffic-docpage/ [12 апреля 2017]

[15] Maps API: создание приложений и аналитика [Электронный ресурс] / Режим доступа: https://enterprise.google.ru/intl/ru/maps/products/mapsapi.html [12 апреля 2017]

[16] Продукты с доставкой на дом в интернет-магазине Instamart. Купить продукты с бесплатной доставкой по Москве. [Электронный ресурс] / Режим доступа: https://instamart.ru/ [12 апреля 2017]

[17] Виттих В.А., Мультиагентные модели взаимодействия для построения сетей потребностей и возможностей в открытых системах [Текст] / В.А. Виттих, П.О. Скобелев – М.: Автоматика и Телемеханика, 2003, №1, с. 177-185

[18] Rzevski, G. Self-organization in social systems / G. Rzevski // Онтология проектирования. – 2014. – №4(14). - С. 8-17.

[19] Rzevski, G. Managing Complexity / G. Rzevski, P. Skobelev. – WIT Press, UK.

ЛОГИКО-ДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ И АЛГОРИТМЫ КОМПЛЕКСНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ АКТИВНЫМИ ПОДВИЖНЫМИ ОБЪЕКТАМИ

Б.В. Соколов, А.В. Крылов А.В., М.Ю. Охтилев, П.А. Охтилев, С.А. Потрясаев

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации Российской академии наук
199178, Россия, Санкт-Петербург, 14 линия, дом 39
sokol@iias.spb.su, oxt@mail.ru, semp@mail.ru
тел: +7 (812) 328-01-03, факс: +7 (812) 328-44-50

Ключевые слова: *комплексное планирование, активные подвижные объекты, логико-динамические модели и алгоритмы планирования.*

Abstract
This article discusses the results of solving the problems of constructing an integrated schedule of active moving objects automatic control system, which are based on proposed new logical-dynamic model.

Введение

В настоящее время при проектировании, внедрении, эксплуатации и развитии автоматизированных систем управления (АСУ) активными подвижными объектами (АПО) одной из актуальных проблем была и остаётся проблема автоматизации принятия решений, в том числе, и проблема автоматизации процессов планирования. Далее, говоря о планировании в широком смысле, будем предполагать, что оно представляет собой целенаправленный, организованный и непрерывный процесс выделения различных элементов и аспектов АСУ АПО, определения их состояния и взаимодействия в данное время, многовариантного прогнозирования их развития на некоторый период времени в будущем, а также составление и программирования набора действий и планов, направленных на достижение желаемых результатов [1-7].

При этом под АПО, в общем случае, понимается сложная мобильная система, предназначенная для информационного, энергетического или/и вещественного взаимодействия с окружающей физической средой (АПО 1 рода) или/и с другими подобными системами (АПО 2 рода) [1-7]. Функционирование АПО складывается из четырех составляющих: перемещение основания АПО в пространстве (механическое движение), изменение состояния бортового ресурса, изменение состояния размещенных на его борту приборов и, наконец, самое главное — осуществление взаимодействия АПО со средой или другими АПО — это целевая задача и основной атрибут АПО.

В общем случае при планировании приходится решать следующие классы задач [1]: 1) определение целей и задач, стоящих перед АСУ АПО; 2) определение средств достижения этих целей и задач; 3) определение ресурсов и источников получения ресурсов для реализации планов, а также разработка принципов, методов и методик распределения ресурсов между элементами и подсистемами АСУ АПО; 4) разработка (синтез) облика АСУ АПО (и, прежде всего, её основных структур), а также механизмов (алгоритмов) её функционирования, обеспечивающих непрерывность комплексного процессов планирования и реализации плановых решений. К настоящему времени сформировалось три подхода (три философии, концепции) планирования [1,4]: сатисфакционное (инкрементальное), формальное и системное планирование. Формальное планирование делает акцент на предсказании развития обстановки (в тер-

минах математических моделей), сатисфакционное – на реакции АСУ АПО на воздействия внешней среды, при системном (комплексном, проактивном) планировании осуществляется, во-первых, составление согласованного расписания работы основных элементов и подсистем АСУ АПО, и, во-вторых, упреждающее моделирование возможных сценариев реализации составленных планов и их параметрическая и структурная адаптация к предполагаемым возмущающим воздействиям. При системном планировании предлагается динамическая интерпретация выполняемых операций и распределения ограниченных ресурсов [8-10]. Поэтому в данном случае процесс планирования трактуется не как дискретная деятельность, а как непрерывно развивающийся адаптивный процесс. В работах [1,6,11-14] данный вид планирования назван адаптационным. При этом адаптация планов проводится на основе апостериорной, текущей и априорной информации (адаптация к «прошлому», «настоящему», «будущему»). В рамках перечисленных выше концепций планирования были разработаны многочисленные теории планирования для различных предметных областей [2-4,7-9]. Более того при автоматизации решения различных классов задач планирования применения АСУ АПО широко использовались как математические модели (прежде всего, модели математического программирования, имитационные модели), так и логико-алгебраические, логико–лингвистические модели [8-13]. Однако, к сожалению, при таких подходах к решению частных задач планирования применения АСУ АПО зачастую не выполнялись основные требования системного подхода, что конкретно проявлялось в значительной несогласованности процессов функционирования элементов и подсистем, входящих в состав АСУ АПО, возникновении «пиковых» информационных нагрузок в комплексах средств автоматизации, отсутствии ориентации задач планирования на повышение эффективности применения АСУ АПО. Кроме того, при указанном подходе к решению задач планирования не учитывались современные тенденции и перспективы развития АСУ АПО, связанные с их интеграцией и возможными вариантами управления структурной динамикой данных систем [10,13,14].

1 Предлагаемый подход

В основу разработанного полимодельного описания функционирования АСУ АПО была положена логико-динамическая интерпретация выполнения комплексов операций и распределения ресурсов, предложенная ранее в работах [4,8,13,14]. В состав разработанной обобщённой модели ее функционирования были включены следующие логико-динамические модели [10,12-13]: динамическая модель управления движением АСУ АПО; динамическая модель управления каналами в АСУ АПО; динамическая модель управления операциями, проводимыми в АСУ АПО; динамическая модель управления потоками в АСУ АПО; динамическая модель управления ресурсами в АСУ АПО; динамическая модель управления параметрами операций, проводимыми в АСУ АПО; динамическая модель управления структурной динамикой АСУ АПО; динамическая модель управления вспомогательными операциями АСУ АПО.

При этом упрощённый вариант динамическая модель управления операциями, проводимыми в АСУ АПО, может быть представлен в виде следующей модели:

$$\Delta = \left\{ \mathbf{u} \mid \dot{x}_i = \sum_{j=1}^{m} u_{ij}; \sum_{i=1}^{n} u_{ij}(t) \le 1; \sum_{j=1}^{m} u_{ij} \le 1; u_{ij}(t) \in \{0,1\}; \right.$$

(1) $t \in (t_0, t_f] = T;\ x_i(t_0) = 0; x_i(t_f) = a_i;$

$$\left. \sum_{j=1}^{m} u_{ij} \left[\sum_{\alpha \in \Gamma_{1i}^{-}} (a_\alpha - x_\alpha(t)) + \prod_{\beta \in \Gamma_{i2}^{-}} (a_\beta - x_\beta(t)) \right] = 0; i = 1,...,n;\ j = 1,...,m \right\},$$

где $x_i(t)$ – переменная, характеризующая состояние выполнения операции взаимодействия D_i, в момент времени t; a_i – заданный объём выполнения указанной операции; $u_{ij}(t)$ – управляющее воздействие, принимающее значение 1, если операция взаимодействия D_i выполняется с использованием B_j ресурса (подсистемы) АСУ АПО, 0 – в противоположном случае; $\alpha \in \Gamma_{1i}^{-}$, $\beta \in \Gamma_{2i}^{-}$ – множество номеров операций, непосредственно предшествующих и технологически связанных с операцией D_i с помощью логических операций "И", "ИЛИ" (альтернативное "ИЛИ"), T – интервал времени, на котором рассматривается функционирование АСУ АПО; t_0, t_f – начальный и конечный моменты времени. В работах [10,12,13] рассматриваются возможные варианты детализации указанной модели для различных предметных областей.

Более того, перечисленный полимодельный комплекс был дополнен новой модификацией ранее разработанной авторами вычислительной G-модели, представляющей собой динамический альтернативный системный граф с перестраиваемой структурой, который построен на основе комбинированного использования математического аппарата сетей Петри с перечисленными логико-динамическими моделями программного управления. В последние годы сети Петри завоевали широкое признание, прежде всего, как удобный и наглядный инструмент описания моделей многоуровневых процессов параллельного, потокового, пространственно-распределённого, асинхронного преобразования информации. В отличие от традиционно используемых в этом случае автоматов, сети Петри позволяют формализовать множество разнотипных объектов и происходящих в них процессов на основе установления локальных (распределённых) отношений между компонентами в соответствующих моделях и отслеживания локальных (распределённых) изменений состояний во всей системе моделей преобразования и обработки информации. Анализ публикаций по указанной тематике показывает, что к настоящему времени для данных моделей разработаны и реализованы разнообразные инструментальные средства, позволяющие осуществлять автоматическое либо автоматизированное преобразование сетей, их конструирование и анализ. Данные преобразования базируются на нормальном представлении подкласса сетей Петри (регулярных сетях) и их обобщениях (структурированных сетях), основанных, в свою очередь, на алгебре регулярных сетей, разработанных В.Е. Котовым. Ранее выполненные исследования показывают, что, используя сети Петри, можно на конструктивном уровне осуществить интеграцию таких важнейших классов моделей подготовки и принятия решений, как: вычислительные модели, используемые для описания алгоритмов оперативного управления режимами работы данных сложных объектов; экспертные модели для описания управляющей деятельности диспетчеров указанных объектов; а также диалоговые модели для описания человеко-машинного взаимодействия в рассматриваемых системах. Поэтому было предложено обобщённое описание исследуемых объектов, основанное на введении категории динамических альтернативных системных графов с перестраиваемой структурой [13]. В рамках данного формального описания удаётся объединить и связать все ранее перечисленные классы динамических моделей. Указанное объединение моделей уже сейчас открывает перспективы проведения междисциплинарных исследований, в рамках которых возможно взаимообогащение перечисленных прикладных теорий управления интересными научными и практическими результатами, полученными в каждой из них.

В качестве примера приведем упрощённый вариант динамической интерпретации сети Петри с помощью дискретной динамической системы (ДДС), которая применительно к проблемам планирования операций и распределения ресурсов АСУ АПО, может быть задана следующим образом. Будем предполагать, что величина каждой i-й компоненты вектора состояния ДДС (состоянию АСУ АПО) вида: $\boldsymbol{x}[l] = \|x_1[l], x_2[l],\ldots, x_n[l]\|^{\mathrm{T}}$, $l = 1,\ldots,N$ (l – текущий номер шага, момент времени), численно равна суммарному числу меток в p_i позиции в исходной сети Петри, а каждому t_j переходу сопоставляется управляющее воздействие $u_j[l] \in \{0,1\}$, принимающее значение 1, если t_j переход срабатывает на шаге l, 0 – в противном случае. Кроме того, при срабатывании каждого разрешённого перехода перемещение меток из одной позиции в

другую осуществляется не мгновенно, а с фиксированной длительностью (шагом). В этом случае уравнения, описывающие динамику смены маркировок в рассматриваемой сети Петри могут быть заданы в виде следующих рекуррентных соотношений

$$(2)\quad x_i[l] = x_i[l-1] + \sum_{\beta \in \Gamma_i^-} k_\beta u_\beta[l] - \sum_{\alpha \in \Gamma_i^+} k_\alpha u_\alpha[l]\grave{}\,,$$

где k_β, k_α – кратность рёбер, соединяющих соответственно t_β переходы с p_i позицией и p_i позицию с t_α переходами; Γ_i^- (Γ_i^+) – множество номеров входных (выходных) переходов p_i позиции. Наряду с (1) необходимо в ДДС задать ограничения, описывающие структуру сети Петри, логику срабатывания переходов (которым соответствуют пространственно-временные, технические и технологические ограничения, связанные с функционированием АСУ АПО). Данные ограничения могут быть представлены в следующем виде:

$$(3)\quad u_\alpha[l] \sum_{i \in I_\alpha} \prod_{\xi=k_i}^{s_i} (\xi - x_i[l-1]) = 0\,,$$

$$(4)\quad \sum_{\alpha \in \Gamma_i^+} k_\alpha u_\alpha[l] \le x_i[l-1]\,,$$

$$(5)\quad u_\alpha[l] \sum_{\nu \in J_\alpha} x_\nu[l-1] = 0\,,$$

где $s_i = \max x_i[l]$, $l = 1,\ldots,N$ – максимально возможное число меток, которое может находиться в p_i позиции; $I_\alpha(J_\alpha)$ – соответственно множество номеров входных позиций (выходных позиций со сдерживающими дугами) для t_α перехода. Наряду с (2)–(5) следует задать начальную и конечную (требуемую) маркировку сети Петри $\boldsymbol{x}[0]$, $\boldsymbol{x}[N]$; показатель качества функционирования сложных объектов $F = \sum_{l=1}^{N} g_l(\mathbf{x}[l-1], \mathbf{u}[l])$, где $g_l(\cdot,\cdot)$ – заданные функции. Необходимо отметить, что предложенный подход к формализации процессов функционирования сложных объектов применим в тех случаях, когда указанные процессы описываются разноцветными временными сетями Петри. Основная особенность предлагаемой динамической интерпретации сетей Петри состоит в том, что необходимо таким образом задавать соотношения (2)-(5), чтобы обеспечивалась целочисленность значений компонент вектора состояния и управлений в построенной ДДС на каждом шаге $l = 1,\ldots,N$. Для этого ограничения вида (3)-(5) в терминах теории оптимального управления должны удовлетворять условиям общности положения [8]. К настоящему времени на основе предложенной динамической интерпретации процессов решения задач комплексного планирования работ АСУ АПО и соответствующей динамической интерпретации процессов функционирования сетей Петри удалось решить целый ряд важных научных и прикладных задач [10,13-16].

Анализ показывает, что разработанные алгоритмы поиска оптимальных расписаний и соответствующие планы функционирования средств можно использовать для поиска оптимальных правил срабатывания переходов в сетях Петри, оценивании достижимости заданной маркировки сети Петри [36,84]. С другой стороны, при решении разнообразных задач теории расписаний, задач структурно-функционального синтеза АСУ АПО , используя математический аппарат сетей Петри, можно проводить конструктивное оценивание временной и ёмкостной сложности соответствующих алгоритмов оптимизации, поиск диспетчерских планов (первых приближений) в задачах оптимального программного управления комплексами операций [13]. Кроме того, предложенный комплекс динамических моделей можно использовать для оценивания и выбора наилучших технологий системного моделирования заданного класса АПО. Рассматриваемую динамическую интерпретацию сетей Петри также можно использовать при

согласовании результатов, полученных на математических и вычислительных моделях. Одно из основных достоинств разработанной комбинированной вычислительной G-модели комплексного планирования функционирования АСУ АПО состоит в том, что она обеспечивает на концептуальном, модельно-алгоритмическом, информационном и программном уровнях детализации корректное согласование (в соответствие с критериями гомоморфизма отношений) математических (аналитико-имитационных) моделей управления структурной динамикой сложных динамических объектов (активных подвижных объектов (АПО)) с их логико-алгебраическими и логико-лингвистическими аналогами (моделями), построенными на основе интеллектуальных информационных технологий [13]. При этом в отличие от существующих поведенческих (сценарных) моделей АСУ АПО, базирующихся на конечно-автоматных и имитационных описаниях, предложенный логико-динамический подход позволил на конструктивном уровне решить задачи оперативного структурно-функционального синтеза как облика АСУ АПО, так и соответствующего синтеза сценариев их поведения. программного управления операциями;

Для решения самой задачи комплексного планирования функционирования АСУ АПО была разработана обобщенная процедура, базирующаяся на разработанных авторами доклада комбинированных методах решения задач оптимального проактивного управления структурной динамикой рассматриваемых сложных организационно-технических систем и включающая в себя следующие этапы [10,13,14,17]: *адаптация параметров и структуры моделей, алгоритмов планирования и регулирования работы средств АСУ АПО к прошлому и текущему ее состоянию, а также состоянию внешней среды; динамический структурно-функциональный синтез основных элементов и подсистем АСУ АПО на очередном цикле ее применения; составление различных вариантов расписаний работы АСУ АПО; имитация и многовариантное прогнозирование сформированных сценариев реализации планов функционирования АСУ АПО с учётом различных вариантов ситуационного реагирования ее элементов и подсистем на возможные возмущения; адаптация (структурная, параметрическая) планов, моделей, алгоритмов планирования работы АСУ АПО к возможным (прогнозируемым на имитационных моделях) ее состояниям и состояниям внешней среды.*

Главное достоинство разработанного подхода к решению задачи комплексного планирования [8,11] состоит в том, что решение всех частных задач управления структурной динамикой (УСД) АСУ АПО осуществляется на единой методологической и методической основе, базирующейся на новых научных и практических результатах, полученных в современной теории управления [8,11]. Проведенные исследования показали, что при реализации предложенной обобщенной процедуры комплексного планирования (в зависимости от состава и структуры исходных данных) целесообразно использовать следующие комбинированные методы и алгоритма поиска решений нелинейных двухточечных (многоточечных) задач: метод последовательных приближений в задачах поиска оптимальных управлений в сочетании с методом Ньютона; метод последовательных приближений в задачах поиска оптимальных управлений в сочетании с методом штрафных функционалов; метод последовательных приближений в задачах поиска оптимальных управлений в сочетании с обобщенным субградиентным методом; метод последовательных приближений в задачах поиска оптимальных управлений в сочетании с методом “ветвей и границ”. Данные методы позволили, по сравнения с существующими методами, повысить оперативность и пропускную способность АСУ АПО в среднем на 10% -15% за счет оптимального упорядочения операций, проводимых при выполнении соответствующих комплексов операций, а также наилучшего распределения ограниченных ресурсов АСУ АПО.

Заключение

Одно из главных достоинств предлагаемого подхода к решению задачи комплексного планирования функционирования АСУ АПО и соответствующих комбинированных методов решения задач оптимального программного управления и математического программирования, состоит в том, что в ходе формирования вектора программных управлений (плана работы АСУ АПО) в финальный момент времени, наряду с оптимальным планом, одновременно получается и то искомое многоструктурное макросостояние (или по-другому облик АСУ АПО), находясь в котором она сможет выполнять поставленные перед ней задачи в складывающейся (прогнозируемой) на интервале планирования обстановке с требуемой степенью устойчивости. К настоящему времени предложенный подход к организации комплексного планирования получил свою практическую реализацию при решении ряда задач, возникающих в ракетно-космической отрасли и транспортно-логистических сетях [10,13,14-18].

Благодарности

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 17-11-01254).

Список литературы

[1] Акофф Р. Планирование в больших экономических системах.-М.:Советское радио, 1972.
[2] Танаев В.С., Гордон В.С., Шафранский Я.М., Теория расписаний. Одностадийные системы, М.: Наука, 1984.
[3] Танаев В.С., Сотсков Ю.Н., Струсевич В.А., Теория расписаний. Многостадийные системы, М.: Наука, 1989.
[4] Поспелов Г.С., Ириков В.А., Курилов А.Е. Процедуры и алгоритмы формирования комплексных программ/Под. ред. Г.С. Поспелова.- М.: Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1985.
[5] Танаев В.С.,Ковалев М.Я., Шафранский Я.М., Теория расписаний. Групповые технологии, Мн.: «ИТК НАН Беларуси», 1998.
[6] Гэри М., Джонсон Д., Вычислительные машины и труднорешаемые задачи, М. :«Мир», 1982.
[7] Калинин В.Н. Теоретические основы управления активными подвижными объектами. Министерство обороны СССР, 1974. 130 с.
[8] Васильев С.Н. От классических задач регулирования к интеллектному управлению // Теория и системы управления. – 2001. – № 1. – С. 5-22; № 2. – С. 5-21.
[9] Городецкий В.И. Многоагентные системы: современное состояние исследований и перспективы применения // Новости искусственного интеллекта. – 1996. –№ 4. – С. 44-59.
[10] Калинин В.Н, Соколов Б.В. Многомодельный подход к описанию процессов управления космическими средствами // Теория и системы управления - 1995.-№1. – с. 56 – 61.
[11] Калинин В.Н., Резников Б.А. Теория систем и управления (структурно-математический подход). – Л.: ВИКИ, 1987.
[12] Калинин В.Н., Соколов Б.В. Динамическая модель и алгоритм оптимального планирования комплекса работ с запретами на прерывание // Автоматика и телемеханика. 1987. №1. С.106–114.
[13] Охтилев М.Ю., Соколов Б.В., Юсупов Р.М. Интеллектуальные технологии мониторинга и управления структурной динамикой сложных объектов – М.: Наука, 2006.- 410 с.
[14] Ivanov, D.A., Sokolov B.V. (2010) Adaptive supply chain management. Springer., Wiley & Sons, New York.
[15] Ivanov,D., Sokolov,B. (2012a). Dynamic supply chain scheduling. Journal of Scheduling, 15(2), 201–216.
[16] http://litsam.ru.
[17] http://www.simulation.su
[18] http://www.spiiras.nw.ru

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОТОКОВОЙ МОДЕЛИ РАСПРЕДЕЛЁННЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ В СИСТЕМАХ МОНИТОРИНГА

А.В.Устинов[1], А.Э.Зянчурин[2], И.С. Кириллов[3]

[1]Санкт-Петербургский государственный университет
аэрокосмического приборостроения
190000, г. Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 67. лит.А., Россия
k43@guap.ru
тел: +7 (812) 494-70-43

[2]Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации РАН
199178, Санкт-Петербург, 14 линия, 39, Россия
spiiran@iias.spb.su
тел.: +7 (812) 328-34-11

[3]Военное представительство МО РФ
194064, Санкт-Петербург, Тихорецкий пр., д. 21. Россия
da4abenua@mail.ru
тел.: +7 (812) 552-47-13

Ключевые слова: *Потоковая модель вычислений, распределенные системы, анализ измерительной информации, мониторинг, Dataflow, G – модель, G – сеть*

Abstract
The article describes the architecture of a streaming distributed computing system, the main parameters of the system and its application for monitoring tasks. The article describes the model of computations. It also shows problems of scalability, distribution and calculations planning.

Введение

Анализ современных сложных технических систем показывает, что данные системы имеют ряд особенностей, среди которых следует выделить: многоаспектность и неопределенность их поведения, иерархию, структурное подобие и избыточность основных элементов и подсистем, территориальную распределенность компонентов системы, неоднородность связей между компонентами [8, 12].

Информация о состоянии объекта наблюдения в сложной технической системе, представляется в виде текущих значений измерительной информации. Повышенный уровнь сложности системы требует большого количества контролируемых параметров. Для большого класса систем используемых в таких отраслях, как: ракетно-космическая, авиационная, корабельная техника, сложные системы электроснабжения, радиоэлектронные и автоматизированные системы и комплексы различного назначения и ведомственной принадлежности, уже сегодня количество контролируемых параметров достигают нескольких сотен и тысяч. Временные задержки и ошибки в управлении, вызванные неверным решением задачи оценивания или мониторинга состояний объекта, могут привести к необратимым негативным последствиям [8, 12].

Создание эффективных распределенных систем обработки информации и построение на их основе систем мониторинга, является перспективным направлением развития. В настоящее время используются различные средства организации распределенных систем. Но зачастую, они не подкреплены общей моделью вычислений. В своей основе являются разнородными и процесс их интеграции в уже существующие системы является трудоёмки, дорогостоящим или не возможным без кардинальных изменений текущей системы (в том числе и аппаратных средств). Поэтому их использование не всегда является эффективным решением.

Безусловно, перспективным направлением является подход, который позволяет реализовать высокоэффективные распределенные системы вычислений на уже имеющихся аппаратных средствах. И при необходимости легко масштабировать систему с применением широкого спектра оборудования.

Мониторинг, представляет из себя – один из этапов обработки измерительной информации. Он производится с целью оценивания состояний (технических состояний) объектов анализа, таких как: бортовых систем ракетоносителя, космического аппарата, космических систем в целом и т.п.

Для представления множества параметров, характеризующих объекты анализа, будет использована G – модель [7]. Программа вычислений, реализующая алгоритм автоматизированного анализа измерительной информации, заданная с помощью G – сети. Которая в своей основе имеет потоковую модель вычислений [7]. Потоковая модель вычислений (Dataflow), основа на потоке данных и имеет огромные преимущества перед моделью основанной на потоке управления (Controlflow), в теоретическом плане. Однако реализации такой модели вычислений имеет ряд сложностей. Связаны они, с фундаментальными недостатками самой модели вычислений и аппаратными ограничениями [4, 5]:

- Обеспечение доступа к данным;
- Неоднородность коммутационной среды;
- Нерациональный подход к планированию вычислений (выполнение по готовности данных).

Основным принципом потоковой модели вычислений, является выполнение по готовности данных. Этот же принцип лежит в схеме программы анализа измерительной информации (G – сети) [7]. Исходя из этого, в модели вычислений, ключевым моментом является использование локальных данных, прежде всего для сопоставления набора входных параметров, с целью обнаружения полных наборов входных параметров для оператора, а также для временного хранения не полного набора входных параметров. Для реализации параллелизма, присущего модели вычислений, в системе необходимо предусмотреть большое количество вычислительных узлов (ВУ). В свою очередь, для обеспечения локальности данных необходимо аналогичное с количеством ВУ, количество модулей, отвечающих за хранение данных. Таким модулем может быть – мастер данных (МД). Все ВУ и МД соединены при помощи коммутационной (вычислительной) среды [4, 1, 2, 9].

В идеальном варианте в системе существует автоматическое (аппаратное или программное) распределение ресурсов и данных. Конфигурация виртуального вычислительного пространства производится динамически и полностью автоматическим способом [4, 10, 13]. В частности, распределение данных по МД для хранения наборов входных параметров. Но такое предположение справедливо, если коммутационная среда однородна: все времена передач данных между устройствами одинаковы и невелики. Это предположение не реально, на данный момент. Даже в варианте реализации системы на одной вычислительной машине, ее невозможно сделать однородной, так как на работу систему могут влиять внутренние процессы операционной системы и внешние воздействия, а также аппаратные ограничения. Если система функционирует в условия сильной неоднородности коммутационной среды, например, предположить, что система реализована в виде распределенной вычислительной системы, и модули системы размещены на нескольких вычислительных узлах, то результаты могут значительно ухудшиться [3, 6, 9, 10, 11].

Для того чтобы система имела высокие характеристики в условиях неоднородной коммутационной среды, необходимо:

- Уметь обнаруживать локальность в схеме программы, т. е. находить в вычислительном пространстве программы совокупности операторов, внутри которых имеет место очень интенсивное взаимодействие, тогда как между операторами из различных таких совокупностей взаимодействие существенно более слабое;

- Построить архитектуру системы, обладающую локальностью данных и операторов, т.е. в структуре системы должны существовать функционально полные программные единицы, включающие в себя наборы операторов и необходимые наборы входных данные с короткими внутренними связями при высокой пропускной способности этих связей. Между этими программными единицами связи могут быть более длинными, а пропускные способности — меньшими. Из этих программных единиц могут быть образованы более крупные программные единицы, вплоть до получения нескольких уровней иерархии;
- Отображать виртуальное пространство вычислений в физическое пространство с сохранением локальности, т. е. тесно связанные между собой вычислительные элементы должны находиться на максимально близких вычислительных машинах [4, 5, 6].

В качестве первого шага к решению проблемы локальности данных и операторов предлагается следующая структура системы:

- ВУ и МД объединяются в одну программную единицу — вычислительный модуль;
- через коммутационную среду передаются только наборы входных параметров с контекстной информацией. Входные параметры, формируемые в МД модуля, передаются на исполнение только в ВУ находящееся в этом модуле;
- Предполагается, что все связи внутри модуля относительно короткие, связи между модулями — более длинные;
- Структура коммутационной среды может быть неоднородной (то есть связи внутри некоторых групп модулей могут быть короче, чем между модулями из разных групп) [4, 5, 6].

Для исключения нерационального распределения данных в системе, важную роль, играет специалист, проектирующий схему программы. Специалист формирует отдельные задачи, которые будут использоваться в его программе без учёта распределения. Но каждая, такая задача может быть распределена по модулям системы. Таким образом, программа состоит из двух относительно независимых частей: описания алгоритма, не учитывающего распределения вычислительных элементов по модулям и дополнительных указаний, задающих распределение вычислительных элементов по модулям.

Основываясь на приведенных выше данных, можем реализовать распределенную систему, позволяющую эффективно производить анализ измерительной информации. Архитектура системы сочетает в себе необходимость ориентации системы на поток данных, при этом реализуется на существующих аппаратных решениях и может быть легко масштабируема при низки затратах.

Вычислительный модуль, в рамках операционной системы можем представить, как приложение. Одна из фундаментальных основ любого приложения — это процесс или поток. Процесс или поток — это самодостаточный набор инструкций, который операционная система может запланировать для выполнения на ядре процессора. Большинство сложных приложений параллельно запускают множество процессов или потоков по двум причинам [9, 10]:

- Чтобы одновременно задействовать больше вычислительных ядер;
- Процессы и потоки позволяют проще выполнять параллельные операции.

Процессы и потоки сами по себе расходуют дополнительные ресурсы. Каждый такой процесс или поток потребляет некоторое количество памяти, а кроме того они постоянно подменяют друг друга на процессоре (т. н. переключение контекста). Современные компьютеры могут справляться с сотнями активных процессов и потоков, но производительность сильно страдает, как только заканчивается память или огромное количество операций ввода-вывода приводит к слишком частой смене контекста.

Наиболее простым подходом к построению распределенной системы с большим количеством ВУ — это выделять для каждого ВУ отдельный процесс или поток. Такая архитектура проста для понимания и легка в реализации, но при этом плохо масштабируется, когда приложению приходится работать с тысячами ВУ одновременно.

Решением в данном случаи - использует модель с фиксированным числом процессов для ВУ и очереди операторов для одного вычислительного модуля. Такая модель наиболее эффективно задействует доступные ресурсы системы:

Единственный мастер-процесс выполняет набор основных операций управления системой и обработку очереди операторов, порождает небольшое число рабочих процессов, которые выполняют роль ВУ. Число рабочих процессов в этом случаи, не должно превышать количество ядер процессора, что позволит использовать системные ресурсы максимально эффективно. Каждый из ВУ получает оператор, от мастер-процесса и обрабатывает данные в не блокирующемся режиме, минимизируя количество переключений контекста. Каждый рабочий процесс однопоточен и работает независимо, принимая новые операторы и обрабатывая их.

Заключение

Представленная архитектура системы демонстрирует хорошие перспективы для задач мониторинга, но является не простой и требует дальнейшей работы и исследований, из-за ряда сложностей, возникающих при реализации распределенных систем, основанных на потоковой модели вычислений.

В дальнейшем, планируется доработка и расширение архитектуры системы и её реализация на практике. Результат реализации системы будет описан в будущих работах

Благодарности

Исследования, выполненные по данной тематике, проводились при финансовой поддержке ведущих университетов Российской Федерации: СПб ГПУ (мероприятие 6.1.1), ИТМО (субсидия 074–U01), Программы НТС Союзного государства «Мониторинг-СГ» (проект 1.4.1-1), грантов РФФИ (№№15-07-08391, 15-08-08459, 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), госзадания Министерства образования и науки РФ №2.3135.2017/К, в рамках бюджетных тем №№0073–2014–0009, 0073–2015–0007, 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] Баканов В. М. Параллелизация обработки данных на вычислителях потоковой (DataFlow) архитектуры. Суперкомпьютеры. 2011. № 5. С. 54-58.

[2] Баканов В. М. Параллельные вычисления в техническом вузе – потоковые (DATA-FLOW) вычислители. В кн.: Современное образование: содержание, технологии, качество: материалы XVI Международной научно-методической конференции Т. 2. СПб. : Издательство СПбГЭТУ "ЛЭТИ", 2010. С. 133-135.

[3] Баканов В. М. Управление динамикой вычислений в процессорах потоковой архитектуры для различных типов алгоритмов // Программная инженерия. 2015. № 9. С. 20-24.

[4] Климов А.В., Левченко Н.Н., Окунев А.С., Змеев Д.Н. Dataflow – парадигма программирования будущего // Тезисы доклада, семинар "Посткремниевые вычисления", 24 ноября 2014 г., г. Переславль-Залесский.

[5] Климов А.В., Окунев А.С. Потоковая модель вычислений как путь к экзафлопсу // Труды Международной суперкомпьютерной конференции «Научный сервис в сети Интернет: экзафлопсное будущее» (19-24 сентября 2011 г., г. Новороссийск), с. 261-266. ISBN 978-5-211-06229-0

[6] Климов А.В., Окунев А.С., Степанов А.М. Проблемы развития модели вычислений с управлением потоком данных и особенности ее архитектурной реализации. "Информационные технологии в науке, образовании, телекоммуникации и бизнесе", материалы международной конференции IT+S&E`07, Ялта-Гурзуф, май 2007 г.

[7] Охтилев М.Ю. Основы теории автоматизированного анализа измерительной информации в реальном времени. Синтез системы анализа. — СПб.: ВИКУ им. А.Ф. Можайского. 1999. — 161 с.
[8] Охтилев М.Ю., Соколов Б.В., Юсупов Р.М. Интеллектуальные технологии мониторинга и управления структурной динамикой сложных технических объектов. М.: Наука. 2006. 291 с.
[9] Таненбаум Э., ван Стеен М. Распределенные системы. Принципы и парадигмы. – СПб: Питер, 2003. – 877 с.
[10] Таненбаум Э., Остин Т. Архитектура компьютера. 6-е изд. СПб.: Питер, 2014
[11] Тель Ж. Введение в распределенные алгоритмы. Пер. с англ. – М.:М ЦНМО, 2009. – 616 с.
[12] Устинов А.В. Применение модели mapreduce для организации распределенных систем мониторинга состояния и управления сложными организационно-техническими объектами. Научная сессия ГУАП. СПб. 2016. Часть 2. – С. 270 – 272.
[13] Jurij Silc. Dataflow architectures. [Электронный ресурс]: режим доступа: http://csd.ijs.si/courses/dataflow/index.htm

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ЗНАНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО АНАЛИЗА ДАННЫХ

Л.Р. Черняховская, Н.О. Никулина, Н.И. Федорова, А.И. Малахова

Уфимский государственный авиационный технический университет
450000, Уфа, ул. К. Маркса, 12, Россия
lrchern@yandex.ru, nikulinano@outlook.com, nf_2002@mail.ru, aimalakhova@gmail.com
тел: +7 (347) 273-78-35, факс: +7 (347) 273-77-17

Ключевые слова: *диагностика, база знаний, онтология, технологический процесс*

Abstract

In the article development of the diagnostic knowledge system based on integration of data mining models, analytical methods of emergency situations recognition and formalization of the expert's knowledge and experience in the diagnosis ontology for multi-criteria diagnostics of complex systems and processes states, is proposed. The problem of determining the associative relationships between causes, characteristics and consequences of failure's appearance and rules for diagnosing the emergency situations, based on the results of data mining, is considered. Recognition of the control object state is implemented by the methods of decisions search based on logical rules and precedents of solving the diagnostic problems in emergency situations.

Введение

При управлении сложной технической системой актуальной задачей является оказание поддержки принятия решений в процессе диагностики и ликвидации нештатных ситуаций на основе накопленных знаний и опыта. Целью исследования является развитие методологических и теоретических основ диагностики состояний сложных технических систем и технологических процессов на основе онтологического анализа и обработки знаний в условиях неопределенности, а также разработки новых интеллектуальных методов и инструментальных средств многокритериальной диагностики состояний объекта управления. Для многокритериальной диагностики состояний сложных систем и процессов предлагается разработка системы диагностических знаний на основе интеграции моделей интеллектуального анализа данных, аналитических методов распознавания нештатных ситуаций и формализации знаний и опыта экспертов, представленных в онтологии диагностики.

В проводимых исследованиях решается задача определения ассоциативных отношений между причинами, признаками и последствиями возникновения неисправностей, а также правил диагностирования нештатных ситуаций, на основе результатов интеллектуального анализа данных. Распознавание состояния объекта управления реализуется методами поиска решений на основе логических правил и прецедентов решения задач диагностики в нештатных ситуациях.

1 Принципы разработки системы диагностических знаний

Поддержка принятия решений при управлении сложными техническими объектами становится одной из актуальнейших задач в условиях все возрастающей тяжести последствий от ошибок, связанных с недостаточной компетентностью лиц, принимающих решения (ЛПР). Быстро меняющиеся условия функционирования объектов управления при возрастании количества параметров и объемов информации, которую нужно быстро оценить с целью принятия решения в критической ситуации, а также снижение квалификации ЛПР приводит к необхо-

димости построения систем поддержки принятия решений с базой знаний, основанной на опыте управления подобными объектами. Следует заметить, что к сложным техническим объектам можно отнести достаточно широкий класс систем, в которых выполняются технологические, производственные, административные, организационные процессы, требующие принятия решений и взаимодействия многих участников, в том числе, и проекты по разработке и внедрению систем управления предприятием [1].

Проблема извлечения знаний с целью их дальнейшего использования в последнее время является одной из актуальнейших проблем управления сложными техническими объектами. Так, например, одним из трендов проектно-ориентированного управления в 2015-2017 гг. является сосредоточение на извлечении уроков из успешных крупных отраслевых проектов [2]. Согласно *PMI* высоко-результативные компании отличает использование нескольких базовых практик, таких как:

- более высокая эффективность передачи знаний;
- высокое качество управления рисками;
- более частое использование циклических итеративных практик управления проектами.

Сбор знаний и обмен извлеченными уроками позволяет смягчить последствия ошибок, которые неизбежно допускаются персоналом в ходе выполнения процессов и проектов. Достаточно серьезен может быть ущерб от ухода ключевых сотрудников, использование накопленных знаний приносит в этот момент ощутимую пользу. Несмотря на это, согласно отчету [2] лишь очень малая часть компаний занимается передачей знаний на надлежащем уровне. Для того, чтобы передача знаний стала будничным, но эффективным процессом она должна быть встроена в организационную культуру.

Передача знаний позволяет повысить эффективность работы команды за счет улучшенного взаимодействия, инноваций, обучения, генерации знаний. Однако данные показывают, что лишь 14 % компаний применяют этот процесс на практике. Наличие формализованного процесса передачи знаний серьезно повышает эффективность организации: он встречается у 75 % высокорезультативных компаний и лишь у 35 % низкорезультативных. Сравнение результатов проектов компаний, имеющих и не имеющих формального процесса передачи знаний, представлены на рисунке 1.

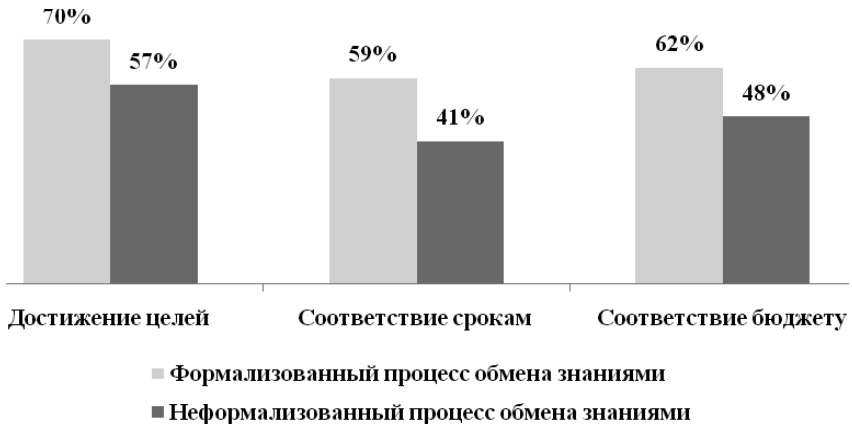


Рисунок 1 – Результаты проектов компаний с разным уровнем обмена знаниями

Из рисунка 1 видно, что у компаний с формализованным процессом обмена знаниями на 17 % больше проектов достигают поставленных целей, на 18 % больше завершаются в срок и на 14 % больше укладываются в запланированный бюджет в сравнении с компаниями, не

имеющими формализованного процесса обмена знаниями. Передача знаний, как инструмент обучения и развития компаний, приобретает еще большее значение в свете того факта, что 2/3 компаний часть проектного управления отдает на аутсорсинг. Таким образом, дополнительные знания можно получать не только внутри организации, но и во внешней среде.

В необходимости накопления знаний не только о выполнении проектов, но и производственных, технологических, управленческих процессов руководство компаний давно не сомневается. Но по-прежнему открытым остается вопрос, каким именно способом это делать, чтобы минимизировать трудоемкость процесса сбора и формализации знаний и обеспечить всех участников процессов актуальной, достоверной и полезной информацией. Кроме того, ключевые сотрудники, являющиеся по существу экспертами, обладающими большим объемом знаний о выполняемых процессах, не всегда готовы делиться ими из опасений потерять свою значимость и, как следствие, уровень зарплаты, а то и рабочее место. Поэтому в компании, нацеленной на долгосрочные работы по сбору и формализации знаний, должны быть разработаны, во-первых, организационные мероприятия, обязывающие участников процессов пополнять базу знаний, а во-вторых, простые процедуры описания встречающихся ситуаций, не отнимающие много времени и сил [3]. База знаний, являющаяся основным компонентом системы поддержки принятия решений (СППР), должна включать следующие группы сведений [4]:

- информацию об условиях выполнения всех видов процессов с указанием уровня потребления всех видов ресурсов;
- информацию о возможных результатах выполнения процессов с указанием о том, насколько запланированным является тот или иной результат;
- информацию о ЛПР с указанием уровня их квалификации, опыта работы и места в организационной структуре управления;
- информацию о времени, необходимом для достижения запланированного результата;
- информацию о степени формализации процесса принятия решений с указанием типа, названия и места хранения документации, регламентирующей его выполнение;
- информацию о возможных критических ситуациях, возникающих при управлении сложными техническими объектами, с указанием причин и условий их возникновения и мер по ликвидации отклонений от нормального течения процесса.

Наиболее сложным для сбора и формализации информации представляется последний пункт в вышеприведенном перечне, требующий принятия решений о моделях представления знаний для последующего их использования в базе знаний СППР. Для сложных технических объектов и технологических процессов, протекающих в реальном времени, эта информация особенно важна в связи с ограниченным временным ресурсом на принятие решений.

2 Модели представления и поиска прецедентов принятия решений в процессе диагностирования нештатных ситуаций

Под диагностикой понимается совокупность методов и средств оценки состояния объектов управления, установление причин отказов и сбоев функционирования, а также выдача рекомендаций по устранению причин возникновения критических ситуаций. Применение моделей и методов, основанных на управлении данными, для раннего и точного обнаружения неисправностей и диагностики состояний технологических процессов, может сократить время простоя, повысить безопасность технических систем и снизить производственные затраты. Данный подход включает применение методов статистического анализа данных, например, в области управления качеством. К недостаткам применения этого подхода следует отнести, во-первых, необходимость формирования выборки данных достаточного объема, полученных в сходных условиях, во-вторых, несоответствие результатов применения методов требованиям предоставления поддержки принятия решений по диагностике в реальном времени. Управле-

ние данными может быть применено на ранних стадиях анализа и моделирования объектов диагностирования.

Аналитические методы позволяют получить оценку параметров процесса в случае возможности построения формальной модели процесса, связывающей измеренные входные переменные и выходные переменные. Однако исследуемые технологические процессы характеризуются разными свойствами и ограничениями областей допустимых состояний объекта на разных этапах работы, состояния процесса представлены в виде совокупности непрерывных и дискретных переменных со стохастическими составляющими в параметрах описания состояний. Сложность разработки аналитических моделей процесса в данном случае обусловлена зависимостью технических характеристик процесса от внешних условий, сложностью определения состояний в различных режимах работы. Для диагностики состояний таких объектов необходимо использование подхода, основанного на управлении знаниями.

Системы, основанные на знаниях, применяются для решения задач диагностики технических систем и технологических процессов в условиях неопределенной и/или неполной информации, требующих формализации знаний и опыта экспертов. Предполагается путем разработки и применения методов извлечения и формализации знаний о состояниях сложных технических систем и технологических процессов на основе онтологического анализа разработать базу знаний, содержащую правила и прецеденты для интеллектуальной поддержки принятия решений в процессе диагностики состояний сложных технических систем и технологических процессов в условиях существенной неопределенности. С применением базы знаний предполагается разработать интеллектуальные методы многокритериальной диагностики для поиска решений по распознаванию и диагностике нештатных ситуаций.

Анализ результатов исследований в области диагностики состояний сложных технических систем и технологических процессов позволяет заключить следующее. В нашей стране и за рубежом накоплен большой опыт в области разработки и использования методов диагностики сложных технических систем и технологических процессов. В период с 80-х годов прошлого века были созданы автоматизированные системы, включающие функции мониторинга состояния сложных технических объектов, диагностики и управления. Подходы к комплексному решению проблем разработки автоматизированных систем мониторинга состояния, а также диагностики сложных технических объектов рассматривались в работах ученых Юсупова Р.М., Соколова Б.В.; концепция техногенной безопасности рассматривается в трудах Волика Б.Г.

Подходы к решению задач обнаружения отказов и диагностике в производственных системах представлены в статье *Chiang, H.L.* и др. Рассмотрению проблем в области разработки и применения систем поддержки принятия решений и систем управления знаниями посвящены исследования таких ученых, как Поспелов Д.А., Вагин В.Н., Виттих В.А., Еремеев Л.П., Гаврилова Т.А., Загорулько Ю.А., Финн В.К., *Turban E.*, *Guarino N.* и других российских и зарубежных ученых. Вместе с тем анализ полученных результатов обусловливает необходимость совершенствования методов и средств диагностики на основе современных методов и технологий автоматизации управления сложными системами и искусственного интеллекта.

Проблема снижения риска возникновения аварийных ситуаций и потерь вследствие ошибок диагностирования нештатных состояний сложных технических систем остается актуальной, несмотря на усилия, предпринимаемые для разработки и применения новых моделей и методов диагностики, анализа и оценки рисков. Эффективность диагностики состояний технических систем во многом определяет качество и результативность процесса, поэтому необходимо уделить особое внимание разработке интеллектуальных компонент интегрированной системы диагностики, аккумулирующих знания и опыт квалифицированных управляющих – экспертов в управлении техническими системами.

К отличительным особенностям разрабатываемых новых интеллектуальных методов и инструментальных средств многокритериальной диагностики состояний объекта управления следует отнести:

- наличие онтологии диагностики состояний технических систем, разработанной на основе выявленных объектных отношений между признаками состояния технического процесса (показателями, характеристиками технологического процесса) и диагнозами неисправностей (классами нештатных ситуаций), представленных в семантической сети онтологии;
- наличие базы знаний, которая должна включать правила классификации нештатных ситуаций, правила распознавания и диагностики нештатных ситуаций в соответствии с различными режимами технологического процесса, правила восстановления штатных состояний в соответствии с результатами диагностирования, прецеденты принятия решений;
- интеллектуальные методы многокритериальной диагностики, использующие правила и прецеденты принятия решений по диагностике нештатных состояний технических систем, в том числе аварийных.

Разработка и использование интегрированной системы интеллектуальной диагностики состояний технических систем может способствовать повышению эффективности диагностики и производительности технических систем, снижению эксплуатационных расходов, а также обеспечить поддержку принятия решений операторам технологического процесса.

Для описания прецедента должно использоваться не более 7-9 признаков, при этом признаки должны быть независимы друг от друга. Ограничение количества признаков прецедентов вызвано необходимостью снижения трудозатрат персонала при описании нештатных ситуаций.

Предлагаемая онтологическая модель для поиска и выбора успешных прецедентов принятия решений при диагностировании нештатных ситуаций, возникающих при управлении сложным техническими системами и/или технологическими процессами, представлена на рисунке 2. Аналогичная онтологическая модель представления признаков прецедентов при управлении проектами легла в основу интеллектуальной системы поддержки коллективного принятия решений в проектно-ориентированных организациях [5], что подчеркивает универсальность выбранного подхода к формированию базы знаний СППР.

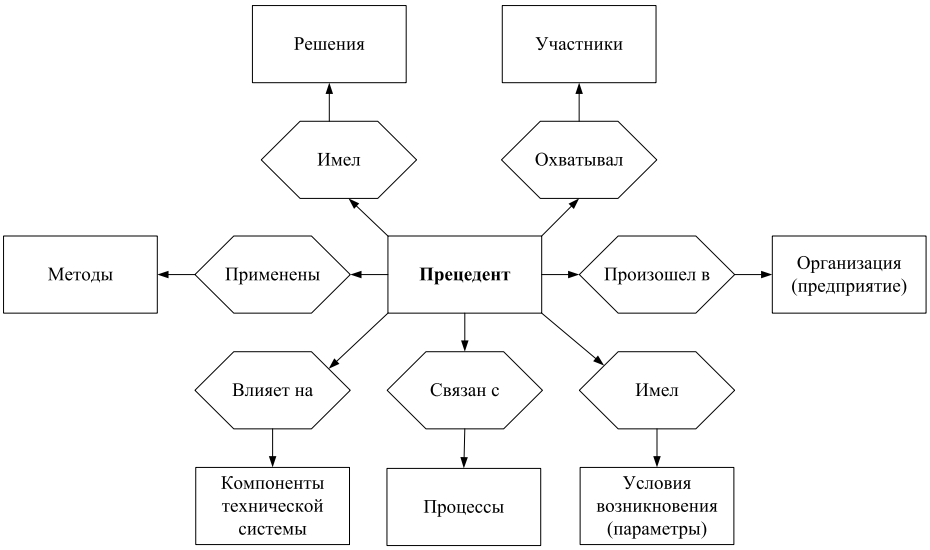


Рисунок 2 – Онтологическое представление признаков прецедентов

Независимость признаков обеспечит формирование иерархической классификации прецедентов на основании ранжирования признаков в соответствии с их важностью (приоритетом). При возникновении критической ситуации новый прецедент будет записываться в соответствии с классификацией, что обеспечит релевантный поиск в базе знаний (рисунок 3).

На рисунке 3 представлены структуры в онтологии, показывающие совокупность действий при управлении прецедентами с применением интеллектуального анализа данных.

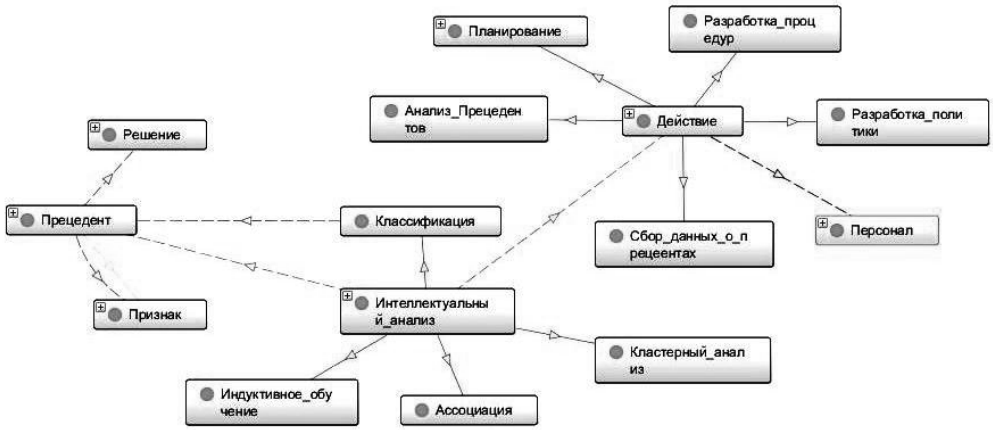


Рисунок 3 – Фрагмент онтологии, показывающий действия при управлении прецедентами с применением интеллектуального анализа данных

Формализация процесса аналитической поддержки принятия решений осуществляется на основе дескрипционной, или описательной логики (англ. *Description logic*, *DL*), с применением семейства языков дескрипционной логики *ALC* (*Attributive Language with Complement*). Однако для представления действий в онтологии, разработанной на языке *OWL*, нужно предложить способ интеграции дескрипционной логики (*Description Logic – DL*) с формализмом действий для выражения структур ситуационного управления. В *ABox* даются неполные описания текущего состояние мира, и описания пред- и пост-условий действий. Ограничения предметной области устанавливаются в *TBox*, и пост-условия могут содержать только атомарные понятия и роли (объектные отношения). Как показано в [6], проблему проекции и выполнимости действий можно свести таким образом к стандартным проблемам рассуждений *DL*.

Между классами сущностей, входящих в онтологию, установлены бинарные объектные отношения (роли), установленные между классами C: $\exists r \in C$, $r^I \in \Delta^I \times \Delta^I$. Вместе с тем для описания последовательности действий для поиска ближайших прецедентов определено подмножество составных ролей как композиция ролей (1):

(1) $(R \circ S) = \{ \langle e, d \rangle \in \Delta \times \Delta \mid$ *существует* $x \in \Delta$ *такой, что* $\langle e, x \rangle \in R^I$ и $\langle x, d \rangle \in S^I \}$.

База прецедентов является основой для построения решающих деревьев с применением алгоритмов обучения (*ID*3, *C*4.5, *CART* и другие), которые строят дерево решений из заданной обучающей выборки. Полученные правила записаны в онтологии на языке формализации онтологических правил *SWRL* (2):

(2) *Rule*: $C1\ (?x) \wedge C2\ (?y) \wedge P1\ (?x, ?y) \wedge C3\ (?x, ?z) \rightarrow C2\ (?z, ?y)$,

где $(C1, C2, C3) \in C$, C – класс в *OWL DL*; $P1 \in P$, x, y – экземпляры или переменные, z – переменные или значения.

Руководствуясь знаниями экспертов, были составлены правила процесса применения различных методов интеллектуального анализа данных к задаче кластерного анализа прецедентов (рисунок 4).

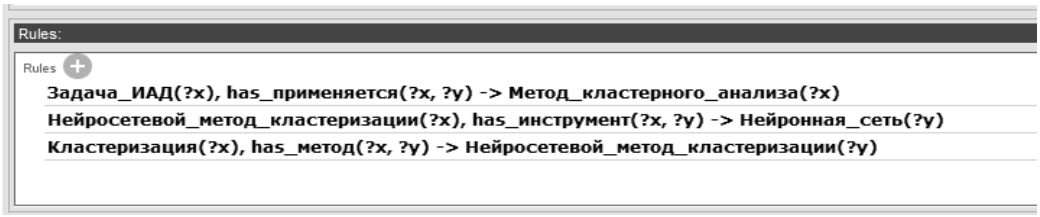


Рисунок 4 – Правила выбора метода интеллектуального анализа данных

Результаты кластерного анализа прецедентов обеспечивают возможность принятия решений без трудоемких вычислений сходства прецедентов во всем пространстве поиска, ограничив его одним классом прецедентов в онтологии, определенным на основе распознавания класса проблемной ситуации.

Заключение

Практическая ценность представленных результатов состоит в разработке и использовании компонентов системы диагностических знаний для обнаружения и распознавания нештатных и аварийных ситуаций в производственных технологических процессах, а также в процессах проектного менеджмента. Предлагаемая система диагностических знаний позволит расширить область применения описания прецедентов на административные и организационные процессы, что даст возможность ее использовать при управлении крупными проектами в различных областях.

Благодарности

Работа выполнена при поддержке гранта Российского фонда фундаментальных исследований № 16-08-00575 «Интеллектуальные методы многокритериальной диагностики состояний сложных технических систем и технологических процессов».

Список литературы

[1] 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: СНЦ РАН, 2016. – С. 258-264.

[2] *Pulse of the Profession®: Capturing the Value of Project Management, February* 2015. [Электронный ресурс]. *URL: http://www.gbd.dk/files/*959*_capturethevalueogporjectmanagmentPMI.pdf.*

[3] Черняховская Л.Р., Малахова А.И., Мулюков Р.Р. Реализация интеллектуальной советующей системы управления взаимодействием сложных процессов в классе систем управления знаниями // Труды XVIII междун. конф. «Проблемы управления и моделирования в сложных системах». – Самара: СНЦ РАН, 2016. – С. 291–298.

[4] Никулина Н.О., Бармина О.В. Построение системы поддержки принятия решений на основе онтологического анализа предметной области // Интеллектуальные системы, управление и мехатроника – 2016: Материалы Всероссийской научн.-техн. конф.. – Севастополь: Изд-во СевГУ, 2016. С. 463-467.

[5] Бармина, О.В. Интеллектуальная система управления взаимодействием бизнес-процессов в проектно-ориентированных организациях / О.В. Бармина, Н.О. Никулина // Онтология проектирования. – 2017. – Т. 7, №1(23). – С. 48-65. DOI: 10.18287/2223-9537-2017-7-1-48-65.

[6] *Baader F., Calvanese D., McGuinness D., Nardi D., and.Patel-Schneider P. F, editors. The Description Logic Handbook. Cambridge University Press*, 2003.

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В СИСТЕМЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МЕНЕДЖМЕНТА

Н.И. Юсупова, О.Н. Сметанина, А.И. Агадуллина

Уфимский государственный авиационный технический университет
450000, Уфа, ул. К. Маркса, 12, Россия
yussupova@ugatu.ac.ru
тел: +7 (347) 273-79-67, факс: +7 (347) 273-77-17

Ключевые слова: *риск-ориентированный подход, система экологического менеджмента, интеллектуальные технологии, система поддержки принятия решений, экологический аудит*

Abstract

In this article it is shown that the specifics of tasks and analyzed data in environmental management system, including environmental auditing, allows the use of intelligent technologies, in particular, fuzzy logic, Bayesian belief networks, mechanism of logical inference on production rules, ontological engineering for issuing corrective alternative solutions to decision-makers. Prospects for further research are given.

Введение

Система «промышленное производство − окружающая среда (ОС)» является сложной системой, в результате функционирования которой происходит взаимное влияние. С одной стороны, промышленные предприятия в процессе своей деятельности способствуют возрастанию негативного воздействия на ОС, с другой стороны, ОС является источником природных явлений и катастроф. Сокращение уровня негативного влияния на ОС может быть обеспечено использованием риск-ориентированного подхода. Другим фактором, обеспечивающим сокращение уровня негативного воздействия, является создаваемая интегрированная многоуровневая система управления безопасностью и охраной ОС, элементом которой является система экологического менеджмента (СЭМ).

Снижение негативного воздействия может обеспечить только эффективно функционирующая система. В качестве инструмента оценки уровня эффективности СЭМ выступает процедура проведения экологического аудита. СЭМ характеризуется многообразием видов аудита, решаемых в процессе аудита задач и спецификой анализируемых данных. При аудите возникает необходимость анализа большого объема как структурированных данных (значения показателей качества ОС, данных экологических аспектов и т.д.), так и неструктурированных данных (стандарты, законодательные акты и т.д.). Используемые для анализа данные характеризуются также неполнотой и неточностью.

Для качественной оценки уровня экологической эффективности требуется проверить соответствие показателей стандартам. Для количественной же оценки необходимо провести множество предварительных вычислений, а именно, идентификацию и оценку значимости экологических аспектов, их оценку риска, включающих оценку вероятности и размера возможного ущерба от превышения воздействия экологических аспектов на ОС, количественную оценку уровня экологической эффективности предприятия и др. Часть решений использует математические модели и методы. Другая часть опирается на интеллектуальные технологии и экспертные знания в данной области. Все перечисленное делает процесс аудита трудоемким и сложным, и предполагает его автоматизацию. Лицом, принимающим решение в процессе проведения аудита, выступает аудитор. Однако, далее заключение, сформулированное по результатам проведенного аудита, адресовано

руководителям предприятия. Оно выдается в виде списка альтернативных мероприятий. И для нового лица, принимающего решение, результаты аудита должны быть понятны и обоснованы.

Вопросами поддержки принятия решений в СЭМ занимаются многие российские и зарубежные специалисты: Alexandru A., Green C., Gorghiu G., Hearne J.W., Kahraman C., Moisil R.I., Nicolescu C., Башлыков А.А., Геловани В.А., Котов В.П., Качалов Р.М., Кисляков И.М., Матвеев А.В., Мушкудиани М.И. и др.

Результаты анализа исследований в области организации поддержки решений в сфере экологического менеджмента показывают возможность использования таких интеллектуальных технологий как рассуждения на основе прецедентов, онтологический инжиниринг, нейронные сети и нечеткая логика, инженерия знаний, деревья решений и т.п.

Несмотря на широкий спектр вопросов, которые решаются в данной области, ряд из них остается незатронутым. В статье показано, что специфика задач и анализируемых данных в СЭМ, в том числе экологического аудита, позволяет использовать интеллектуальные технологии, в частности, нечеткую логику, байесовские сети доверия, механизм логического вывода на продукционных правилах, онтологического инжиниринга для выдачи лицу, принимающему решения, корректных альтернативных решений. Приведены перспективы дальнейших исследований.

1 Некоторые аспекты организации поддержки принятия решений в системе экологического менеджмента

Вопросы поддержки принятия решений в экологической сфере специалисты отражают в разных аспектах [1-21]: от общего рассмотрения вопросов разработки систем поддержки принятия решений (СППР/DSS) и применимости технологий искусственного интеллекта и DSS для экологического менеджмента [2, 18], до решения отдельных задач [1, 3, 5]. Авторы [3] выделяют категории DSS − систему поддержки пространственных решений (SDSS) как комбинацию геоинформационных систем и DSS, а также ее разновидность WebSDSS. В статье [5] обсуждается проблема многомерных баз данных (БД) с целью демонстрации возможностей организации поддержки с использованием OLAP (On-Line Analytical Processing) для задач, связанных с экологическими рисками.

Ряд авторов [4, 6-7, 9, 14, 16] рассматривает вопросы использования интеллектуальных технологий для реализации информационной поддержки принятия решений. Авторы [4] описывают инструментарий (муравьиная колония, генетические и эволюционные алгоритмы, нечеткие многокритериальные инструменты принятия решений, оптимизация на основе роя частиц, моделирование на основе агентов, нейронные сети, моделирование с использованием нечетких правил, нечетких когнитивных карт, кумулятивных степеней убеждений и др.), необходимый для решения сложных экологических проблем, когда невозможно использовать классические методы. Авторами [6] рассмотрены вопросы разработки DSS на основе знаний для использования в нештатных, нестандартных, чрезвычайных ситуациях; системы, характеризующиеся большими объемами анализируемой информации, плохо формализуемыми процедурами логического вывода для принятия решений и трудностью использования традиционных методов многокритериальной оптимизации. В публикации [7] описывается интеллектуальная система экологической безопасности, структурными элементами которой являются: интегрированные базы данных и знаний, содержащие информацию о допустимых концентрациях загрязняющих веществ, механизмах их превращений и воздействий; модели загрязнений и принятия решений по экологической безопасности и предотвращению дальнейшего поступления этих веществ в воду, воздух, почву, донные отложения, растительный покров или о необходимости очистки этих объектов от уже накопленных в них загрязнений; блок анализа интегрального экологического

техногенного воздействия и получения вторичной информации об эффективности мероприятий и др. Авторами [14] дано обоснование построения экспертной системы поддержки принятия решений (ЭСППР) в интеллектуальной системе экологического мониторинга, приведены результаты анализа, подтверждающие правильность выбора байесовских сетей доверия как метода построения ЭСППР, который позволяет ей эффективно функционировать в условиях неопределенности. В статье [16] описан разработанный прототип интеллектуальной СППР для управления процессом очистки сточных вод. Для создания единой системы суждений предложена онтология предметной области, обеспечивающая полноту знаний. Онтология формирует общий словарь, с целью взаимодействия экспертов различных предметных областей. Статья [9] посвящена проблеме использования методов, базирующихся на данных эколого-экономических систем, специализированных экспертных систем, а также DSS для широкого круга задач по планированию, прогнозированию и управлению эколого-экономическими системами.

2 Постановка задачи организации поддержки принятия решений в системе экологического менеджмента

Авторы в статье более детально рассматривают вопросы организации поддержки принятия решений при проведении экологического аудита. Предлагается процедуру аудита дополнить количественной оценкой с целью формулирования более обоснованных рекомендаций по проведению мероприятий (рис. 1). Задача организации поддержки принятия решений в СЭМ будет сформулирована следующим образом. Рассмотрим множества: документов СЭМ $DOC=\{dok_1, dok_2, \ldots, dok_n\}$, процессов в жизненном цикле производства $PR=\{pr_1, pr_2, \ldots, pr_l\}$, экологических аспектов $ASP=\{asp_1, asp_2, \ldots, asp_m\}$, показателей $P=\{p_1, p_2, \ldots, p_s\}$, данных $D=\{d_1, d_2, \ldots, d_k\}$. Причем, элемент множества данных d_j может иметь несколько замеров, то есть несколько значений d_j^i, где $i=1 \div n$ (число замеров). Кроме того, элемент множества данных d_j является значением показателя (наименование) p_j/ экологического аспекта asp_j, для которых, существует также нормативное значение d_j^{norm}, $<asp_j/p_j, d_j^{norm}, d_j>$. К одному процессу pr_j относится некоторое подмножество экологических аспектов $ASP_j' <pr_j, ASP_j'>$, $pr_j \in PR$, $ASP_j' \subseteq ASP$.

Необходимо построить систему поддержки принятия решений *DSS* в виде ряда функциональных единиц $<PROC, D, DOC, ASP, P, PR, MOD, MET, R>$, где *PROC* – множество процедур $PROC=\{audit, analiz\}$, процедура аудит включает качественную и количественную оценки $audit=<kach_o, kol_o>$, *D* – множество данных $D=\{d_1, d_2, \ldots, d_k\}$, *DOC* – множество документов $DOC=\{doc_1, doc_2, \ldots, doc_n\}$, *ASP* – множество экологических аспектов $ASP=\{asp_1, asp_2, \ldots, asp_l\}$, *P* – множество показателей состояний ОС $P=\{p_1, p_2, \ldots, p_s\}$, *PR* – множество процессов $PR=\{pr_1, pr_2, \ldots, pr_l\}$, *MOD* – множество моделей $MOD=\{mod_1, mod_2, \ldots, mod_k\}$, *MET* – множество методов $MET=\{met_1, met_2, \ldots, met_o\}$, обеспечивающих решение, *Rol* – множество ролей $Rol=\{rol_1, rol_2\}$ (аудитор, руководитель). Построенная система должна позволить аудитору и руководителю получить обоснованные решения.

3 Использование интеллектуальных технологий для принятия решений в задачах экологического аудита

Процедуры качественной и количественной оценок (рис. 1) экологического аудита, проводимого с использованием риск-ориентированного подхода базируются на множестве моделей и методов/алгоритмов [10]. В данной статье рассматриваются только задачи, для решения которых предлагается использовать интеллектуальные технологии.

Задача определения наиболее вероятного источника загрязнения ОС на территории предприятия с помощью байесовских сетей доверия. Предложенный алгоритм для

выявления наиболее вероятного источника загрязнения является модификацией ранее предложенного [14].

Дано: Данные (n замеров) мониторинга экологического аспекта и его нормативное значение $<asp_j, d_j^{norm}, d_j>$ по источникам загрязнения ОС I_k ($k=1 \div m$).

Найти: Наиболее вероятный источник загрязнения ОС на предприятии I_k.

Рисунок 1 – Модели и методы на этапе проведения экологического аудита

Обобщенный алгоритм: Шаг 1. Построение трехуровневой байесовской сети доверия: 1-й уровень – источники загрязнения ОС (оборудование, установка), 2-й – экологические аспекты; 3-й – пост наблюдения за негативным воздействием (фиксирует неблагоприятное событие).

Шаг 2. Оценка априорных вероятностей превышения нормативного показателя выбросов для всех уровней байесовской сети доверия.

Шаг 3. Определение наиболее вероятного источника негативного воздействия.

Апостериорные вероятности инициирующих событий определяются на основе информации о превышении рекомендованного уровня выбросов одного или нескольких загрязняющих веществ с помощью формулы Байеса.

Для решения задачи идентификации и оценки значимости экологических аспектов предлагается использовать метод многокритериальной оценки, позволяющего оценить значимость аспектов с учетом различных типов исходных данных [13].

Шаг 1. Определение для каждого критерия экологических аспектов: типа переменной (четкий количественный, нечеткий количественный, стохастический, лингвистический); положительной или отрицательной направленности; порогового значения (фиксированного значения, определяющего условия, при которых один экологический аспект превосходит другой).

Шаг 2. Вычисление семантического расстояния (разницы между значениями альтернатив);

Шаг 3. Расчет индексов интенсивности предпочтений (степени предпочтения одного экологического аспекта над другим по каждому критерию).

Шаг 4. Расчет совокупного отношения предпочтения (степени предпочтения одного экологического аспекта над другим по всем критериям).

Шаг 5. Расчет энтропии.

Шаг 6. Расчет положительного и отрицательного потоков (определение итогового ранжирования экологических аспектов).

Шаг 7. Определение итогового ранжирования экологических аспектов.

Для решения задачи итоговой классификации предприятий по уровню экологической эффективности на основе результатов проведения экологического аудита на предприятии разработаны правила логического вывода (табл. 1).

Таблица 1 – Фрагмент базы правил [13]

№	Правило
Rule 1	Предварительный уровень экологической эффективности (?Средний)^Показатель «совокупный риск / производственные затраты» (?В диапазоне от [a,b)) → Класс экологической эффективности (?Средний) ^ Способ повышения уровня экологической эффективности (?Аутсорсинг) (степень уверенности 0,3)
Rule2	Предварительный уровень экологической эффективности (?Средний)^Показатель «совокупный риск / производственные затраты» (?В диапазоне от [a,b)) → Класс экологической эффективности (?Средний) ^ Способ повышения уровня экологической эффективности (?Сокращение риска) (степень уверенности 0,7)

Предложенные правила позволяют провести итоговую классификацию предприятий по уровню экологической эффективности (определяется исходя из качественной оценки уровня экологической эффективности и показателя «совокупный риск/ производственные затраты» на основе правил (табл. 1)). Шкала значений показателя «совокупный риск/производственные затраты» выбирается исходя из региона и отрасли, к которой относится предприятие и т.п.

СЭМ представляет сложную систему, знания о которой могут быть структурированы путем *разработки онтологии*. Такая онтология содержит знания в области функционирования СЭМ, проверки ее эффективности с помощью аудита и проведения мероприятий для поддержания требуемого уровня. Необходимо построение онтологии, в том числе, и для процедуры качественной оценки в связи со сложной системой привязки пунктов аудиторской документации к стандартам.

Базовое понятие формальной модели онтологии представляет собой концепт (понятие) K (определяется как единица знания, идентифицируется по имени и имеет свой набор атрибутов A), который представляет собой класс объектов. При разработке онтологии определено множество концептов K (документ, риск, процедура, модель, метод, технология, аспект, персона/роль, мероприятие и др.) и множество отношений между концептами: $R=\{r_1, r_2, r_3\}$, где r_1 − отношение наследования (отношение «класс-подкласс»); r_2 – отношение агрегации (отношение «часть-целое»); r_3 − отношение ассоциации (семантические отношения), обладающие свойством транзитивности. Формально онтологию представим в виде кортежа: $O=<K, A, G, R, F>$, где K – множество концептов; A – множество атрибутов концептов; G – словарь (глоссарий); F – функция интерпретации концептов, сопоставляет концепту набор терминов из словаря G.

Каждый класс имеет свой перечень слотов. Например, классу «экологический аспект» присущи слоты: вид деятельности, класс опасности, степень воздействия. Слоты могут иметь различные фацеты, которые описывают тип значения, разрешенные значения (мощность) и другие свойства значений, которые может принимать слот. Мощность слота определяет, сколько значений может иметь слот. Например, «степень воздействия» будет слотом единичной мощности. Для определения отдельного экземпляра класса выбирается класс, создается отдельный экземпляр класса, вводятся значения слотов.

Например, экземпляр «выброс диоксида углерода» для представления определенного типа «показатель эффективности функционирования».

Для реализации онтологии использована платформа Protégé. Фрагмент графического представления отношений между классами объектов процесса проведения экологического аудита представлен на рис. 2.

Поддержка решений будет осуществляться следующим образом. Аудитор анализирует сведения о СЭМ, учитывая при этом актуальную нормативно-законодательную базу, с использованием интерфейса формирует запрос к интеллектуальной СППР.

Поиск решений осуществляется с использованием базы знаний. В результате работы интеллектуальной СППР предоставляются сведения о СЭМ (оценки по критериям аудита) и выдаются рекомендации по повышению уровня ее эффективности.

4 Перспективы исследований

Авторы проводили исследования для производственного объекта, относящегося к классу опасных. Результаты могут быть использованы и для других производственных объектов.

Рисунок 2 – Фрагмент онтологической базы знаний

В части использования интеллектуальных технологий предполагается дополнить рассуждения, основанные на прецедентах. Среди проблем таких систем можно отметить выбор подходящего прецедента и его адаптацию к текущим условиям. Схожесть выявляется сравнением признаков текущего случая и выбранного прецедента. Для этого на пространстве признаков вводится метрика, определяется точка, соответствующая текущему случаю. Далее в рамках метрики из точек, представляющих прецеденты, находится ближайшая к ней точка.

Заключение

Специфика задач и используемых данных для поддержки принятия решений в СЭМ позволяет использовать интеллектуальные технологии, в частности, нечеткую логику, байесовские сети доверия, механизм логического вывода на продукционных правилах, онтологического инжиниринга. Предложенный риск-ориентированный подход и дополнительная количественная оценка при проведении аудита позволяют получать корректные решения.

Благодарности

Исследования частично поддержаны грантами РФФИ 16-07-00773 и 15-07-01565.

Список литературы

[1] Quinn, N.W, Breen, C.M., Hearne, J.W. & Whitfield, A.K. 1998, “Decision support systems for environmental management: A case study on estuary management,” Orion 14(2), 17-35.

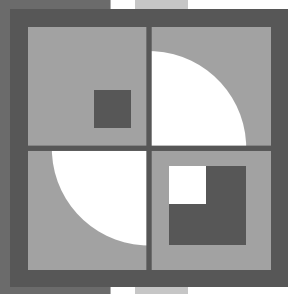
[2] Filip, F.G., Moisil, I. “Decision support for environmental management,” in Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS). Environmental systems – Vol. III (EOLSS Publishers Co. Ltd., 2010).

[3] Sugumaran, R., Meyer, J. and Davis, J. “A Web-Based Environmental Decision Support System (WEDSS) for Environmental Planning and Watershed Management,” Journal of Geographical Systems, Vol. 6, 2004, pp. 1-16. doi:10.1007/s10109-004-0137-0

[4] Kahraman, C., Uçal Sari, I. Intelligence Systems in Environmental Management: Theory and Applications. Intelligent Systems Reference Library 113, Springer 2017, ISBN 978-3-319-42992-2

[5] Alexandru, A., Gorghiu, G., NIicolescu, C.L., Alexandru, C.A. (2010), Using OLAP Systems to Manage Environmental Risks in Dambovita County. Bulletin UASVM Horticulture, 67(2)/2010, Electronic ISSN 1843-5394.

[6] Геловани В.А., Башлыков А.А., Бритков В.Б., Вязилов Е.Д. Интеллектуальные системы поддержки принятия решений в нештатных ситуациях с использованием информации о состоянии природной среды // М.: Эдиториал УРСС, 2001. 304 с.
[7] Матвеев А.В., Котов В.П., Мушкудиани М.И. Применение информационных технологий в управлении средой обитания: Учеб. пособие / ГУАП. СПб., 2005. 96 с.
[8] Рогачев А.Ф. Экономико-математическое моделирование регулирования экологического состояния окружающей среды с учетом трансграничного загрязнения: монография / А.Ф. Рогачев, Н.Н. Скитер, А.Г. Гагарин, Т.В. Плещенко и др.; Под общ. ред. проф. А.Ф. Рогачева. Волгоград: ФГБОУ ВПО Волгоградский ГАУ, 2015. 172 с.
[9] Токарев К.Е., Кузьмин В.А, Шатырко Д.В. Разработка инструментальных средств СППР в сфере эколого-экономической безопасности // Современная экономика: проблемы и решения, № 5, 2015. С. 31-41.
[10] Гузаиров М.Б., Николаева М.А., Агадуллина А.И. Математическое обеспечение системы поддержки принятия решений при управлении экологической эффективностью предприятия // Вестник УГАТУ. 2014. Т. 18, № 1 (62). С. 95–105.
[11] Гузаиров М.Б., Сметанина О.Н., Агадуллина А.И. О вопросах поддержки принятия решений в системе экологического менеджмента предприятия // Информационные технологии интеллектуальной поддержки принятия решений: тр. 2-й Междунар. конф. (Уфа, 18–21 мая). Уфа: УГАТУ, 2014. Т. 1, С. 175–179.
[12] Петрова Н.П. Разработка информационной системы поддержки принятия решений в сфере природопользования и защиты воздушного бассейна от загрязнений: Автореф. дис. … кандидата технических наук: 05.13.06, 05.25.05. − Тамбов, 2004. − 17 с.
[13] Агадуллина А.И. Система поддержки принятия решений при управлении экологической эффективностью промышленного предприятия: Автореф. дис. … кандидата технических наук: 05.13.01 [Место защиты: Уфимс. гос. авиац. техн. ун-т] − Уфа, 2014. − 18 с.
[14] Али Мансур Номан Мархуб Экспертная система поддержки принятия решений в интеллектуальной системе экологического мониторинга атмосферного воздуха промышленного региона: Автореф. дис. … кандидата технических наук: 05.13.06, 03.02.08 [Место защиты: Рос. хим.-технол. ун-т им. Д.И. Менделеева] − Москва, 2011. − 18 с.
[15] Жиделева В.В., Глазкова С.В. Экономические меры экологического менеджмента в сфере водопользования // Фундаментальные исследования. 2005. № 10. С. 65-66; URL: https://www.fundamental-research.ru/ru/article/view?id=6705 (дата обращения: 23.04.2017)
[16] Шкундина Р. А. Интеллектуальная система поддержки принятия решений на основе онтологии в сложных биосистемах // Прикладная информатика. 2006. №5. С. 98–103.
[17] Кауфман С.А. Информационное обеспечение поддержки принятия решений в системе эко-контроллинга газотранспортного предприятия: Автореф. дис. … кандидата технических наук: 05.13.01 − Москва, 2004. − 23 с.
[18] Ершов Д.М., Качалов Р.М. Системы поддержки принятия решений в процедурах формирования комплексной стратегии предприятия / Препринт # WP/2013/299. М.: ЦЭМИ РАН, 2013. 60 с.
[19] Кисляков И.М. Разработка системы поддержки принятия решений при определении уровня экологического штрафа производственного предприятия // Программные продукты и системы. 2015. №2 (110). С. 103–107.
[20] Dreyzis Yu.I., Irina V. Grigoryan, Vladimir V. Kovalenko Requirements for the Creation of Decision Support Systems in the Management of Coastal Regions. European Researcher, 2012, Vol.(20), № 5-1, pp. 594-597.
[21] 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.



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

САМОКОМПЕНСАЦИЯ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ОДНОВИТКОВЫЙ ВИХРЕТОКОВЫЙ ДАТЧИК ПРИ ИЗМЕРЕНИИ РАДИАЛЬНЫХ ЗАЗОРОВ В КОМПРЕССОРЕ И ТУРБИНЕ

В.Н. Белопухов, С.Ю. Боровик, М.М. Кутейникова, П.Е. Подлипнов, Ю.Н. Секисов, О.П. Скобелев

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, факс: +7 (846) 333-27-70

Ключевые слова: *метод измерения, радиальные зазоры, самокомпенсация температурных воздействий, одновитковый вихретоковый датчик, влияние осевых смещений, влияние температуры на лопатки*

Abstract

The description of a new method for measuring of radial clearances between blades tips and compressor or turbine stator. The method includes a fixation of extreme values of primary equivalent inductance of eddy-current single-coil sensor at the moments when 1) the controlled blade is under the sensitive element and 2) the sensitive element is in blade interval. The difference of fixed inductances is temperature-independent. The temperature self-compensation allows avoiding the use of compensation sensor and an additional locating bore in engine stator. It provides broad prospects for the method realization in gas-turbine control and diagnostic systems. The influences of axial displacement and the temperature on controlled and near by blades is studied too. The quantitative assessments of such influences are obtained. They determine the possibility of method application.

Известно, что от величины радиальных зазоров (РЗ) между торцами лопаток рабочего колеса и статором компрессора и турбины зависят важнейшие показатели эффективности газотурбинного двигателя (ГТД) – надежность и экономичность. Поэтому проблема получения достоверной информации о РЗ в тяжелых и даже экстремальных условиях (температура свыше 1000°С, высокая линейная скорость торцов лопаток, превышающая звуковую и др.) была и до сих пор остается весьма актуальной. И если в прошедшие десятилетия проблема измерения РЗ возникала, главным образом, в процессе доводки ГТД на этапе экспериментальных исследований в стендовых условиях, то в настоящее время в разработках авиационных ГТД нового поколения предусмотрены системы не только диагностики, но и управления, в ходе которого осуществляется активное регулирование РЗ по результатам измерения их текущих значений.

Среди большого многообразия методов и средств измерения РЗ, базирующихся на различных физических принципах, наиболее перспективными представляются методы и средства на основе одновитковых вихретоковых датчиков (ОВТД) с чувствительными элементами (ЧЭ) в виде отрезка проводника. ОВТД (выполненные из тех же материалов, что и лопатки), ЧЭ которых размещаются непосредственно в проточной части компрессора или турбины, в составе компьютеризированных систем измерения РЗ прошли успешную апробацию в серии стендовых испытаний авиационных ГТД, в ходе которых была подтверждена их работоспособность и метрологическая состоятельность. При этом, чтобы уменьшить влияние одного из наиболее значимых мешающих факторов (МФ) – температуры в проточной части, использовался дополнительный ОВТД, выполняющий компенсационные функции в дифференциальной измерительной цепи (ИЦ) с включенным в нее рабочим ОВТД [1, 2].

Вместе с тем необходимо отметить, что в процессе работы ГТД торцы лопаток могут совершать сложные многомерные движения, связанные с упругими и тепловыми деформациями элементов конструкции рабочего колеса, в т.ч. лопаток. В системе отсчета *0XYZ*, начало которой (точка *0*) находится на внутренней поверхности статора, координатная ось *X* направлена вдоль оси рабочего колеса, ось *Y* по его радиусу, а ось *Z* – в направлении вращения рабочего колеса. Тогда координата *x* точки на торцевой поверхности лопатки, обращенной к статору, характеризует осевые смещения РК, координата *y* – величину РЗ, а *z* – изгиб лопатки в направлении вращения.

Измерение многомерных смещений торцов лопаток с помощью ОВТД возможно при использовании кластерных методов [2], предусматривающих применение кластера (группы) ОВТД, число которых в составе кластера определяется числом искомых координат, и отличающихся местом размещения, а также углом разворота ЧЭ относительно направления вращения РК (оси *Z*).

Если при этом решаются задачи, связанные с получением информации только о РЗ (координата *y*), то все остальные искомые координаты смещений рассматриваются как неинформативные, т.е. МФ. Такая постановка задачи характерна для вновь разрабатываемых систем диагностики и управления нового поколения ГТД. Между тем, опыт взаимодействия с разработчиками ГТД на этапе составления технического задания показывает, что из возможного множества МФ наиболее значимыми являются осевые смещения рабочего колеса и соответствующие изменения координаты *x*.

Напротив, кластерные методы и средства измерения многокоординатных смещений торцов лопаток востребованы в экспериментальных исследованиях ГТД в ходе доводочных испытаний в стендовых условиях, несмотря на множество установочных отверстий в статорной оболочке (по числу измеряемых координат) и ОВТД, выполняющих рабочие функции, а также их удвоение для ОВТД, осуществляющих термокомпенсацию[2]. При этом следует подчеркнуть, что идеальной термокомпенсации добиться невозможно из-за трудностей в отборе пар датчиков с идентичными параметрами при существующей технологии их изготовления.

Те же трудности остаются неразрешимыми и в системах измерения РЗ (координата y) при отсутствии осевых смещений РК (*x*=0), например, при измерениях на ступени высокого давления в компрессоре ГТД (описание таких систем приведено в [1]).

Поэтому представляется весьма актуальной идея самокомпенсации температурных воздействий, рассчитанная на использование одного ОВТД, выполняющего как рабочие, так и компенсационные функции (при единственном установочном отверстии в статорной оболочке) [3].

Идея самокомпенсации – это основа рассматриваемого в докладе метода измерения РЗ, ориентированного на последующую реализацию в составе систем диагностики и управления, предназначенных для работы ГТД в режиме эксплуатации. При таком режиме одно из наиболее жестких требований к техническим средствам – минимизация числа датчиков РЗ и соответствующих установочных отверстий в статорной оболочке.

Самокомпенсация осуществляется в процессе вращения рабочего колеса, когда согласно предлагаемому методу производится измерение и фиксация экстремальных значений эквивалентной индуктивности первичной обмотки согласующего трансформатора (СТ) ОВТД при наличии контролируемой лопатки в зоне чувствительности ЧЭ и при ее отсутствии, т.е. при прохождении ЧЭ центром межлопаточного промежутка, а 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 определяет преимущества предлагаемого метода по сравнению с известными.

С помощью ранее разработанных моделей электромагнитного взаимодействия ЧЭ с торцами контролируемой и соседних лопаток [4, 5, 6] исследовано влияние осевых смещений рабочего колеса и температуры как контролируемой, так и соседних лопаток на разность значений эквивалентной индуктивности СТ ОВТД. Показано, что в диапазоне изменений осевых смещений (x-координаты) от -3 до +3 мм их функции влияния (ФВ), а, следовательно, соответствующие погрешности не превышают 6% в компрессоре. Погрешности возрастают почти вдвое в турбине, причем в меньшем диапазоне изменений x – от -1 до +2 мм, что связано с повышенной кривизной спинки и корыта турбинной лопатки. Что же касается количественных оценок ФВ температуры, то результаты вычислительных экспериментов показали около 9% для контролируемой лопатки и 1% для соседних лопаток в компрессоре и соответственно 17% и 11% в турбине (уменьшить влияние температурных воздействий на контролируемую и соседние лопатки возможно, если использовать методику, применяемую в существующих системах измерения, реализующих известные методы измерения РЗ [1] после ее дополнительной модернизации [4]).

Проведен также упрощенный анализ ИЦ с приближенным дифференцированием, как возможного варианта реализации предлагаемого метода в системах. В ходе анализа установлено, что процесс преобразования эквивалентной индуктивности первичной обмотки СТ ОВТД в дифференциальной схеме на входе такой ИЦ в цифровой код на ее выходе сопровождается некоторой недокомпенсацией температурных воздействий на ОВТД. Предложены способы ее устранения и показаны пути реализации этих способов, в которых предусмотрено использование информации о температурных воздействиях на датчик, полученной со встроенной в ОВТД термопары (ТП) [1], а также выполнение нормализации э.д.с. ТП, аналого-цифрового преобразования с последующей обработкой цифровых данных или цифро-аналогового преобразования с воздействием на источник питания дифференциальной схемы для коррекции выявленной недокомпенсации.

Список литературы

[1] Секисов Ю.Н., Скобелев О.П., Беленький Л.Б. [и др.] Методы и средства измерения многомерных перемещений элементов конструкций силовых установок / под ред. Секисова Ю.Н., Скобелева О.П. – Самара: Изд-во СамНЦ РАН, 2001. – 188с.

[2] Беленький Л.Б., Боровик С.Ю., Райков Б.К. [и др.] Кластерные методы и средства измерения деформаций статора и координат смещений торцов лопаток и лопастей в газотурбинных двигателях / 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] Боровик С.Ю., Кутейникова М.М., Секисов Ю.Н., Скобелев О.П. Влияние соседних лопаток на измерените радиальных зазоров в турбине. // Мехатроника, автоматизация, управление, т.16, №5, 2015. – с.327-336.

[5] Кутейникова М.М., Секисов Ю.Н., Скобелев О.П. Модель электромагнитного взаимодействия чувствительного элемента одновиткового вихретокового датчика с торцом лопатки сложной формы // Проблемы управления и моделирования в сложных системах. Труды XV Международной конференции/ Самара: Из-во СамНЦ РАН, 2013. – с.627-635.

[6] Кутейникова М.М., Секисов Ю.Н., Скобелев О.П. Результаты моделирования электромагнитного взаимодействия чувствительных элементов одновитковых вихретоковых датчиков в составе кластера с торцом лопатки сложной формы // Проблемы управления и моделирования в сложных системах. Труды XVI Международной конференции/ Самара: Из-во СамНЦ РАН, 2013. – с.636-641.

СИНТЕЗ И АНАЛИЗ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ФАЗОВРАЩАТЕЛЕЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ 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 перемещений*

Abstract

The theory of goniometric phase shifters used in displacement transducers for the implementation of the basic measurement operation is based on a comparison operation based on the representation of a multiphase primary signal system by a vector function of a spatial phase that depends linearly on the displacement and the output signal by the scalar product of the vector functions of the desired and exemplary phase.

Введение

В системах управления широкое применение получили преобразователи перемещений, имеющие различные физические принципы построения [1-8]. Однако общие исходные их принципы едины и обусловлены физической природой входной величины. Одним из основных и ответственных узлов преобразователей перемещений являются параметрические и гониометрические фазовращатели (ПФВ, ГФВ), используемые в их первичных и вторичных измерительных звеньях [9-11].

Измерительному преобразованию в них [9] соответствует преобразование пространственной фазы φ многофазной системы первичных измерительных сигналов в фазу ψ многофазной системы образцовых сигналов, осуществляемое решением уравнения фазовращателя, выполняющего в этом случае функцию устройства сравнения φ и ψ, которое решается разверткой значения ψ до достижения искомого значения φ.

Сопоставление уравнений [9] показывает, что ФВ при циклической развертке представляют собой разновидность синхронных фазовых детекторов и являются в общем случае линейными системами пространственной развертки.

Различие между ними состоит в том, что ПФВ являются системами непрерывной переменной ξ, а ГФВ – системами дискретной переменной ξ_k. Выходной сигнал есть скалярное произведение континуально бесконечно и конечномерных векторов измеряемой φ и опорной ψ фазы соответственно.

1 Постановка задачи

В работе [9] впервые были поставлены и решены задачи синтеза и анализа ФВ применительно к построению *n*-фазных преобразователей перемещений в фазовый сдвиг φ сигнала несущей частоты ω, что соответствует случаю ГФВ с циклической разверткой $\psi = \omega t$.

Исследовано влияние на точность решения уравнения фазовращателя числа фаз и формы измерительных и опорных сигналов, представленных разложениями в ряды Фурье, что не позволяло получить результаты в замкнутом виде. Аналогичные результаты получены в [3,4,10].

Впоследствии в работе [11] понятие ФВ расширено на случай произвольной развертки ψ, в том числе дискретной. Это позволило рассматривать амлитудный и фазовый режимы работы [4, 5, 12] первичных преобразователей (ПП) с единых позиций как преобразование перемещения в пространственную фазу φ, а преобразование φ в фазу развертки ψ, и как следствие, установить, общность методов аналого-цифрового преобразования, если АЦ-преобразование перемещений трактовать как АЦ-преобразование пространственной фазы φ первичных измерительных сигналов, линейно связанной с искомым перемещением [11].

В случае дискретной развертки значения ψ воспроизводят уровни квантования пространственной фазы φ. Установлено, что в зависимости от способа воспроизведения ψ во времени могут быть синтезированы последовательные, параллельные и последовательно-параллельные структуры АЦП пространственной фазы φ, а АЦП перемещений представляют собой структуры, состоящие из последовательно соединенных ПП и АЦПФ.

Таким образом, система измерительных сигналов, формируемая первичным преобразователем, служит для взаимно однозначного отображения их пространственной фазы в пределах $\varphi \in [0,2\pi)$, АЦ-преобразование которой осуществляется АЦПФ. Их отличительная особенность заключается в векторном характере физической реализации операции сравнения в виде ФВ, обусловленном параметрическим представлением сравниваемых величин.

В [13, 14] изложена теория ГФВ, в основе которой лежит представление многофазной системы первичных сигналов вектор-функцией пространственной фазы φ, линейно зависящей от перемещения, а выходного сигнала ФВ скалярным произведением вектор-функций искомой φ и образцовой ψ фаз

(1) $U_{\text{гфв}} = \mathbf{U}_{\text{и}} \cdot \mathbf{U}_{\text{о}}'$,

где $\mathbf{U}_{\text{о}}'$ – транспонированный вектор $\mathbf{U}_{\text{о}}$.

Это позволяет рассматривать геометрически измерительный сигнал в виде радиус-вектора $\mathbf{U}_{\text{и}}$. точки в *n*-мерном линейном пространстве $\mathbf{E}_n$ с нормой, определенной через скалярное произведение.

Радиус-вектор $\mathbf{U}_{\text{и}}$ является вектор-функцией $\mathbf{f}(\varphi)$ скалярной переменной $\varphi \in [0,2\pi)$, а его координаты суть скалярные функции $\mathbf{f}_k(\varphi) = U_{\text{и}}(\varphi - \xi_k)$. При изменении $\varphi \in [0,2\pi)$ радиус-вектор $\mathbf{U}_{\text{и}}$ опишет в пространстве замкнутую кривую, являющуюся его годографом.

Следовательно, измерительным сигналом следует считать многофазную систему $\mathbf{U}_{\text{и}} = U_{\text{и}k}; k = \overline{1,n}$, а его пространством ее годограф. Соответственно, под опорным сигналом – многофазную систему $\mathbf{U}_{\text{о}} = U_{\text{о}k}; k = \overline{1,n}$, а его пространством – годограф $\mathbf{U}_{\text{о}}$.

Воспользовавшись вышеизложенным подходом, произведем синтез и анализ математических моделей *n*-фазных гониометрических фазовращателей преобразователей перемещений в наиболее общем виде, исходя из представления измерительных и опорных сигналов вектор-функциями искомой и образцовой фаз.

2 Синтез математических моделей *n*-фазных фазовращателей

Операция сравнения, производимая с помощью ГФВ, есть определение угла между $\mathbf{U}_{\text{и}}$, $\mathbf{U}_{\text{о}}$ через их скалярное произведение. Уравнение ГФВ имеет вид

(2) $\mathbf{U}_{\text{и}} \cdot \mathbf{U}_{\text{о}}'|_{\psi=\varphi} = 0$.

Откуда следует, что задачу синтеза ФВ можно рассматривать как выбор сигналов $\mathbf{U}_{\text{и}}$, $\mathbf{U}_{\text{о}}$, взаимно ортогональных при ψ = φ.

С учетом [9] уравнение (2) можно записать как

(3) $$\sum_{k=1}^{k=\mathrm{n}} \mathbf{f}_{\text{и}}(\varphi - \varphi_k) \cdot \mathbf{f}_{\text{о}}(\psi - \psi_k)\Big|_{\psi=\varphi} = 0,$$

где $\mathbf{f}_{\text{и}}(\varphi - \varphi_k)$, $\mathbf{f}_{\text{о}}(\psi - \psi_k)$ – функции скалярных переменных φ и ψ, соответствующие сигналам $U_{ик}$ и $U_{ок}$; $k = \overline{1,n}$.

Установлено, что система сигналов в диапазоне пространственной фазы $\varphi \in [0,2\pi)$ эквивалентна пространству $\mathbf{U}_{\text{и}}$ над скалярным полем $\varphi \in [0,2\pi)$, если норму определить соотношениями

(4) $$\rho_{\text{и}} = \left\|\mathbf{U}_{\text{и}}\right\| = \mu \cdot \sqrt{\sum_{k=1}^{k=n} \mathbf{f}_{\text{и}}^2(\varphi - \varphi_k)},$$

где $\rho_{\text{и}}$ – длина радиус-вектора точки, изображающей измерительный сигнал $\mathbf{U}_{\text{и}}$, в *n*-мерном пространстве;

(5) $\mathbf{f}_{\text{и}}(\varphi - \varphi_k) = \rho_{\text{и}}\,\mathbf{sin}(\alpha - \alpha_k)$ – функция измерительного сигнала *k*-ой фазы;

(6) $\alpha - \alpha_k = \mathbf{f}(\varphi - \varphi_k)$ – угол между радиус-вектором и *k*-ой осью; μ – нормирующий множитель.

Это означает, что ГФВ может быть реализован в форме скалярного произведения тогда и только тогда, если годограф радиус-вектора $\mathbf{U}_{\text{и}}$ лежит в декартовой плоскости, а многофазная система измерительных сигналов $\mathbf{U}_u = U_{uk}; k = \overline{1,n}$ эквивалентна двухфазной системе $\widetilde{\mathbf{U}}_u = \{\widetilde{u}_s, \widetilde{u}_c\}$

(7) $\widetilde{\mathbf{u}}_s = \mathbf{f}_s(\varphi) = \widetilde{\rho}_{\text{и}}(\alpha)\,\mathbf{sin}\,\alpha$,

(8) $\widetilde{\mathbf{u}}_c = \mathbf{f}_c(\varphi) = \widetilde{\rho}_{\text{и}}(\alpha)\,\mathbf{cos}\,\alpha$

где $\widetilde{\mathbf{u}}_s, \widetilde{\mathbf{u}}_c$ – “синусный” и “косинусный” сигналы соответственно.

С учетом соотношений (7), (8) уравнения связи составляющих многофазной системы (5), (6) принимают вид

(9) $\mathbf{f}_{\text{и}}(\varphi - \varphi_k) = \widetilde{\mathbf{u}}_s\,\mathbf{cos}\,\alpha_k - \widetilde{\mathbf{u}}_c\,\mathbf{sin}\,\alpha_k; k = \overline{1,n}$,

(10) $$\mathbf{tg}\,\alpha = \frac{\mathbf{f}_s(\varphi)}{\mathbf{f}_c(\varphi)}.$$

Откуда явствует, что радиус-вектор $\mathbf{U}_{\text{и}}$ представляет собой линейное преобразование

(11) $\mathbf{U}_{\text{и}} = \mathbf{A}_{\text{и}} \cdot \widetilde{\mathbf{U}}_{\text{и}}$,

(12) $\mathbf{A}_{\text{и}} = \left|\mathbf{cos}\,\alpha_k \quad -\mathbf{sin}\,\alpha_k\right|, k = \overline{1,n}$,

где $\mathbf{A}_{\text{и}}$ – матрица линейного преобразования $|n \times 2|$ двумерного пространства в *n*-мерное пространство.

Таким образом, задача синтеза *n*-фазного ФВ распадается на два этапа:

а) синтеза “эквивалентного” двухфазного ФВ;

б) синтеза матрицы линейного преобразования пространств.

Необходимые и достаточные условия синтеза *n*-фазного ФВ могут быть сформулированы следующим образом

(13) $\Delta = \tilde{\mathbf{U}}_{\text{и}} \cdot \tilde{\mathbf{U}}_{\text{о}}' \Big|_{\psi=\varphi} = 0$,

(14) $\left| \frac{\mathbf{d}\Delta}{\mathbf{d}\psi} \Big|_{\psi=\varphi} \right| \neq 0$,

(15) $\mathbf{A}_{\text{и}}' \mathbf{A}_{\text{и}} = \text{I}$,

где $\tilde{\mathbf{U}}_{\text{и}}, \tilde{\mathbf{U}}_{\text{о}}$ – радиус-векторы измерительного и опорного сигналов двухфазного ФВ; $\mathbf{A}_{\text{и}}'$ – транспонированная матрица $\mathbf{A}_{\text{и}}$; I – единичная матрица $|2 \times 2|$.

В случае n=2 уравнению (13) удовлетворяет любая система измерительных сигналов $\mathbf{U}_{\text{и}}$, отвечающая условию (14), если в области определения $\varphi \in [0, 2\pi)$ ее норма непрерывна и не тождественна нулю, а система опорных сигналов $\mathbf{U}_{\text{о}}$ ортогональна и подобна ей. Это значит, что годограф $\tilde{\mathbf{U}}_{\text{и}}$ должен представлять собой замкнутую кривую, не проходящую через начало координат, а годограф $\tilde{\mathbf{U}}_{\text{о}}$ должен быть таким же, но развернутым на 90°.

Действительно, при выборе опорных сигналов из условия $\tilde{u}_{os}\big|_{\psi=\varphi} = \tilde{u}_{ис} = \mathbf{f}_{ис}(\varphi)$ и $\tilde{u}_{oc}\big|_{\psi=\varphi} = -\tilde{u}_{is} = -\mathbf{f}_{is}(\varphi)$ уравнение (13) будет всегда тождеством. Однако, чтобы равенство достигалось только в момент уравновешивания фаз измерительных и опорных сигналов, зависимость $\alpha = \mathbf{f}(\varphi)$ должна быть однозначна, что будет, если выполняется условие (14).

Таким образом, в работе сформулирована и решена задача синтеза гониометрических ФВ в форме скалярного произведения n-фазных систем измерительных и опорных сигналов пространственных фаз φ и ψ.

Так как при выводе соотношений не накладывалось никаких ограничений на форму сигналов, число фаз n и вид развертки ψ, решение обобщает известные результаты и справедливо к ФВ всех известных типов, а не только с циклической разверткой и сигналами синусоидальной формы [9, 15].

Однако найденные соотношения не достаточны для синтеза двухфазного ФВ, так как уравнение (13) решают любые пары синусно-косинусных сигналов, удовлетворяющие (14). Поэтому их следует рассматривать соотношениями по выбору опорных сигналов, а выбор исходных измерительных сигналов производить исходя из условий конкретной задачи.

Опыт показывает, что наилучшим образом построению преобразователей перемещений соответствует синусоидальная форма сигналов, а из других – треугольная. Эти формы оптимальны в том смысле, что обеспечивают максимально возможную и одинаковую во всем диапазоне $\psi, \varphi \in [0, 2\pi)$ чувствительность характеристики преобразования, так как наилучшим образом удовлетворяют условию (14). Их годограф представляет собой соответственно либо окружность при синусоидальной форме, либо вписанный в нее квадрат при треугольной форме.

Синусно-косинусные сигналы данных форм обладают симметрией IV-а рода и IV-б рода соответственно и являются смещенными на четверть периода копиями друг друга, благодаря чему их годографы имеют симметрию вида $\tilde{\rho}_{\text{и}}(\alpha) = \tilde{\rho}_{\text{и}}(\alpha + \frac{k\pi}{2})$, где k=0,1,2,… – целочисленный коэффициент, и что, особенно важно, годографы измерительных и опорных сигналов совмещены.

Сигналы, обладающие этими свойствами, среди всех прочих возможных пар синусно-косинусных сигналов $\widetilde{\mathbf{U}}_{\text{и}} = \{\widetilde{\mathbf{u}}_s, \widetilde{\mathbf{u}}_c\}$ обеспечивают максимум функционалу $J = \left.\dfrac{\mathbf{d}\,\Delta}{\mathbf{d}\,\psi}\right|_{\psi=\varphi} = \max\limits_{U_{\text{и}}, U_{\text{о}} \in L(\xi^2)}$ и поэтому оптимальны.

Действительно, как нетрудно показать, уравнение двухфазного ФВ для $\forall\, \mathbf{U}^* = \mathbf{A}\widetilde{\mathbf{U}}_u \in \mathbf{E}_2$ с точностью до множителя μ будет совпадать с (13)

$$\left.\widetilde{\mathbf{U}}^*_{\text{и}}\mathbf{U}^{*\prime}_{\text{о}}\right|_{\psi=\varphi} = \mu\widetilde{\mathbf{U}}_{\text{и}}\left.\widetilde{\mathbf{U}}^{\prime}_{\text{о}}\right|_{\psi=\varphi} = 0,$$

где $\mu = |\mathbf{A}|$ – определитель матрицы $|2\times 2|$ линейного преобразования **A**.

Откуда находим, что множеству $\{\mathbf{U}^*_{\text{и}}\}$, ограниченных по модулю сигналов, соответствует $\mu = \mathbf{sin}(\xi^*_s - \xi^*_c)$, где ξ^*_s, ξ^*_c – полярные координаты ортов радиус-вектора $\widetilde{\mathbf{U}}^*_{\text{и}}$ в декартовой плоскости, и, следовательно, $\mu = \mathbf{max}\left|_{|\xi^*_s - \xi^*_c| = \frac{\pi}{2}}\right.$.

Следовательно, выбор взаимно ортогональных пар синусно-косинусных сигналов $\widetilde{\mathbf{U}}_{\text{и}} = \{\widetilde{\mathbf{u}}_s, \widetilde{\mathbf{u}}_c\}$ оптимален для двухфазных ФВ. Однако на практике реальные первичные измерительные сигналы по разным причинам могут отличаться от идеальных сигналов. В этом случае синтез заключается в выборе соответствующих опорных сигналов, обеспечивающих точное решение уравнения (13)[9].

С этой целью произведем анализ вышерассмотренных математических моделей *n*-фазных фазовращателей.

3 Анализ математических моделей *n*-фазных фазовращателей

Как показано в работе, *n*-фазные фазовращатели в случае *n*>2 могут быть синтезированы лишь тогда, если их уравнение получено линейным преобразованием уравнения двухфазного фазовращателя.

Поэтому их синтез сводится к соответствующему выбору двухфазного ФВ и матрицы $|n\times 2|$ линейного преобразования $\mathrm{A}_{\text{и}}$.

С учетом (11, 12) уравнение связи между сигналами *n*-фазного и 2-фазного фазовращателей есть рассмотрение вектора **U** в пространствах, натянутых на *n*-мерный и 2-мерный базисы $\{\mathrm{e_k};\ k = \overline{1,n}\}$ и $\{\mathrm{e_s},\mathrm{e_c}\}$ соответственно:

$$\mathbf{U} = \sum_{k=1}^{k=n}\mathbf{u}_k\mathbf{e}_k = \widetilde{\mathbf{u}}_s\widetilde{\mathbf{e}}_s + \widetilde{\mathbf{u}}_c\widetilde{\mathbf{e}}_c,\quad \mathbf{u}_k = \widetilde{\mathbf{u}}_s\sqrt{\mu}_k\,\mathbf{cos}\,\alpha_k - \widetilde{\mathbf{u}}_c\sqrt{\mu}_k\,\mathbf{sin}\,\alpha_k,$$

где $\sqrt{\mu_k}$ – масштабный коэффициент *k*-ой фазы.

Отсюда находим, что связь между базисами $\{\mathrm{e_k};\ k = \overline{1,n}\}$ и $\{\mathrm{e_s},\mathrm{e_c}\}$ должна выражаться соотношениями $\widetilde{\mathbf{e}}_s = \sum\limits_{k=1}^{k=n}\sqrt{\mu}_k\,\mathbf{cos}\alpha_k\,\mathbf{e}_k$, $\widetilde{\mathbf{e}}_c = -\sum\limits_{k=1}^{k=n}\sqrt{\mu}_k\,\mathbf{sin}\,\alpha_k\,\mathbf{e}_k$.

Учитывая, что базис $\{\mathrm{e_s},\mathrm{e_c}\}$ должен быть ортонормален $\widetilde{\mathbf{e}}_s\widetilde{\mathbf{e}}_c^{\,\prime} = 0$, $\|\widetilde{\mathbf{e}}_s\| = \|\widetilde{\mathbf{e}}_c\| = 1$, необходимые и достаточные условия эквивалентности *n*-фазного и 2-фазного ФВ будут иметь вид

(16) $\sum_{k=1}^{k=n}\mu_k = 1$,

(17) $\sum_{k=1}^{k=n}\mu_k \sin 2\alpha_k = 0$,

(18) $\sum_{k=1}^{k=n}\mu_k \cos 2\alpha_k = 0$.

Здесь соотношение (17) является условием ортогональности, а (16), (18) – нормировки многофазной системы **U**. С учетом масштабного коэффициента матрица преобразования равна

(19) $\mathbf{A}_u = \left|\sqrt{\mu_k}\cos\alpha_k \quad -\sqrt{\mu_k}\sin\alpha_k\right|, k = \overline{1,n}$.

Откуда следует, что условия (16), (17) и (18) равносильны условию $\mathbf{A}_u{}^T\mathbf{A}_u = \mathbf{I}$. Это означает, что уравнения *n*-фазного и 2-фазного фазовращателей тождественно равны

$$U_{\text{гфв}} = \mathbf{U}_{\text{и}}\mathbf{U}_{\text{о}}'\Big|_{\psi=\varphi} = [(\mathbf{A}_{\text{и}}\widetilde{\mathbf{U}}_{\text{и}})\cdot(\mathbf{A}_{\text{и}}\widetilde{\mathbf{U}}_{\text{о}})]'\Big|_{\psi=\varphi} = \left|\mathbf{A}_{\text{и}}{}^T\mathbf{A}_{\text{и}}\right|(\widetilde{\mathbf{U}}_{\text{и}}\widetilde{\mathbf{U}}_{\text{о}})'\Big|_{\psi=\varphi} =$$

$$= |\mathbf{I}|\cdot(\widetilde{\mathbf{U}}_u\widetilde{\mathbf{U}}_o)'\Big|_{\psi=\varphi} = \widetilde{\mathbf{U}}_{\boldsymbol{И}}\widetilde{\mathbf{U}}_O{}'\Big|_{\psi=\varphi} = 0$$

С точки зрения общего структурного синтеза гониометрические фазовращатели (ГФВ) различаются [9, 11]:

а) числом фаз *n*;

б) характером дискретной развертки ξ_k;

в) характером дискретной развертки μ_k;

г) формой измерительных сигналов.

По числу фаз ФВ можно разделить на 2-фазные и *n*-фазные ГФВ.

По второму признаку можно выделить ГФВ с дискретной разверткой фазы с постоянным шагом $\xi_k = \frac{2\pi}{n}(k-1); k = \overline{1,n}$ и ГФВ с дискретной разверткой фазы и переменным шагом $\xi_k \neq \frac{2\pi}{n}(k-1); k = \overline{1,n}$. По третьему признаку ГФВ могут иметь дискретную развертку амплитуд μ_k=**const** и дискретную развертку амплитуд μ_k=**var**. По четвертому признаку ФВ подразделяются на ГФВ с синусоидальными и несинусоидальными сигналами.

Как видно из приведенной классификации, выбор числа фаз в качестве первого признака обусловлен особенностями синтеза 2-х и *n*-фазных ФВ. В этом смысле следующими по важности признаками рассматриваются соответственно характер дискретной развертки по фазе ξ_k и амплитуде μ_k. Форма сигналов рассматривается как последний признак, поскольку в известной мере он инвариантен предшествующим признакам.

Произведем анализ особенностей синтеза ФВ для наиболее значимых для практики случаев их построения[13, 14].

Из всех случаев наибольший интерес представляет синтез ГФВ в базисе равномерно смещенных сигналов $\{u_k; k = \overline{1,n}\}$, что соответствует выбору $\alpha_k = \xi_k = \frac{2\pi}{n}(k-1); k = \overline{1,n}$, $\mu_k = \frac{2}{n}$. Пространство радиус-вектора $\mathbf{U}_{\text{и}}$ представляет собой годограф в декартовой плоско-

сти, а измерительные сигналы $u_k; k=\overline{1,n}$ суть его ортогональные проекции на систему n равномерно смещенных с постоянным шагом $\Delta\alpha=\frac{2\pi}{n}$ координатных осей.

При этом соотношения (16), (17) и (18) тождественно выполняются при любой форме эквивалентных синусно-косинусных сигналов $\{e_s,e_c\}$, порождающих системы $\{u_k; k=\overline{1,n}\}$ измерительных и опорных сигналов n-фазного ФВ.

Однако, как следует из (4),(5) и (6) базис $\{u_k; k=\overline{1,n}\}$ будет равномерно смещенным по аргументам φ и ψ тогда, когда справедливо равенство $\varphi_k=\alpha_k=\frac{2\pi}{n}(k-1); k=\overline{1,n}$, что будет, если $\widetilde{\rho}_{\text{и}}(\alpha)=\widetilde{\rho}_{\text{и}}(\alpha+\alpha_k); k=\overline{1,n}$.

Последнее означает, что годограф радиус-вектора $\mathbf{U}_{\text{и}}$ должен быть симметричен координатным осям. Для всех n это выполняется в одном единственном случае $\widetilde{\rho}_{\text{и}}(\alpha)=\mathbf{const}; k=\overline{1,n}$, т.е. когда годограф представляет собой окружность, что соответствует случаю синусоидальных сигналов $\alpha=\varphi$, $\beta=\psi$.

Таким образом, синусоидальные сигналы инвариантны к числу фаз n и потому более универсальны, чем несинусоидальные сигналы, выбор формы которых должен быть увязан с числом фаз. Это ограничивает область допустимых решений для ФВ с несинусоидальными сигналами при числе фаз $n>2$.

Общим случаем синтеза ФВ в форме скалярного произведения является синтез в базисе неравномерно смещенных n-мерных измерительных и опорных сигналов

(20) $\alpha_k=\xi_k\neq\frac{2\pi}{n}(k-1); k=\overline{1,n}$,

(21) $\mu_k\neq\mathbf{const}$.

Из условий ортонормальности базиса (16), (17) и (18) следует, что независимо распределения амплитуд и фаз (20), (21) не могут быть выбраны, а для n>3 число решений бесчисленно.

В силу чего [14] синтез ФВ в неравномерном базисе формулируется как задача выбора закона распределения амплитуд (21) при заданном законе распределения фаз (20) с целью ортонормализации, т.е. выполнения необходимых и достаточных условий (16), (17) и (18). Единственность решения достигается доопределением системы (16), (17) и (18) до n.

Анализ показывает, что (16), (17) и (18) определяют уравнение плоскости в n-мерном линейном пространстве. Действительно, умножив обе части (17) на мнимую единицу и сложив полученное уравнение с (18) , будем иметь $\sum_{k=1}^{k=n}\mu_k\,\mathbf{e}^{-j2\alpha_k}=0$. Это означает, что все n отсчетов комплексной экспоненты, имеющей круговую пространственную частоту $\omega_{\text{п}}=2$, лежат в одной плоскости, перпендикулярной вектор-строке $\mu_k; k=\overline{1,n}$.

Откуда, усматриваем, что условием подавления всех гармоник, некратных n, т.е. от $k=1$ вплоть до $k=n-1$, необходимо выполнение условий

(22) $\sum_{k=1}^{k=n}\mu_k\,\mathbf{e}^{-jk\alpha_k}=0; k=\overline{1,n-1}$,

означающих, что гармоники должны лежать в одной плоскости. Из них – для синтеза ФВ необходимы n-3 уравнений. Следовательно, для любого числа фаз n>3 система может быть дополнена необходимым числом уравнений, взятых из системы (22).

Заключение

Таким образом, решена задача синтеза гониометрических фазовращателей в базисе неравномерно смещенных измерительных и опорных сигналов, что обобщает известные результаты [9, 13-15] на сигналы произвольной формы и произвольное число фаз.

Установлено, что ГФВ в пространстве переменной $\{\xi_k = \frac{2\pi}{n}(k-1); k = \overline{1,n}\}$ соответствуют линейным системам дискретного аргумента, а синтез в форме скалярного произведения – синтезу в форме свертки, т.е. в пространственной области, являющейся аналогом временной области классической теории сигналов [16].

Поэтому синтез ФВ в частотной области может рассматриваться как синтез пространственно-частотных фильтров. Отличительная особенность ГФВ заключается в том, что их сигналы являются периодическими функциями пространственной фазы $\psi, \varphi \in [0, 2\pi)$.

В силу этого круговая частота таких сигналов представляет собой безразмерную величину x числовой оси $\omega_n = x \in \pm\infty$. Причем колебаниям, периоды которых кратны 2π, соответствуют целочисленные частоты, кратные круговой частоте $\omega_п$=1, а произвольным частотам $\omega_п$ – вещественные числа x. Из (22) следует, что ГФВ в частотной области соответствует фильтр нижних пространственных частот, рассчитанный на подавление второй гармоники $\omega_п$=2.

Таким образом, в работе на основе векторных представлений решена в общем виде задача синтеза и анализа математических моделей *n*-фазных гониометрических фазовращателей, используемых в преобразователях перемещений для реализации основной измерительной операции – операции сравнения. Предложены и разработаны классификация, методы синтеза и анализа *n*-фазных ГФВ. Произведен анализ особенностей синтеза для наиболее значимых для практики случаев построения ФВ. Расширено понятие ФВ и показано, что используемые в процессе преобразования перемещений фазовый и амплитудный режимы работы первичных преобразователей можно трактовать с единых позиций как преобразование перемещения в пространственную фазу φ, а преобразование φ в фазу развертки ψ.

Это позволило установить общность методов аналого-цифрового преобразования различных физических величин и произвести систематизацию и синтез иерархических блочно-модульных структур цифровых преобразователей перемещений [17-18].

Список литературы

[1] Ацюковский В.А. Емкостные преобразователи перемещений. – М.: Энергия, 1966. – 280с.

[2] Преснухин Л.Н., Шаньгин В.Ф., Шаталов Ю.А. Муаровые датчики положения и их применение. – М.: Машиностроение, 1969. – 203с.

[3] Зверев А.Е., Максимов В.П., Мясников В.А. Преобразователи угловых перемещений в цифровой код. – Л.: Энергия, Ленингр. отд-ние, 1974. – 184с.

[4] Прецизионные датчики угла с печатными обмотками/Сафонов Л.Н., Волнянский В.Н., Окулов В.И., Прохоров В.Н. – М.: Машиностроение, 1977. – 152с.

[5] Электромеханические преобразователи с электрической редукцией/Под ред. А.А. Ахметжанова. – М.: Энергия, 1978. – 224с.

[6] Вульвет Дж. Датчики в цифровых системах/Пер. с англ., под ред. А.С. Яроменка. М.: Энергоатомиздат, 1981. – 200с.

[7] Петропавловский В.П., Синицын Н.В. Фазовые цифровые преобразователи угла. – М.: Машиностроение, 1984. – 136с.

[8] Соломатин В.А., Шилин В.А. Фазовые оптико-электронные преобразователи. – М.: Машиностроение, 1986. – 144с.

[9] Габидулин М. А. Исследование фазометрических преобразователей линейных перемещений фотоэлектрического типа: Автореф. дисс. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук. – М.: МИЭМ, 1970. – 31с.

[10] Фотоэлектрические преобразователи информации/Л.Н. Преснухин, В.Ф. Шаньгин, С.А. Майоров, И.В. Меськин. Под ред. Л.Н. Преснухина. – М.: Машиностроение, 1974. – 376с.

[11] 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.
[12] Домрачев В.Г. и др. Схемотехника цифровых преобразователей перемещений: Справоч. пособ./ В.Г. Домрачев, В.Р. Матвеевский, Ю.С. Смирнов. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 392с.
[13] Габидулин М.А. Синтез фазовращателей преобразователей перемещений// Сб. научн. трудов. 60 н.-т. конф. – М.: МИРЭА, 2004. Ч.3. Техн. науки. – С. 14-19.
[14] Габидулин М.А. Анализ *n*-фазных фазовращателей преобразователей перемещений// Сб. научн. трудов. 61 н.-т. конф. – М.: МИРЭА, 2005. Ч.3. Техн. науки. – С. 131-135.
[15] Косинский А.В. и др. Аналого-цифровые преобразователи перемещений/ А.В. Косинский, В.Р. Матвеевский, А.А. Холомонов. – М.: Машиностроение, 1991. – 224с.
[16] Френкс Л. Теория сигналов./Пер. с англ., под ред. Д.Е. Вакмана. – М.: Сов. радио, 1974. – 344с.
[17] Габидулин М.А. Синтез обобщенных блочно-модульных структур параллельно-последовательных АЦП перемещений с растровыми синусно-косинусными преобразователями// Материалы Международной н.-т. конф. Искусственный интеллект. Интеллектуальные системы. – Донецк, Украина: ИПИИ «Наука і освіта», 2011. Т.1. – 214-218.
[18] Габидулин М.А. Синтез и систематизация иерархических блочно-модульных структур абсолютных фотоэлектрических цифровых преобразователей перемещений// Труды XII Международной конференции Проблемы управления и моделирования в сложных системах. – Самара: Самарский научный центр РАН, 2011. – С. 346-352.

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ ДЕФОРМАЦИОННОГО СОСТОЯНИЯ ЛОПАСТЕЙ НЕСУЩЕГО ВИНТА ВЕРТОЛЕТА

С.В. Жуков, У.В. Бояркина

Самарский национальный исследовательский университет
имени академика С.П. Королёва
443086, Самара, Московское шоссе, 34, Россия
zhukovsv91@inbox.ru
тел: +7 (927) 707 04 91

Ключевые слова: *вертолёт, несущий винт, лопасть, модель лопасти, экспериментальный стенд, датчик, длительность сигнала, СВЧ-преобразователь, маховое колебание, скручивание, несоконусность.*

Abstract

The report deals with a non-contact method of monitoring the integrity of the main rotor blades of the helicopter. The existing control methods of monitoring the integrity of the main rotor blades of the helicopter are labor intensive in implementation, have high cost and low reliability. To solve this problem has been proposed a method based on illumination of the blades by probing microwave signal.

Введение

Несущий винт является важнейшим узлом вертолёта. Он обеспечивает, как подъемную силу, так и полетные качества вертолёта. Несущий винт состоит из втулки несущего винта, шарниров и лопастей. Именно от целостности этих деталей зависит, во многом, работоспособность и целостность всего вертолёта.

Знание рабочих деформационных характеристик лопастей несущего винта вертолёта (НВВ) позволяет выявлять конструктивно-технологические недостатки или неисправности на ранней стадии их возникновения и принимать оперативные меры по их устранению.

Стоит отметить, что используемые штатно системы контроля не дают точной и всесторонней оценки состояния несущего винта.

1 Методы и средства контроля деформационного состояния лопастей

Существующие методы контроля деформационного состояния лопастей условно можно разделить на контактные и бесконтактные. Реализация контактного метода основана на расположении первичного преобразователя – датчика на внешней поверхности контролируемого элемента – лопасти. В качестве примера систем, использующих данный метод, можно привести системы, основанные на тензодатчиках [1], также системы, построенные на оптоэлектронных и оптоволоконных датчиках (датчики на основе Брэгговских решеток) [2]. Недостатками вышеуказанных систем является высокая трудоемкость установки данной системы, сложность передачи сигнала, а также низкая надежность системы. Однако высокая точность подобных систем позволяет использовать их в лабораторных исследованиях.

В то же время существуют аналогичные бесконтактные методы. В качестве примера можно привести метод определения положения лопастей, основанный на применении лазерной системы [3]. Метод построен на регистрации отраженного лазерного излучения от законцовки лопасти. Отраженное лазерное излучение регистрируются телевизионной камерой и после соответствующей цифровой обработки отображаются на экране монитора. Вертикаль-

ные положения законцовок лопастей отображаются в виде прямоугольников на экране монитора. Реализация данного способа представлена на рисунке 1.

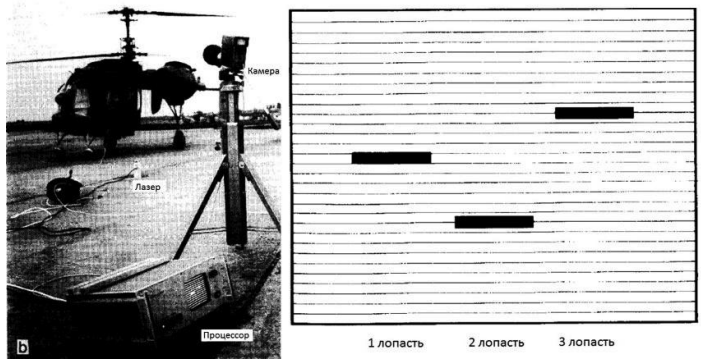


Рисунок 1 – Практическая реализация лазерной системы определения положения лопастей и результаты измерений на экране монитора

Также существуют оптико-электронные системы, принцип работы, которых основан на регистрации отраженного от лопастей излучения в видимом диапазоне волн. В качестве первичного преобразователя может использоваться видеокамера [4] или же простая светодиодная линейка. Примером такой системы является система определения положения лопастей вертолета [5]. Устройство позволяет измерять маховые колебания лопастей, а также угловое расстояние между соседними лопастями. Принцип действия основан на приеме отраженного от светоотражающей полоски светового потока, расположенной на нижней части законцовки лопасти. Датчик представляет собой ПЗС матрицу, в виде вертикальной полосы сенсоров и устанавливается под несущим винтом. Датчик контроля махового движения лопасти установлен на лобовую часть кабины вертолёта (рис. 2), на поверхности носовой части фюзеляжа вертолета расположен датчик для контроля деформационных параметров НВВ и на хвостовой части – для контроля деформационного состояния рулевого винта вертолёта (рис. 2).

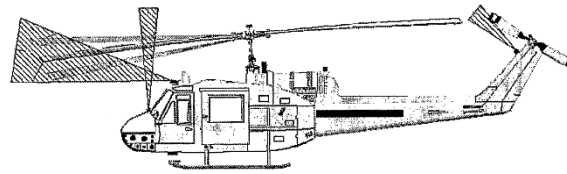


Рисунок 2 – Расположение датчиков на корпусе вертолета

Все оптико-электронные и лазерные системы, работающие на принципе дистанционного контроля подвержены сильному влиянию метеорологических условий. При недостаточной освещенности контраст между лопастью и участком фона становится предельно малым, и система не может отличить контролируемый объект от фона.

2 Метод контроля деформационного состояния лопастей

Анализ научно-технической литературы показывает, что среди разнообразных методов и средств контроля деформационного состояния лопастей несущего винта вертолета, в настоящее время, наиболее перспективным является – дискретно - фазовый метод. Метод заключается в приеме и обработке отраженного информационного потока излучения, модулирующим элементом для которого служат сами лопасти несущего винта вертолета. Приемо-передающая система устанавливается на хвостовой балке, как показано на рисунке 3.

Рисунок 3 – Схема расположения приемо-передающего модуля на хвостовой балке вертолёта

Анализ принятого, отраженного от лопасти СВЧ-сигнала, позволяет судить о частоте вращения винта, целостности крепления лопасти и силового элемента лопасти - лонжерона, амплитуде махового колебания, угле скручивания лопасти, кроме этого анализ сигнала позволяет выявить и контролировать низкочастотные изгибно-крутильные колебания.

Анализируя отражённый от лопасти СВЧ-сигнал, можно определить:

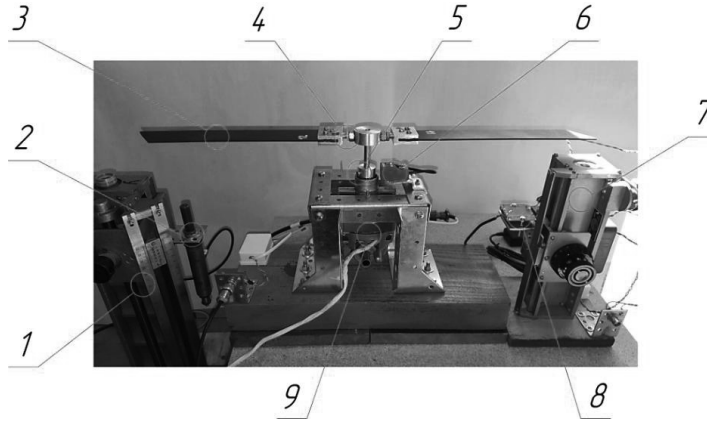
- целостность горизонтального шарнирного крепления лопасти за счёт измерения временных интервалов между временными отметками полученных от соседних лопастей;
- целостность вертикального шарнирного крепления лопасти по амплитуде махового движения лопасти, пропорциональной разности фаз излученного и принятого отраженного сигналов;
- скручивание и угол установки лопасти посредством измерения длительности импульсного сигнала, характеризующего отражённый от лопасти электромагнитный поток и сравнения его с информацией о угле установки лопасти, полученной с системы датчиков бортового регистратора параметров;
- низкочастотные изгибно-крутильные колебания посредством накопления и сравнения измеренных амплитуд маховых колебаний и углов скручивания лопастей.

Также, предлагаемая система может выявлять несоконусность установки лопастей и распознавать такие явления как земной резонанс и флаттер.

3 Экспериментальный стенд

В работе [6] была предложена методика расчёта мощности отражённого зондирующего потока СВЧ-излучения от движущейся лопасти несущего винта вертолёта. В данной модели лопасть представляется недеформированной плоской отражающей поверхностью прямоугольной формы. Модель позволяет определить мощность отражённого сигнала и его длительность в любой момент времени и на любом расстоянии от лопасти.

Для проверки модели [6], а также для изучения отработки предложенного метода, был разработан и изготовлен экспериментальный стенд [7] (рисунок 4). Экспериментальный стенд позволяет имитировать вращение лопастей с различными углами установки и получать информационный сигнал, отраженный от движущейся лопасти, который характеризует взаимодействие зондирующего потока с поверхностью лопасти, а также позволяет регистрировать временное представление полученных электрических сигналов. На стенде предусмотрена установка двух бесконтактных преобразователей с возможностью регулировки расстояния до объекта контроля. Установочные механизмы предназначены для регулировки расстояния от датчика до объекта исследования. Синхронизация функционирования измерительных устройств, отображения сигнала и контроля скорости вращения электродвигателя осуществляется при помощи индуктивного бесконтактного датчик AR-LMF1-3005NA, реагирующего на оборотную метку в виде штыря, которая установлена на роторе электродвигателя. Для проведения измерений на различных частотах вращения ротора в блоке управления электродвигателем предусмотрено формирование трех частот вращения ротора (40,3 Гц; 43,1 Гц; 44,64 Гц).



1 – первый установочный механизм СВЧ-преобразователя, 2 – первый СВЧ-преобразователь, 3 – модель лопасти, 4 – установочный механизм модели лопасти, 5 – метка оборотного датчика, 6 – оборотный датчик, 7 – второй установочный механизм, 8 – второй СВЧ-преобразователь, 9 – электродвигатель

Рисунок 4 – Экспериментальный стенд для бесконтактного контроля целостности лопастей вертолёта

В настоящее время применяется множество различных материалов для изготовления лопастей: углепластик, алюминий, стеклопластик, а также материалы на основе базальтового волокна. Для испытаний, были изготовлены четыре экспериментальных образца из углепластика, алюминия, стеклопластика и базальтового волокна. Образцы представлены на рисунке 5.

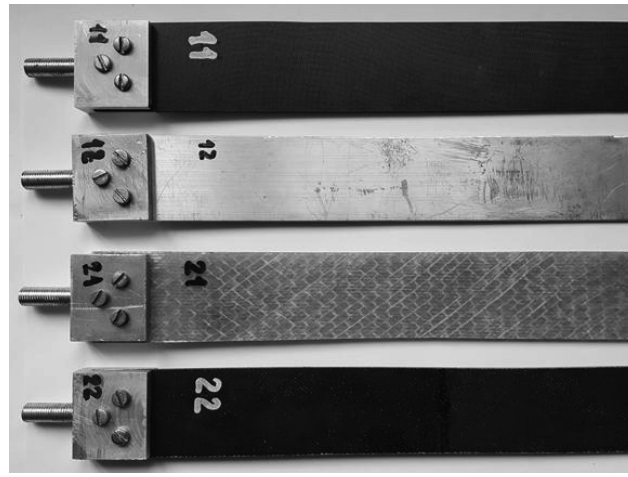


Рисунок 5 – Экспериментальные образцы модели лопасти, выполненные из различных материалов

В то время как лопасти из таких традиционных материалов как алюминиевые конструкции, стеклопластика и углепластика применяются давно – базальтовое волокно начали применять относительно недавно. Базальтовые волокна изготавливаются из горных пород по технологии получения стеклянных волокон, что обуславливает их низкую цену по сравнению с углеродными волокнами. По сравнению со стеклопластиком и углепластиком, которые также широко используются для производства компонентов лопастей, базальтовое волокно обладает множеством преимуществ. Например, повышенная жесткость, стойкость к деформации, более высокая прочность, означающая возможность уменьшения веса при том же размере лопасти. Уменьшение веса лопасти, в свою очередь, приводит к снижению стоимости используемых

материалов, а также уменьшению времени на изготовление изделия, возможность увеличения длины лопасти при том же весе, что и у лопасти, сделанной с использованием традиционных материалов.

Для сравнения электромагнитных характеристик данных образцов использовался СВЧ-преобразователь НВ 100. СВЧ-преобразователь представляет собой доплеровский радар, содержащий приемную и передающую антенны, генератор и смеситель. Структурная схема и диаграмма направленности СВЧ-преобразователя представлены на рисунке 6.

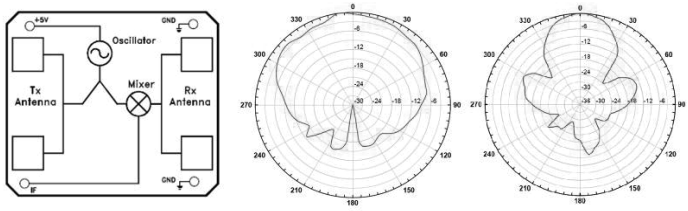


Рисунок 6 – Структурная схема и диаграмма направленности СВЧ-преобразователя НВ 100

СВЧ-преобразователь НВ 100 имеет выходную мощность 20 мВт, рабочее напряжение питания: 5 В ± 0.25 В и частоту генерируемого сигнала 10,5 ГГц.

В результате эксперимента, проведённого с экспериментальными образцами модели лопасти, были получены амплитудные зависимости показывающие затухание сигнала в зависимости от расстояния от антенны преобразователя до объекта контроля. Амплитудные зависимости сигнала от расстояния до объекта контроля для различных образцов зависимости представлены на рисунке 7.

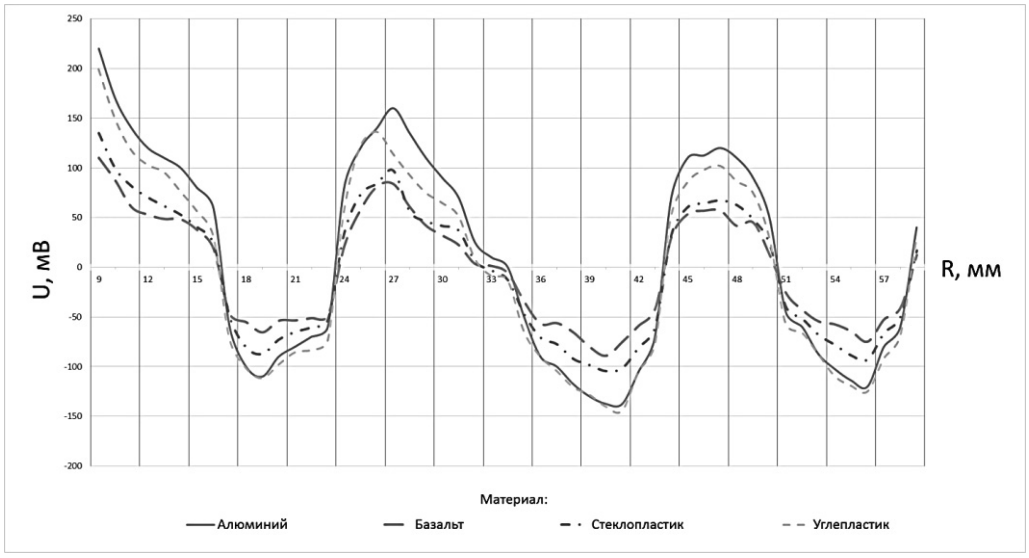


Рисунок 7 – Зависимости выходного напряжения от расстояния до лопасти различных экспериментальных образцов

Результаты исследований показали, что экспериментальные образцы, изготовленные из алюминия, углепластика, стеклопластика и базальтовых волокон хорошо отражают зондирующий СВЧ сигнал. Таким образом, предложенный метод может использоваться для всех типов лопастей несущих винтов вертолетов.

4 Моделирование отражающей поверхности

Поскольку модель лопасти представлена в виде прямоугольной недеформированной пластины возникает необходимость проверки корректности такого представления лопасти и влияния конструктивных параметров лопасти на мощность отраженного сигнала. Для этого в САПР ANSYS HFSS 15 была смоделирована эффективная площадь отражения (ЭПО) фрагмента лопасти вертолёта Ми-8 (аэродинамический профиль NACA 23015) в пакете САПР ANSYS HFSS 15 и модель плоской металлической пластины. Эксперимент был проведен на частоте в 10 ГГц. Модель лопасти представлена на рисунке 8.

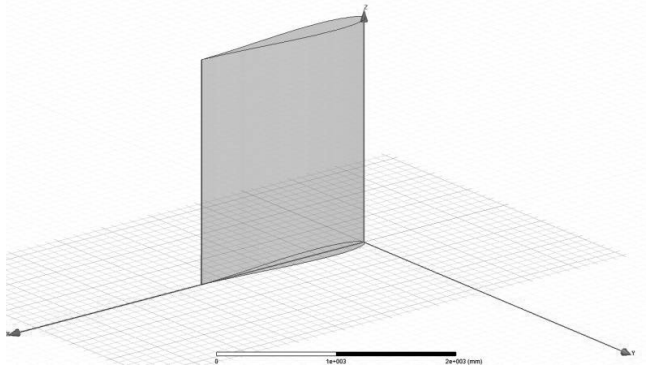


Рисунок 8 – Модель лопасти в САПР ANSYS HFSS 15

В результате моделирования в пакете САПР ANSYS HFSS 15 были получены азимутальные характеристики ЭПО для фрагмента лопасти вертолёта Ми-8 (рисунок 9) и плоской металлической алюминиевой пластины (рисунок 10).

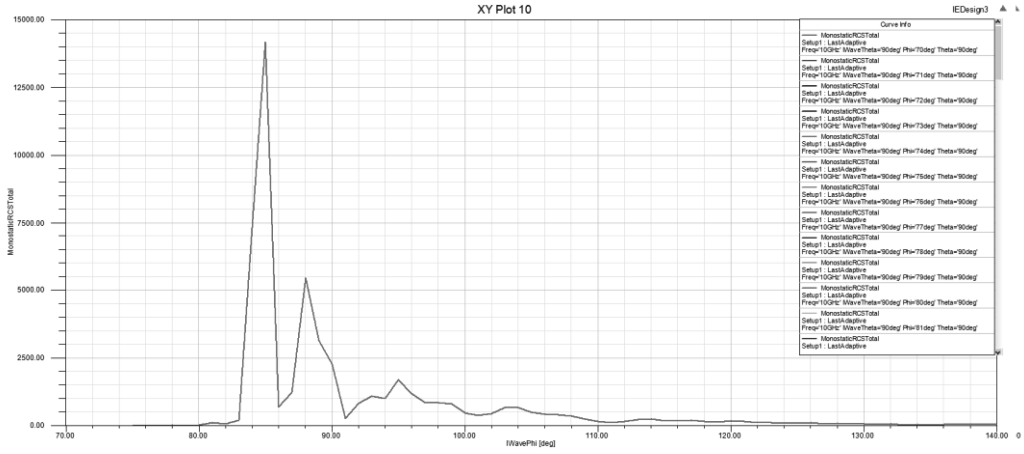


Рисунок 9 – ЭПО фрагмента лопасти

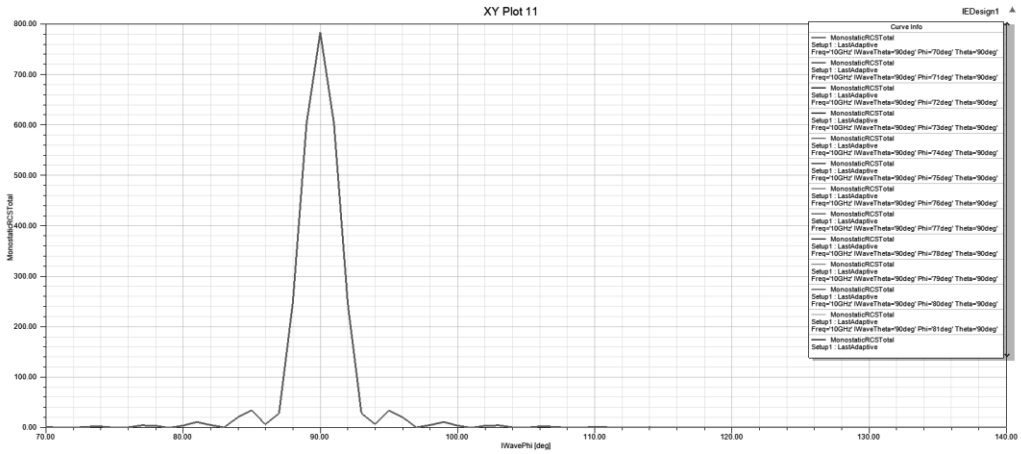


Рисунок 10 – ЭПО плоской металлической пластины

Результаты моделирования показали, что лопасть имеет похожие азимутальные отражающие характеристики и используемые экспериментальные модели корректны для проведения исследований на экспериментальном стенде.

Заключение

Воздушный винт в качестве движителя применяется на таких распространённых средствах передвижения как вертолеты, самолеты с турбовинтовыми двигателями, экранопланы, суда на воздушной подушке и, несомненно, является важнейшей частью средства передвижения. Поэтому в будущем планируется внедрение данного метода контроля рабочего состояния лопастей несущего винта на всех используемых типах воздушных винтов.

Список литературы

[1] Антропов В.Ф., Бураков Г.Б., Дьяченко А.С. [и др.] Экспериментальные исследования по аэродинамике вертолета/ [под. ред. А.К. Мартынова]. М.: Машиностроение, 1980. С. 105-108.

[2] H. Youwei, C. Weizhen, L. Yan, L. Wanxin An optoelectronic system for the in-flight measurement of helicopter rotor blades motions and strains // Optical Metrology and Inspection for Industrial Applications II,- 2012,- P. 314-320.

[3] Nagy P.B., Greguss P. Helicopter blade tracking by laser light / Optics and laser technology,- 1982,- P. 299-302.

[4] Видеограмметрический метод бесконтактных измерений мгновенной деформации лопастей вращающихся воздушных винтов / С. И. Иншаков, В. П. Кулеш, В. Е. Мошаров, В. Н. Радченко // Ученые записки ЦАГИ. 2013. Т. XLIV №4. С. 72-79.

[5] Christopher I.M. Helicopter blade position detector// Patent US 8190393B2. 2012.

[6] Жуков С.В., Данилин А.И., Попов М.С., Математическое описание взаимодействия зондирующего СВЧ-сигнала с лопастью несущего винта вертолета/ «Вестник Самарского университета. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение», 2016, т. 15, №3, С. 178-188.

[7] Жуков С.В., Данилин А.И. Экспериментальная установка бесконтактного контроля целостности лопастей вертолета// Материалы Всероссийской научно – технической конференции “Актуальные проблемы радиоэлектроники и телекоммуникаций”, - 2015, - С.99.

МОНИТОРИНГ ПАРАМЕТРОВ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ СИСТЕМЫ РОТОР-КОРПУС ТУРБИНЫ АВИАЦИОННОГО ГТД

Г.Г. Куликов[1], В.А. Трушин[1], А.И. Абдулнагимов[1], Г.И. Погорелов[2]

[1]Уфимский государственный авиационный технический университет
450008, Республика Башкортостан, г. Уфа, ул. К. Маркса, 12, Россия
gennadyg_98@yahoo.com, trushinf@ufanet.ru, abdulnagimov@gmail.com
тел: +7 (347) 273-78-23

[2]АО УНПП «Молния»
450052, Республика Башкортостан, Уфа, ул. Зенцова, 70, Россия
pogorelov@molniya-ufa.ru
тел: +7 (347) 273-46-34

Ключевые слова: *мониторинг, адаптация модели, ротор, статор, охлаждаемые рабочие лопатки турбины, пирометрический модуль, модуль измерения зазоров, САУ, ГТД.*

Abstract

The concept of monitoring for parameters of the stress-strain state of a rotor-body system of a gas turbine engine is proposed. The structure of the on-board monitoring and control system with an intelligent pyrometer module and an intelligent module for measuring clearance between the tip of the blades and the turbine housing is described. The adaptation schemes of the mathematical model for calculating the stress-strain state due to new incoming measured parameters are given.

Введение

Охлаждаемые рабочие лопатки авиационных турбин являются наиболее ответственными, критичными и дорогостоящими элементами «горячей» части двигателя. С ужесточением требований по надежности и безопасности к современным и перспективным газотурбинным двигателям (ГТД) возникает потребность непрерывного мониторинга напряженного и деформированного состоянии рабочих лопаток (РЛ) турбин в системе ротор-корпус. Особенно это актуально для РЛ высоконагруженных турбин с высоким уровнем температуры газа перед турбиной и высокой частотой вращения ротора при обеспечении минимального зазора между корпусом и периферийными торцами РЛ, а также особенно на переходных режимах работы двигателя.

Учитывая, что не существует простой связи между основными параметрами двигателя и напряжениями в критических точках деталей, подверженных тепловому и механическому воздействию, наиболее точным и оперативным способом представляется расчет на борту по измеряемым параметрам режимов работы ГТД в полете.

Известны системы сканирования температурного состояния лопаток, проводимые зарубежными разработчиками и производителями авиационных двигателей Rolls-Royce, Pratt & Whitney, General Electric, по созданию бортовых систем мониторинга и контроля, осуществляющие регистрацию параметров двигателя и анализ его состояния во время полета с возможностью использования статистики по результатам эксплуатации техники. В самолетах последних линеек Boeing и Airbus используются системы быстрого непрерывного мониторинга состояния двигателя GE90, в которых собирается, записывается вся информация с двигателя, включая измерения температурного распределения в нескольких точках по радиусу турбины (например, штатные бортовые средства оптической пирометрии, разработанные компанией «Land Instruments International», Великобритания). В настоящее время также разработаны оте-

чественные интеллектуальные модули измерения зазоров между рабочими лопатками ротора и корпуса [1].

Таким образом, с появлением интеллектуальных пирометров и интеллектуальных модулей измерения зазоров, осуществляющих сканирование распределения температур и величин зазоров во всем радиусе турбины, появляется возможность сопоставлять расчетные на борту параметры с измеренными [2, 3]. Это в свою очередь позволит оценивать текущее состояние напряжений и деформаций системы ротор-корпус ГТД.

1 Модель деградации структурных, фазовых и прочностных характеристик материала лопаток

Мониторинг вычисляемых параметров напряженного и деформированного состояний лопаток должен проводиться в наиболее напряженных сечениях с учетом модели деградации структурных, фазовых и прочностных характеристик материала лопаток в процессе эксплуатации.

С увеличением напряжения σ, температуры T и ресурса τ происходят структурные изменения материала лопаток: уменьшение γ-фазы, γ'-фазы, коагуляция γ'-фазы, увеличение μ-фазы, η-фазы, σ-фазы, что приводит к уменьшению длительной пластичности, жаропрочности, долговечности.

На статических и на переходных режимах работы ГТД термонапряженное состояние является определяющим фактором в спектре нагрузок на РЛ. Предлагается использовать модель деградации характеристик материала лопаток ГТД (рис. 1) с учетом прочностных свойств и состава материала, определяемых по статистическим данным его эксплуатации и различного рода исследованиях.

Рисунок 1 – Модель деградации характеристик материала лопатки ГТД

В данной модели входными параметрами являются температура T_i, суммарные напряжения в лопатке σ_i, ресурс τ и параметры термоциклов N, определяемые в процессе мониторинга с учётом данных с интеллектуального пирометрического модуля (ИПМ). Выходными параметрами модели являются максимально допустимые (предельные) значения критериев, определяющие свойства материала РЛ от критерия Ларсона–Миллера P и предела длительной прочности материала $\sigma_{\tau i}$, рассчитываемого как произведение действующих напряжений $\sigma_{\text{действ}}$ на запас прочности K_σ.

2 Расчет термонапряженного состояния и остаточного ресурса рабочих лопаток турбины

Алгоритм расчета термонапряженного состояния РЛ турбины основан на решении известной гипотезы Фурье: $q = -\lambda grad\ t$ методом элементарных балансов А. П. Ваничева с граничными и начальными условиями, определяемыми конструкцией лопатки и системы ее охлаждения. Алгоритм идентификации расчетных значений температур по каждой лопатке основан на сдвиге поля температур на величину разности расчетной и измеренной интеллектуальным пирометрическим модулем (ИПМ) температур в базовых точках линии сканирования

оптического луча. Расчет нестационарных температур в лопатке осуществляется конечно-разностным методом [4].

По заданным режимным параметрам рассчитываются температуры лопатки в элементах разбиения в сечении. По полученному распределению температур в сечении рассчитываются термические напряжения σ_i во всех элементах разбиения. На термические напряжения накладываются напряжения от центробежных сил, динамические напряжения от высокочастотной вибрации ротора, напряжения от газовых сил, замеряемые соответствующими датчиками или вычисляемые по известным зависимостям, и далее определяются суммарные напряжения $\sigma_{\text{действ}}$ в элементах.

При проектировании сложной геометрии внутренней полости охлаждаемой лопатки, например, петлевой схемы (рис. 2), расходы охлаждающего воздуха G_i по участкам трактов и ответвлениям, в том числе и в отверстиях перфорации, определяются по уравнению:

$$(1) \quad G_i = \mu F p_{1,i} \sqrt{\frac{2k}{k-1}\frac{1}{RT_{1,i}}\left[\left(\frac{p_{2,i}}{p_{1,i}}\right)^{\frac{2}{k}} - \left(\frac{p_{2,i}}{p_{1,i}}\right)^{\frac{k+1}{k}}\right]},$$

где k – отношение изобарной теплоемкости к изохорной; μ – коэффициент динамической вязкости; p – давление; T – абсолютная температура; F – площадь поперечного сечения канала (подстрочный индекс i относится к расчетному участку тракта; подстрочный индекс 1 – к входу в участок тракта, индекс 2 – к выходному сечению расчетного участка).

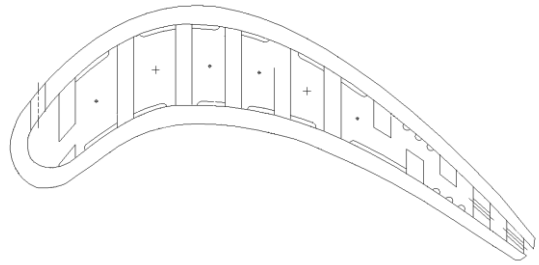


Рисунок 2 – Поперечное сечение пера рабочей лопатки турбины петлевой схемы

При прохождении *i*-го участка могут быть утечки воздуха ΔG_i через отверстия перфорации в стенке лопатки, определяемые аналогично (1) по формуле:

$$(2) \quad \Delta G_i = \mu F_i p_i \sqrt{\frac{2k}{k-1}\frac{1}{RT_i}\left[\left(\frac{p_{\text{gas}\,i}}{p_{\text{air}\,i}}\right)^{\frac{2}{k}} - \left(\frac{p_{\text{gas}\,i}}{p_{\text{air}\,i}}\right)^{\frac{k+1}{k}}\right]}.$$

В случае прохождения воздуха через отверстия в перегородке внутри лопатки в формуле (2) вместо $p_{\text{gas}\,i}$ следует использовать $p'_{\text{air}\,i}$ за перегородкой.

Допустимое число циклов нагружения *N* перехода от одной температуры газа к другой (переход с режима на режим) из-за неоднородного теплового и напряженного состояния определяется малоцикловой усталостью, что описано в работах [5, 6].

3 Расчет деформированного состояния системы ротор-корпус турбины

Математическая модель основана на базовых уравнениях термонапряженного и деформированного состояний с учетом механических нагрузок [7].

Удлинение отдельных элементов Δr пера лопатки из-за действия напряжений растяжения определяется по формуле:

$$\xi_a = \frac{\Delta r_a}{E}\sigma_{ra},$$

а от действия подогрева на ΔT по формуле:

$$\xi_a = \alpha_T \Delta T \Delta r \quad (3)$$

Радиальные напряжения в диске переменной толщины определяются, при разбиении его на отдельные кольцевые элементы по формуле:

$$\sigma_r = A_1 + \frac{A_2}{r^2} - \frac{3+\mu}{8}\rho\omega^2 r^2 - \frac{\alpha E}{r^2}\int_{r_i}^{r} trdr, \quad (4)$$

где A_1 и A_2 – постоянные интегрирования; r_i – внутренний радиус кольцевого элемента диска; t – разность температур элемента диска в данный момент времени и начальной равномерной; μ – коэффициент Пуассона.

Тангенциальные напряжения в диске σ_t определяется из уравнения:

$$\sigma_t = A_1 - \frac{A_2}{r^2} - \frac{1+3\mu}{8}\rho\omega^2 r^2 - \alpha E t + \frac{\alpha E}{r^2}\int_{r_i}^{r} trdr. \quad (5)$$

Постоянные A_1 и A_2 находятся из граничных условий. На внешнем радиусе ($r = r_a$) радиальное напряжение σ_r равно напряжению σ_{ra}, вызванному центробежной силой лопаток. На внутреннем радиусе диска с отверстием при $r = r_i$ напряжение равно нулю.

Радиальное удлинение диска на внешнем радиусе r_a, необходимое для подсчета радиального зазора между элементом корпуса турбины и рабочими лопатками, можно определить, используя формулы (4) и (5):

$$\xi_a = \frac{r_a}{E}(\sigma_{ta} - \mu\sigma_{ra}) + \alpha_a t_a r_a.$$

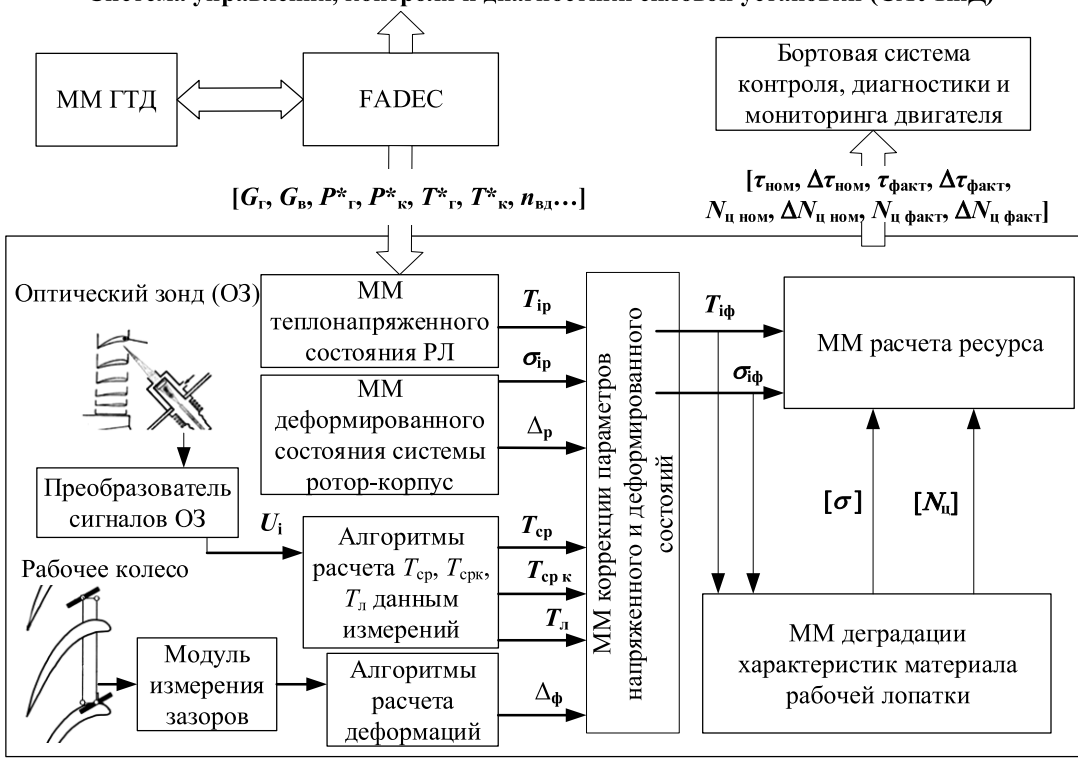
Изменение внутреннего диаметра элемента корпуса определяется удлинением окружности элемента из-за его подогрева по переходным режимам во времени по зависимости (3).

4 Структура интеллектуальной системы мониторинга и контроля состояния и остаточного ресурса рабочих лопаток турбин

В состав бортового интеллектуального пирометрического модуля (ИПМ) входят оптический зонд (ОЗ), модули преобразователя оптических сигналов ОЗ в электрические и одноплатный компьютер со специальным программным обеспечением (рис. 3). Бортовой ИПМ может быть выполнен в виде унифицированной конструкции по отраслевым стандартом ОСТ 1 04043-2008.

Опыт прямого измерения фактической температуры поверхности каждой рабочей лопатки посредством оптического пирометрического преобразователя (ОПП) показывает, что на основе его данных возможно выполнить идентификацию математической модели теплового состояния каждой рабочей лопатки на статических и переходных режимах работы путем эквивалентного смещения расчетного поля температур по значениям на линии сканирования пирометра.

Присущие авиационным ОПП недостатки (дрейф эквивалентного коэффициента передачи измерительного канала из-за загрязнения наружной поверхности линзы объектива, износа оптических компонентов и др.) могут быть скомпенсированы алгоритмическими средствами в случае интеграции ИПМ в состав бортовых систем контроля, диагностики и использования информационной избыточности.



σ – напряжение; $N_ц$ – число циклов; $[N_ц]$ – допустимое число циклов; [σ] – длительная прочность; τ – ресурс; Δτ – остаточный ресурс; $T_{ср}$– средняя температура поверхности всех лопаток по линии сканирования; $T_{ср\,к}$ – средняя температура входных (выходных) кромок лопаток по линии сканирования; $T_л$ – локальная температура входных (выходных) кромок по линии сканирования; T_i – температура в точках рабочей лопатки; $σ_i$– напряжение в точках лопатки; Δ – изменения радиального зазора индекс р– относится к расчетному значению; индекс ф– соответствует фактическому значению.

Рисунок 3 – Структура системы мониторинга и контроля состояния и остаточного ресурса рабочих лопаток турбин:

Временная реализация выходного сигнала ОЗ помимо текущей температуры лопаток содержит большое количество информации о параметрах режима работы двигателя, например, о частоте вращения ротора турбины. Данный сигнал более точный и информативный, в отличие от обычного сигнала с датчика частот вращения в системе автоматического управления, контроля и диагностики (САУКиД). Динамические составляющие этого сигнала могут быть использованы в соответствующих алгоритмах контроля и диагностики для выявления развивающихся неисправностей и повреждений, например, дефектов рабочих лопаток, сколов термобарьерного покрытия, трещин и др.

Для измерения радиального зазора между торцами лопаток вращающегося ротора и корпусом турбины ГТД имеется интеллектуальный модуль измерения зазоров (ИМИЗ), содержащий эндоскоп бокового зрения и регистратор изображения зазора.

Дополнительно предлагается накапливать данные за все время полета в памяти бортовых интеллектуальных пирометрического модуля и модуля измерения зазоров в составе распределенной САУКиД ГТД. Оценка остаточного ресурса РЛ осуществляется САУКиД в реальном времени по совокупности данных прямых измерений модулей, данных встроенных моделей полей температур, напряжений и зазоров, и модели деградации характеристик материала РЛ.

4 Результаты расчетов термонапряженного и деформированного состояний системы ротор-корпус турбины

На рисунке 4 представлены сопоставительные кривые температур элементов по высоте пера лопатки в двумерной (пунктир – 2D) и в трехмерной постановке (сплошные линии – 3D). Линии со звездочками относятся к температуре охлаждающего воздуха, а линии с кружочками – к температуре газа.

Анализ показывает, что при современных очень высоких коэффициентах теплоотдачи со стороны газа и со стороны воздуха можно, на большей части лопатки, пренебрегать тепловыми потоками вдоль ее пера, проводя расчеты температур по двумерной модели. Исключение составляют периферийные участки лопатки, где крышка и борт над крышкой охлаждаются, в основном, теплоотводом в соседние слои в сторону замка и поэтому температурное состояние этих слоев следует рассчитывать по трехмерной модели.

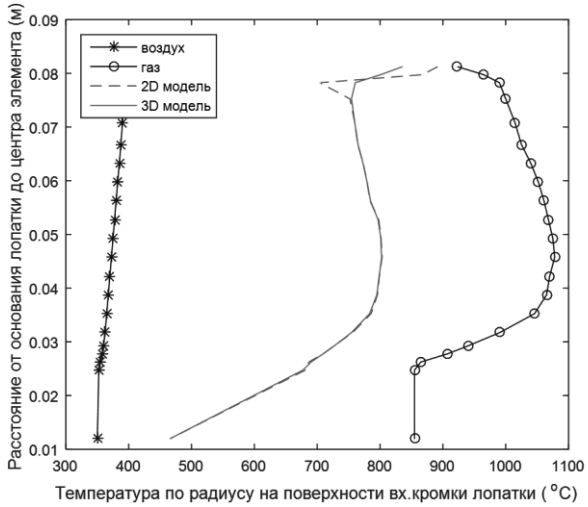


Рисунок 4 –Температура по радиусу на поверхности входной кромки пера лопатки

В качестве примера, ниже представлен график (рис. 5) изменения радиальных параметров ротора с лопатками в целом, а также внутреннего радиуса корпуса и график изменения радиального зазора Δ во времени, полученных по предложенной математической модели деформированного состояния модельной турбины.

На рисунке 5 обозначение 1 - удлинение лопаток ξ_p от центробежных сил; 2 - удлинение лопаток ξ_t от нагрева; 3 – изменение радиуса диска ξ_δ под влиянием радиальных и тангенциальных напряжений от центробежных сил и температур; 4 – суммарное изменение радиуса диска с лопатками (ротора) ξ_Σ в динамике; 5 – изменение внутреннего радиуса элемента корпуса над рабочими лопатками ς; 6 – изменение радиального зазора Δ с отметкой его минимального значения на четвертой секунде после пуска.

Представленная методика расчета позволяет сопоставлять расчетные данные с показанием ИПМ и ИМИЗ в процессе непрерывного мониторинга в полете. Это позволит своевременно информировать пилотов о возможных повреждениях лопаток, обеспечивать безопасность полетов и эксплуатировать авиационную технику по состоянию.

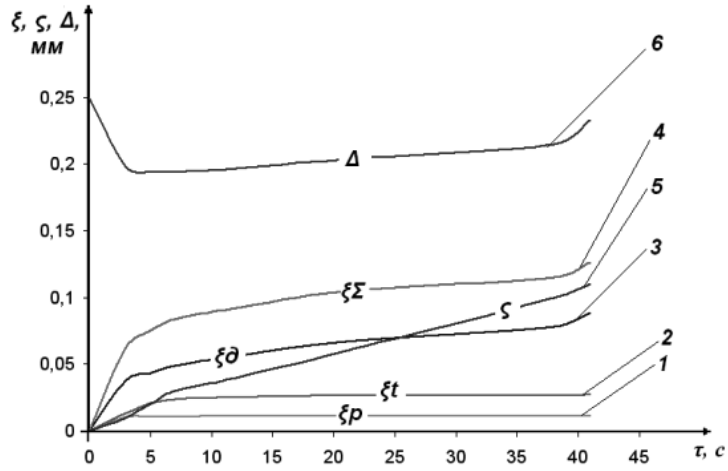


Рисунок 5 – График радиального зазора Δ в динамике от пуска турбины до выхода на расчетный режим работы

Заключение

Предложена концепция мониторинга напряженно-деформированного состояния системы ротор-корпус высоконагруженных турбин авиационных ГТД, включающая модель деградации характеристик материала, поверхностного слоя лопаток и деформаций ротор-корпус для дальнейшего расчета их остаточного ресурса. Определена структура бортовой системы мониторинга.

Список литературы

[1] 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. – 298 с.

[2] Amory, D. C.; Hovan, R. A. Improving Gas Turbine Efficiency using Optical Pyrometry, Turbomachinery International. 2004. pp. 22–24.

[3] Moon, H.K.; Glezer, B.; Mink, B.; Marvin, W.(1995) Development of a Wide Range Temperature Pyrometer for Gas Turbine Application, ASME-Paper No. 95-GT-126.

[4] Crank, J.; Nikolson, P.A practical method for numerical evaluation of solution of partial differential equation of heat-conduction type, Proc. Cambridge Philos. Soc., 1947. Vol. 43, pp. 50–67.

[5] Термическая усталость материалов в условиях неоднородного термонапряженного состояния / Третьяченко Г. Н., Кравчук Л. В., Куриат Р. И. и др. Киев: Наукова думка, 1985. 280 с.

[6] Kulikov, G. G.; Trushin, V. A.; Abdulnagimov, A. I.; Ganeev, A. A. Concept of monitoring for thermostressed state and service life of aircraft gas turbine engine blades. Russian Aeronautics. 2016. Vol. 59, № 1. pp. 77–83.

[7] Трушин В.А., Чечулин А.Ю. Математическая модель расчета радиального зазора между рабочими лопатками и корпусом турбины // Вестник УГАТУ – Уфа, 2012. – Т.16, №2(47) – С. 82-86.

KULIKOV Gennady Grigoryevich, prof. of automated control and management systems department. Dipl. Ing. of automated mechanical engineering (UAI, 1971). Dr. of Tech. Sci. in system analysis, automatic control and heat engines (UAI, 1989). Scientific interests: automatic control systems and control of aircraft power plants.

TRUSHIN Vladimir Alekseevich, prof. of aviation heat and power engineering department. Dipl. Ing. of aviation engines (UAI, 1960). Dr. of Tech. Sci. (UAI, 1985). Scientific interests: modeling and calculation of turbines.

ABDULNAGIMOV Ansaf Irekovich, associate professor of automated control and management systems department. Master of Technics & Technology (USATU, 2007). Dr. of Tech. Sci. in syst. analysis and control (USATU, 2012). Scientific interests: automatic control systems, identification and system safety of aircraft engines.

POGORELOV Grigoriy Ivanovich, Deputy General Director of JSC UNPP "Molniya". Dipl. Ing. of electric machines and devices (UAI, 1977). Dr. of Tech. Sci. on automation and control of technological processes and industries (USATU, 2002). Scientific interests: automatic and automated control and measurement systems.

ИНТЕГРИРОВАННАЯ МОДЕЛЬ ОДНОВИТКОВОГО ВИХРЕТОКОВОГО ДАТЧИКА И КОМПРЕССОРНОЙ ЛОПАТКИ

П.Е. Подлипнов

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт проблем управления сложными системами Российской академии наук
443020, Самара, ул. Садовая, 61, Россия
pepodlypnov@yandex.ru
тел: +7 (846) 333-26-77, факс: +7 (846) 333-27-70

Ключевые слова: *метод конечных элементов, электромагнитное взаимодействие, интегрированная модель, радиальные зазоры, одновитковый вихретоковый датчик.*

Abstract

The integrated model of single-coil eddy current sensor is given. For the first time the model is to consider not only the processes in each sensor's and object's structural elements, but also an interaction between them. Geometrical, electrical and mathematical representations of the model are given too. The prospects of a new modeling system development on the base of this model are denoted. This will enable not only to obtain the sensor's parameters and it conversion function, but also to replace experimental calibration characteristics by the modeling one.

Известны преимущества применения одновитковых вихретоковых датчиков (ОВТД) с чувствительным элементом (ЧЭ) в виде отрезка проводника для измерения многомерных смещений торцов рабочих лопаток относительно статора в компрессоре и турбине газотурбинного двигателя (ГТД) и, в частности, радиальных зазоров (РЗ) [1].

Экстремальные условия газовоздушного тракта и окружающей среды оказывают негативное воздействие на элементы конструкции датчика и изменяют в значительных пределах параметры элементов конструкции объекта, взаимодействующие с датчиком (ЧЭ, токовод (ТВ), объемный виток согласующего трансформатора [1], рабочие лопатки контролируемой ступени). Воздействующие факторы и, прежде всего, температура окружающей среды [1] являются причиной погрешностей, которые возникают на этапе первичного преобразования, пройдут весь тракт преобразования информации и войдут в измеряемый параметр (например, РЗ).

Точность измерений с использованием ОВТД зависит как от формы, геометрических размеров и электрофизических свойств материалов элементов конструкции датчика, так и от характера электромагнитных процессов в элементах датчика и объекта, связанных с изменяющейся во времени и объеме металла интенсивностью вихревых токов.

Исследования влияния воздействующих факторов с учетом электромагнитных процессов в элементах конструкции датчика и объекта возможно только с использованием моделей.

В настоящее время разработаны и опубликован ряд частных моделей, в том числе для исследования электромагнитного взаимодействия (ЭМВ) ЧЭ с лопатками различной формы без учета других элементов конструкции ОВТД [2]. В [3-5] представлена модель ЭМВ ЧЭ с торцом лопатки сложной формы. В приведенных моделях ЧЭ представлен единственным контуром, и влияние вихревых токов в нем не учитываются.

В [6] приведена модель для исследования распределения интенсивности вихревых токов и вектора электромагнитной индукции в пространстве в течение времени измерительного процесса внутри ТВ.

Кроме того, исследований влияния ТВ и державки на функцию преобразования ОВТД не проводились.

В докладе впервые предложена интегрированная модель ОВТД и компрессорной лопатки на основе метода конечных элементов (КЭ). Данная модель учитывает как ЭМП внутри ЧЭ, ТВ, державки и компрессорной лопатки, так и ЭМВ между всеми этими элементами конструкции.

Разработано геометрическое представление, включающее в себя объемные сетки КЭ, рассмотрена проблема сопряжения КЭ ЧЭ с КЭ ТВ и предложен вариант ее решения. Далее осуществлен переход от объемных сеток КЭ к электрической схеме замещения (электрическое представление), на ее основании при помощи законов Био-Савара и электромагнитной индукции составлена система уравнений (математическое представление), разрешаемая относительно токов контуров, из которых могут быть получены эквивалентные параметры ОВТД (индуктивность и сопротивление).

Представленная математическая модель является основой разработки компьютерной системы моделирования, которая позволит исследовать влияние конструктивных и электрофизических параметров элементов конструкции ОВТД, влияние конструктивных и электрофизических параметров элементов конструкции объекта, влияние воздействующих факторов – температуры окружающей среды и газовоздушного тракта ГТД. С учетом полноты модели следует ожидать адекватности моделируемых и экспериментальных градуировочных характеристик. Это позволит в перспективе заменить трудоемкий процесс получения ГХ датчиков в эксперименте на их вычисление системой моделирования.

Список литературы

[1] Методы и средства измерения многомерных перемещений элементов конструкций силовых установок [Текст] / 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] Кутейникова М.М. Модели электромагнитного взаимодействия чувствительных элементов одновитковых вихретоковых датчиков и лопаток [Текст] / Кутейникова М.М., Секисов Ю.Н. // Проблемы управления и моделирования в сложных системах. Труды XIV Международной конференции/ Самара: Из-во СамНЦ РАН, 2012. – с.589 -594.

[3] Кутейникова М.М. Модель электромагнитного взаимодействия чувствительного элемента одновиткового вихретокового датчика с торцом лопатки сложной формы [Текст] / Кутейникова М.М., Секисов Ю.Н., Скобелев О.П. // Проблемы управления и моделирования в сложных системах. Труды XV Международной конференции/ Самара: Из-во СамНЦ РАН, 2013. – с.627-635.

[4] Кутейникова, М.М. Результаты моделирования электромагнитного взаимодействия чувствительных элементов одновитковых вихретоковых датчиков в составе кластера с лопаткой сложной формы [Текст] / М.М. Кутейникова, Ю.Н. Секисов, О.П. Скобелев // Проблемы управления и моделирования в сложных системах: труды XV международной конференции. –Самара: Изд-во СамНЦ РАН. - 2013 с.636-641.

[5] Боровик, С.Ю. Моделирование процесса измерения радиальных и осевых смещений торцов рабочих лопаток сложной формы / С.Ю. Боровик, М.М. Кутейникова, П.Е. Подлипнов, Ю.Н. Секисов, О.П. Скобелев // Автометрия. - 2015. – Т. 51, №5. - с.101-112. : 9 рис. - Библиогр.: с. 111-112 (15 назв.).

[6] Методы и средства повышения эффективности получения информации о многомерных смещениях элементов конструкций в экстремальных условиях для информационно-управляющих систем энергосиловых установок [Текст]: Отчет о НИР (заключительный) / Самара: ИПУСС РАН, 2015. 204 с.

КОНЦЕПТУАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ АВТОМАТИКИ И ТЕЛЕМЕХАНИКИ

Г.А. Черезов[1], А.В. Волынская[2]

[1]Самарский государственный университет путей сообщения
443066, Самара, ул. Свободы, 2В, Россия
grigoriy.cherezov@gmail.com
тел: +7(927)606-68-66

[2]Уральский государственный университет путей сообщения
620034, Екатеринбург, ул. Колмогорова, 66, Россия
anna-volinskaya@mail.ru
тел: +7(922)205-95-92

Ключевые слова: *техническое диагностирование, распознавание образов, машинное обучение, железнодорожная автоматика и телемеханика.*

Abstract
Considers questions of a decision support systems of technical diagnostics, aimed at improving the quality of the functioning object of the railway infrastructure automation and remote control. Proposed a conceptual model systems of technical diagnostics and monitoring using machine learning techniques.

Введение

Железнодорожный транспорт – сложный технический комплекс, составной частью которого является инфраструктура объектов железнодорожной автоматики и телемеханики (ЖАТ). В качестве объектов инфраструктуры выступают устройства и системы обеспечения движения поездов, от надежной и эффективной работы которых зависит пропускная и провозная способность железнодорожных линий и безопасность перевозок. Также к объектам инфраструктуры ЖАТ может быть отнесена служба автоматики и телемеханики и ее подразделения, непосредственно занимающиеся обслуживанием и ремонтом устройств ЖАТ. В общем случае, описанная совокупность может быть представлена в виде сложной системы.

Одним из способов повышения эффективности функционирования сложной системы является внедрение систем технического диагностирования и мониторинга (СТДМ), которые позволяют производить проверку правильности функционирования системы и оценивать контролируемые параметры. В настоящее время на железных дорогах России получили распространения различные СТДМ [1]. Их отличительной особенностью, несмотря на наличие методов автоматизации анализа диагностической информации, является наличие штата технологов-аналитиков, которые на основании своих знаний и опыта проводят диагностирование устройств ЖАТ и выдают рекомендации бригадам, обслуживающим эти устройства.

1 Постановка задачи

Рассмотрим предметную область диагностирования устройств ЖАТ, структурная схема которой показана на рисунке 1.

Выделим часть предметной области, непосредственно относящуюся к диагностированию объектов инфраструктуры ЖАТ (показана пунктиром). Основными ее элементами являются СТДМ, регистрирующие и передающие диагностическую информацию в центры дорожного

мониторинга (ЦМ) и контрольно-измерительные пункты (КИП) дистанций автоматики и телемеханики, в которых осуществляется контроль и наладка аппаратуры устройств ЖАТ.

Рисунок 1 – Структурная схема предметной области

Одним из способов автоматизации обработки диагностической информации в ЦМ в настоящее время является применение логико-временной модели [2], формализуемой на графах, характеризующих состояния индикации мнемосхемы путевого развития в автоматизированном рабочем месте технолога.

В КИПах дистанций автоматики и телемеханики применяется система планово-предупредительных ремонтов. Она предполагает контроль основных параметров устройств с применением «ручных» способов диагностирования, основанных на методе допускового контроля [3], т.е. измерении значений основных параметров ОД оператором и последующего их сравнения с эталонами, указанными в технической документации.

Автоматизация процесса постановки диагноза в СТДМ находится на недостаточно высоком уровне в силу наличия человеческого фактора и отсутствия автоматического определения технического состояния объекта диагностирования (ОД). Следовательно, необходимо разработать систему диагностирования (СД), которая с помощью надстройки может быть внедрена в существующие СТДМ любых типов.

Для этого необходимо разработать концептуальную модель СД, под которой будем понимать абстрактную модель, опирающуюся на рассматриваемую предметную область, определяющую структуру моделируемой системы и связи между ее элементами [4].

2 Описание решения задачи

Существуют два подхода к решению задачи диагностирования – в пространстве параметров и в пространстве сигналов [5, 6]. В СТДМ объектов инфраструктуры ЖАТ применяется первый, при котором определяются текущие значения физических параметров объекта диагностирования (ОД) и происходит сравнение с их номинальными значениями, а

также производится анализ логических ситуаций, под которыми понимается событие, заключающееся в изменении состояний устройств ЖАТ, связанных с их взаимной работой. Второй подход основан на сравнении сигналов с выходов ОД с эталонными сигналами. Этот подход позволяет применить методы машинного обучения для классификации [7] и прогнозирования состояний ОД.

Рассмотрим множества ОД СТДМ $\mathfrak{S} = \{S_i\}_{i=1}^{N}$ и КИП $\mathfrak{K} = \{K_j\}_{j=1}^{M}$, каждый из которых описывается некоторым временным рядом (Рисунок 2, 3).

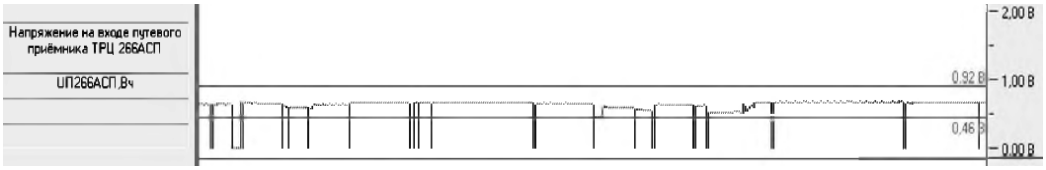


Рисунок 2 – Сигнал с выхода ОД в СТДМ

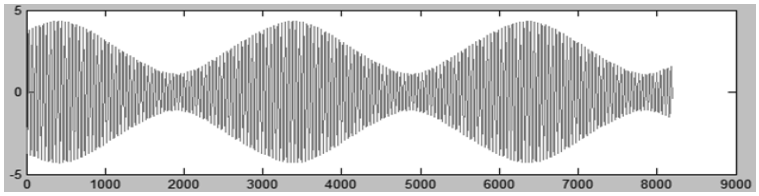


Рисунок 3 – Сигнал с выхода ОД в КИП

Исходя из концепции машинного обучения [8], задачу технического диагностирования можно представить в следующем виде: состояние ОД характеризуется последовательностью измерений некоторой величины $\mathbf{x} = (x_1, \dots, x_n) \in \mathbb{R}^n$ с выходов множества контрольных точек $k = \{1, 2, \dots, K\}$ и описывается множеством $X = \{\mathbf{x}^k = (x_1^k, \dots, x_n^k)\}$; ОД может находиться в одном из состояний (диагнозов), описываемым множеством $D = \{d_1, \dots, d_m\}$. Решение задачи диагностирования заключается в нахождении функции (алгоритма) $a: X \to D$. При этом задача диагностирования разбивается на несколько подзадач:

1) задача классификации (обучение с учителем): $X^L = \{\boldsymbol{x}^i = (x_1^i, \dots, x_n^i)\}_{i=1}^{L}$ – обучающая выборка, L – объем выборки; $D = \{d_1, \dots, d_m\}$ – множество диагнозов.
2) задача кластеризации (обучение без учителя): $\mathrm{X}^l = \{\boldsymbol{x}^i = (x_1^i, \dots, x_n^i)\}_{i=1}^{l}$ – набор объектов; $\rho(x, x')$ – функция расстояния; $X = \bigcup_{j=1}^{k} d_k,\ d_j \subset \{\boldsymbol{x}^i\}, d_i \cap d_j = \emptyset$ – пространство признаков.
3) задача прогнозирования: $X = \{\boldsymbol{x}^i = (x_1^i, \dots, x_n^i)\}_{i=1}^{L}$ – набор измерений; $\{\widehat{\boldsymbol{x}}^i\}_{i=n+1}^{n+q}$, $\{(\boldsymbol{x}_-^i, \boldsymbol{x}_+^i)\}_{i=n+1}^{n+q}$, $\hat{t}\ (t_-, t_+)$ – оцениваемые параметры.

В то же время задача диагностирования объектов ЖАТ – это задача распознавания состояний сложного динамического объекта без точного аналитического описания, функционирование которого представляется стохастическим временным рядом [9] $\{x_k = x(t_k), t_k = k\Delta\}$, где $k, \Delta \in \mathbb{Z}_+$. И, в общем случае, решение подзадач (1) – (3) должно проводиться для временных рядов.

Таким образом, концептуальная модель СД будет иметь вид, представленный на рисунке 4.

Рисунок 4 – Структурно-функциональное представление концептуальной модели СД

Особенностями представленной концептуальной модели являются:

1) СД надстраивается над имеющимися СТДМ.
2) Диагностический модуль осуществляет определение технического состояния функционального элемента системы ЖАТ за счет анализа и прогнозирования временных рядов. А постановка диагноза (определения местонахождения неисправного элемента) осуществляется в КИПе дистанции автоматики и телемеханики.
3) Создается база ОД, в которую заносятся все их описания, а также возникшие неисправности.

После внедрения СД предметная область примет вид (Рисунок 5).

Применение описанного подхода позволит создать СД устройств ЖАТ, которая повысит эффективность эксплуатации, уменьшит время поиска и устранения отказов за счет автоматизации процесса диагностирования.

3 Результаты

В настоящее время ведется разработка подсистемы СД для КИПов дистанций автоматики и телемеханики. ОД является приемо-передающая аппаратура тональных рельсовых цепей.

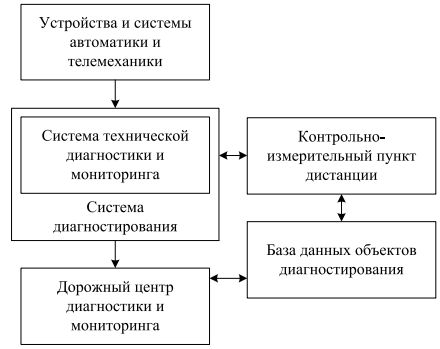


Рисунок 5 – Структурная схема предметной области после внедрения СД

Имеется база данных признаков и диагнозов, полученных экспериментально [10] и решается задача определения неисправного элемента ОД, т.е. задача классификации (1). Известно [11, 12], что для решения задачи классификации возможно использование следующих подходов: создание достаточно сложных самообучаемых классификаторов, например, нейронных сетей или формирование качественного признакового пространства [13, 14] и применения простейших алгоритмов классификации, например НСКО.

При построении признакового пространства используются коэффициенты дискретного преобразования Фурье $\{X_k\}_{k=0}^{N-1}$ и детализирующие коэффициенты вейвлет преобразования $\{cD_j\}_{j=1}^{M}$ [15]. Для подтверждения их диагностической значимости используются статистические (Таблица 1) и стохастические характеристики (Таблица 2). Последние вычисляются с помощью программы Fractan 4.4, разработанной в Лаборатории обработки данных Института математических проблем биологии РАН (г. Пущино Московской области) В.В. Сычевым.

Таблица 1 – Статистические характеристики коэффициентов Фурье

Сигналы	Коэффициенты Фурье
	Среднеквадратическое отклонение
Нормальная работа всех элементов ОД	0,0183
Неисправность транзистора VT3	0,0581

Таблица 2 – Стохастические характеристики вейвлет-коэффициентов

Сигналы	Показатель Херста	Фрактальная размерность	Корреляционная размерность	Размерность фазового пространства
Короткое замыкание конденсатора C2	0,2671	1,7329	3,830	4
Обрыв конденсатора C3	0,4603	1,5397	5,357	7

При использовании НСКО-алгоритма и признакового пространства, построенного из коэффициентов Фурье преобразования, получаем качество бинарной классификации ~ 97%. Однако при увеличении числа классов это признаковое пространство становится неприменимо ввиду появления нестационарных сигналов, характеризующих неисправности транзисторов.

Пространство, построенное из детализирующих вейвлет-коэффициентов, при применении НСКО-алгоритма дает качество классификации ~ 95%.

Заключение

В работе предложена концептуальная модель СД, техническая реализация которой позволит произвести ее внедрение в существующие системы СТДМ ЖАТ, что, в свою очередь. повысит эффективность диагностирования. Особенность концептуальной модели состоит в применении методов машинного обучения к решению задачи технического диагностирования. Это позволяет производить постановку диагноза без использования диагностических моделей и при отсутствии точного аналитического описания функционирования ОД.

Дальнейшее развитие работы состоит в технической реализации предложенной концептуальной модели в КИПах дистанций автоматики и телемеханики, повышении качества диагностирования за счет применения различных линейных алгоритмов, построении более качественного признакового пространства за счет подбора материнских вейвлетов, а также в разработке концепции и методологии прогнозирования технического состояния ОД.

Список литературы

[1] Ефанов Д.В., Лыков А.А. Основы построения и принципы функционирования систем технического диагностирования и мониторинга устройств железнодорожной автоматики и телемеханики. – СПб.: ПГУПС, 2012. – 59 с.

[2] Ефанов Д. В. О методе выявления логических ситуаций в системах технической диагностики и мониторинга устройств железнодорожной автоматики и телемеханики // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. 2010. – № 4. – С. 66–71.

[3] Черезов Г.А. Разработка и исследование тестового метода диагностирования аппаратуры тональных рельсовых цепей: дисс. … канд. техн. наук: 05.22.08: защищена 10.09.14: утв.: 08.12.14. – М., 2014. – 134 с.

[4] Введение в математическое моделирование: Учеб. пособие / Под ред. П.В. Трусова. – М.: Университетская книга, Логос, 2007. – 440 с.

[5] Мироновский Л.А. Функциональное диагностирование динамических систем. – М.-СПб.: МГУ-ГРИФ, 1998. – 256 с.

[6] Жирабок А.Н. Диагностические наблюдатели и соотношения паритета: сравнительный анализ // Автоматика и телемеханика. 2012. – № 5. – С. 141-160.

[7] Черезов Г.А., Кацюба О.А., Леушин В.Б. К вопросу распознавания образов при диагностировании аппаратуры ТРЦ // Материалы I Междунар. науч.-прак. конф. Инновации в системах обеспечения движения поездов. – Самара: СамГУПС, 2016. – С. 30-31.

[8] Журавлёв Ю.И., Рязанов В.В., Сенько О.В. Распознавание. Математические методы. Программная система. Практические применения. – М.: Изд. «Фазис», 2006. – 176 с.

[9] Бокс Дж., Дженкинс Г. Анализ временных рядов. Прогноз и управление. – М.: Мир, 1971. Вып. 1. – 403 с.

[10] Черезов Г.А., Леушин В.Б., Велижанский А.С. Физическое моделирование неисправностей в путевом приемнике тональной рельсовой цепи // Вестник транспорта Поволжья. 2013. – № 6. – С. 20-24.

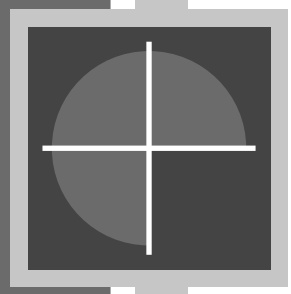
[11] Карасиков М.Е., Стрижов В.В. Классификация временных рядов в пространстве параметров порождающих моделей // Информатика и ее применение. 2016. – Т.10. – № 4. – С. 121-131.

[12] Воронцов К.В. Лекции по метрическим алгоритмам классификации. URL: http://machinelearning.ru/wiki/images/9/9d/Voron-ML-Metric.pdf (дата обращения 15.04.2017).

[13] Власова Ю.В. Применение генетических алгоритмов в задаче классификации сигналов (приложение в ВСI) // Сборник тезисов XVI международной научной конференции Ломоносов. – М.: МАКС Пресс, 2009. – С. 17.

[14] Черезов Г.А., Леушин В.Б. Способы построения качественного признакового пространства при классификации состояний аппаратуры тональных рельсовых цепей // Материалы междунар. науч.-техн. конф. Инновационный транспорт – 2016: специализация железных дорог. – Екатеринбург, 2016. – С. 185-190.

[15] Morchen, F. Time series feature extraction for data mining using dwt and dft. – Unpubl, 2003.



Operational Information Systems in Climate-Optimised Plant-Growing, Resources and Plants Monitoring

Информационно-управляющие системы в климатически оптимизированном растениеводстве, мониторинг ресурсов и посевов

POULTRY FARMING IN AFRICA

Arie Bijl
The Netherlands
Stadhouderlaan 105
8016 KA Zwolle
E-mail: bijl0512@planet.nl

Abstract
В статье описываются преимущества птицеводства в Африке, а также сложности, с которыми оно сопряжено. В качестве примера рассмотрены страны Сьерра-Леоне и Замбия.

Introduction

Africa is a fast growing continent. Not only the population is growing fast, but also the economy in many countries of Africa is developing considerably. That means that many inhabitants of these countries are looking for a more expensive food package. Animal protein is in increasing demand and poultry offers cost efficient products to meet that demand.

The development of the production however meets different challenges. The challenges are not the same in each country of the African continent. Without being complete, in this article, the experiences of two countries are given: Sierra Leone and Zambia.

1 General

Africa's countries are rapidly growing. A side effect of this is that the countries encounter rapid urbanisation. A large part of the population therefore has to be supplied with food from rural producers. Both medium and large scale producers and small scale producers are increasing in numbers. Small scale producers are facing challenges like low technological development and high cost price. Medium and large scale producers face logistical, disease and market risks.

When elaborating on the poultry sectors of the different countries, only the production of modern poultry breeds is commented; apart from that, also a not quantified production of "village chicken" takes place. This undefined, self propagating population of indiginous poultry is a source of animal protein for the rural people in the different countries.

2 Sierra Leone

Sierra Leone is a small country in west Africa. The surface is a bit less than 80.000 km2 and the population is approx. 6 million. In the past decades, the country had a civil war and more recently it was hit by the Ebola epidemic [1].

The poultry sector of the country is emergent. The number of professional farms is less than 60 and the farm size is mostly between en 2.000 and 10.000. A few farms have more, but never more than 50.000. The total poultry population is approx. 200.000 commercial layer hens and approx. 50.000 broilers.

Because of the small size of the sector, the supply sector is also little developed. No veterinary laboratory for even simple tests exists and no reasonably modern feed factory can supply the farmers with good poultry feed. Farmers use a lot of drugs to prevent diseases and buy feed concentrates that they mix with locally purchased ingredients. This all results in a high cost price of eggs and meat.

Approximately ⅔ of the eggs consumed in Sierra Leone are imported. This gives an important market gap to increase local production. However the producers must achieve a lower cost price in order to complete with the imports.

3 Zambia

This country is located in the south part of Africa. It measures approx. 750.000 km2 and has a population of 15,5 million. The country became an independent state in 1964 and has been politically stable since. Economically the country verg much depends on the mining industry of especially copper; because of serious price drops of copper, the country has faced some economical crises in the past decades [2].

The agricultural sector in Zambia is quite developed especially because of the presence European investors. The poultry sector also increased considerably during the past decades and is estimated at a production of 73 million broilers and 1 billion eggs annually. There is even some export to neighbouring countries like Zaire.

The poultry sector in Zambia however faces issues like inefficient production and market price drops.

References

[1] Various interviews in connection with the project “Sierra Leone Opportunities for Business Action” implemented by Adam Smith International; London.

[2] Market study of poultry sector of Zambia; Agriprofocus, Netherlands

СОВРЕМЕННЫЕ РЕШЕНИЯ В УПРАВЛЕНИИ ЭФФЕКТИВНОСТЬЮ В РАСТЕНИЕВОДСТВЕ

В.В. Ерёменко

АО «БДО Юникон АП»
Группа БДО Юникон
Россия, Москва, 123317,
Пресненская набережная, 10, Блок «Б»
Тел.: +7 495 797 5665
Факс: +7 495 797 5660
reception@bdo.ru

Ключевые слова: *точное земледелие, индустрия 4.0, цифровое сельское хозяйство, новое растениеводство, эффективное землепользование*

Abstract

Automating processes in agro-industrial holdings, namely when we talk about effective crop production, first of all we transform the processes, and then we introduce the automation elements that are the best way to solve business challenge. In other words, together with the implementation of the project, we must build our ecosystem in the agro-industrial complex in such a way that all market players can get the maximum effect from interaction, new solutions with a production culture, preserving fertile land for quality harvest and descendants.

Введение

Огромные ресурсы земель сельскохозяйственного назначения в силу ряда причин не всегда используются эффективно, и, как следствие, приводит к увеличению себестоимости продукции и уменьшению товарооборота предприятий.

Растениеводство – это сложный производственный процесс, где доля влияния человека намного меньше возможностей природы. Эффективное растениеводство требует большое количество оперативных данных. Комбинация собранных данных при математической обработке и многофакторном анализе дают совершенно другие представления о применяемых методах на земле и экономической эффективности.

Индустрия 4.0 в АПК

Прежде чем приступить к проекту внедрения технологий интернета вещей в агропромышленном комплексе, мы должны для начала одинаково понимать простые и понятные процессы, которые всегда существовали в сельскохозяйственной экосистеме, такие как смена сезонов, температура, осадки, плодородная земля и семена с технологией выращивания. Все эти факторы всегда работают вместе и будут работать вместе с Индустрией 4.0. Отвечая на вопрос, что влияет на будущий урожай, то 70% - это будет внешняя среда, а всего 30% - антропогенные факторы, т.е. наши с вами технологии, которые мы получили от предыдущей технологической революции. Здесь и новые гибриды культур, производительные агрегаты с технологиями точного земледелия, средства защиты растений, и удобрения. С одной стороны, 30% не так много, но мы должны понимать, что этого достаточно, чтобы постоянно влиять на внешнюю среду.

По большей степени, нельзя упускать и тот факт, что к 2050 году мы ожидаем удвоение населения на планете, а пригодные и плодородные земли в мире сокращаются из-за антропо-

генного вмешательства. Только представьте, на одного человека будет приходиться не более 10 соток. Российской Федерации отведена роль мировой кормилице, как самой большой стране в мире, с самым большим банком плодородных земель, что было отмечено многими экспертами. Во всем мире одинаково существуют открытые вопросы медленного восстановления баланса питательных веществ, чрезмерного закисления или выщелачивания плодородных земель. Высокая гербицидная нагрузка, как и отсутствие сберегающих почву методик в технологии выращивания, безусловно, влияет и на качество получаемого урожая и требует управления.

Вместе с задачами проекта Индустрии 4.0 в АПК, мы с вами, прежде всего, должны сохранить плодородие земли для будущих поколений с целью его эффективного использования. Растениеводство является основополагающим направлением в АПК. Один человек, работающий в поле, дает работу еще 6-ти, такой как в перерабатывающей, химической промышленности, машиностроении и др. Говоря об экосистеме, мы подразумеваем всех, кто участвует в производстве на поле. Везде, где возделывается земля, мы найдем и агронома, семеновода, производителей средств защиты удобрений, семян, техники. Вместе с технологиями нужны и гарантии со стороны всех участников рынка, чтобы необходимые средства для производства будут крестьянину вовремя предоставлены, а произведенная продукция востребована за прогнозируемую цену.

На практике, при автоматизации процессов в агропромышленных холдингах, а именно когда мы говорим об эффективном растениеводстве, в первую очередь мы трансформируем процессы, а затем думаем об элементах автоматизации, которые наилучшим способом подходят для решения бизнес - задач.

Современный проект трансформации растениеводства рассматривается на примере пилотного внедрения на 50 тыс. га., что позволит глубоко проанализировать процессы в целевых производственных отделениях, для этого потребуется не менее трёх площадок предприятия. Глубокий анализ процессов позволит создать новую целевую модель бизнеса в растениеводстве, с гибкими сценариями, которая будет основополагающей.

Основные результаты:

- контроль процессов вегетации с/х культур;
- контроль качества проведения мероприятий;
- контроль исполнения по трекам техники и датчикам;
- документооборот производственного процесса;
- контроль урожайности.

Управленческая отчетность и контроль:

- контроль исполнения технологических операций;
- формирование управленческой отчетности;
- формирование бюджетов, на основе полученных данных.

Экономический эффект на 50 тыс. га, за каждый год использования, по самому пессимистичному сценарию представлен ниже (табл. 1).

В таблице перечислены минимальные подтвержденные экономические эффекты от интеграции различных производственных данных в растениеводстве. Представленные показатели растут в геометрической прогрессии, в случае их накопления, дальнейшей математической обработке, многофакторном анализе при планировании и прогнозировании в процессе корректировки оперативного выполнения производственных мероприятий.

Таблица 1. Экономический эффект на 50 тыс. га

Этап	Влияние фактора	Экономический эффект
Контроль процессов вегетации с/х культур	До 5% от потенциала урожая	от 7,5 млн.руб
Контроль качества проведения мероприятий	От 1% потенциала урожая	от 8 млн.руб (по зерновым культурам)
Контроль исполнения по трекам техники и датчикам	От 2% от затрат ГСМ за счет контроля и пресечения нецелевого использования техники	от 1 млн. руб
Контроль урожайности сахарной свеклы	От 1% от продуктивности поля	от 19 млн.руб
Контроль исполнения технологических операций	от 1% от потенциала урожая	от 1,5 млн.руб
Итого:		от 37 млн.руб

Заключение

Трансформация растениеводства требует полной интеграции всех участников процесса производства, что влияет и на экономическую эффективность бизнеса каждого игрока в лучшую сторону. Бизнес становиться прогнозируемым, исчезают многие риски. Невольно возникает мысль, в случае, если исчезнет открытая конкуренция, что тогда будет с качеством и новыми продуктами и технологиями. Повышая прозрачность производства, мы тем самым открываем безграничные возможности беспрепятственного экспорта, развиваются функции регулирования и научное развитие.

Благодарности

Выражаем благодарность компании «АНТ» (https://ant.services), г. Краснодар, Денису Усанову, за поддержку и возможность накапливать уникальный опыт в нашей совместной проектной работе.

ИННОВАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ

И.С. Козубенко[1], А.В. Алжеев[2], О.А. Моторин[3]

[1]Директор Департамента управления и развития информационных ресурсов АПК Минсельхоза России

[2]Главный специалист ФГБУ «Спеццентручет в АПК»

[3]Доцент кафедры управления РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, к.полит.н.

Ключевые слова: *аналитический центр, точное земледелие, эффективный гектар, Минсельхоз России, инновационные системы, сельское хозяйство, агропромышленный комплекс, экспорт пшеницы*

Abstract

The article considers approaches aimed at the introduction of innovative approaches in the field of agricultural management. The importance of issues of reducing the production cost of agricultural products with the help of new information technologies, including those based on the technologies of "precise" farming, is being actualized. The research directions of the Analytical Center of the Ministry of Agriculture of the Russian Federation on digitalization of the management of the agro-industrial complex are described.

Вопросы инновационного развития системы управления сельским хозяйством нашли отражение в указе Президента Российской Федерации от 21 июля 2016 года № 350 «О мерах по реализации государственной научно-технической политики в интересах развития сельского хозяйства» и указе «О стратегии развития информационного общества в Российской Федерации на 2017-2030 годы».

В свете этих решений Минсельхоз России может выполнить функцию «зонтика» для продвижения новейших IT-инструментов в сфере сельского хозяйства. Укажем на некоторые условия, которые должны быть созданы по этому направлению в рамках реализации деятельности министерства, среди них в частности:

- проведение научно-обоснованной инвестиционной политики;
- мониторинг и контроль региональной инновационной и инвестиционной деятельность регионов;
- проведение работ по популяризации и продвижению новых технологий в сфере сельского хозяйства в среде товаропроизводителей и переработчиков сельскохозяйственной продукции («точное земледелие», «интернет вещей» и т.д.);
- разработка и использование концепции эффективности управления земельными ресурсами Российской федерации («эффективный гектар»).

В настоящее время Система государственного информационного обеспечения Минсельхоза России представляет собой совокупность информации содержащейся в более 10 информационных системах. Схожие системы функционируют и на региональном уровне. Их функциональными задачами является сбор и обработка отраслевой информации АПК, ее агрегация для подготовки сводных отчетов и управленческих решений, необходимых при разработке государственной инновационной, инвестиционной и информационно-технологической политики.

В аналитические подсистемы Минсельхоза России сейчас подключено более 10 тысяч показателей из ведомственных информационных систем, ресурсов Росстата, ФТС России и

Росреестра, открытых данных Организации объединенных наций и Всемирной торговой организации. По мере наполнения цифрового хранилища данными из источников, пользователи информационных систем будут получать более точные сведения (рис.1).

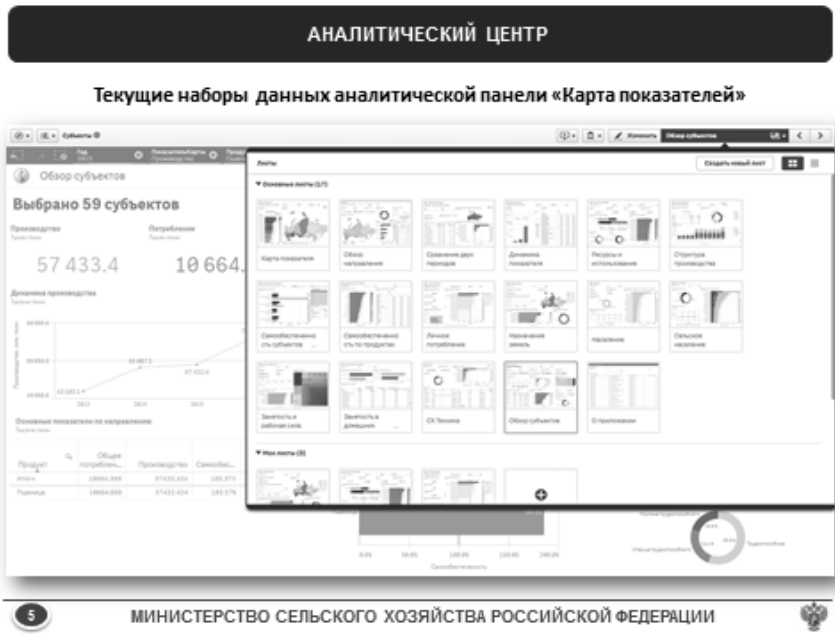


Рисунок 1- Аналитические панели «Карты показателей»

Данные по многим показателям имеют значительные расхождения, вызванные использованием различных методик сбора данных, их классификации и анализа, особенностями ведомственных и территориальных методик учета. В частности, по площадям сельскохозяйственных угодий из земель сельскохозяйственного назначения учитываемые их площади по разному отражаются в отчетности Росреестра, Росстата, Рослесхоза, органов управления АПК субъектов Российской Федерации [1]. Подобные разночтения при мониторинге земель сельскохозяйственного назначения препятствуют выработке эффективного государственной политики по поддержке сельхозтоваропроизводителей и эффективному использованию имеющихся земельных ресурсов в стране [4].

Решение этой проблемы в условиях ограниченных финансовых ресурсов возможно с помощью цифровизации процессов сбора, обработки и анализа данных по показателям, в том числе с помошью интерактивных сервисов для сельхозтоваропроизводителей. Необходимо снабдить хозяйства и разработчиков информационных технологий максимально широким набором данных (рис. 2) по развитию сельского хозяйства в конкретном регионе и на уровне страны для улучшения предсказуемости производства сельскохозяйственной продукции и прогнозируемости формирования денежных потоков.

И в свою очередь, необходимо иметь возможность получить от хозяйств обратную связь в виде данных, которые подскажут Министерству приоритетные интересы и направления развития отраслей сельского хозяйства. Таким образом, меры Минсельхоза России по продвижению и помощи сельхозтоваропроизводителям в части новейших эффективных ИТ-инструментов могут оказаться полезными и самому Министерству и впоследствии принесут повторную пользу хозяйствам в виде более надежных данных.

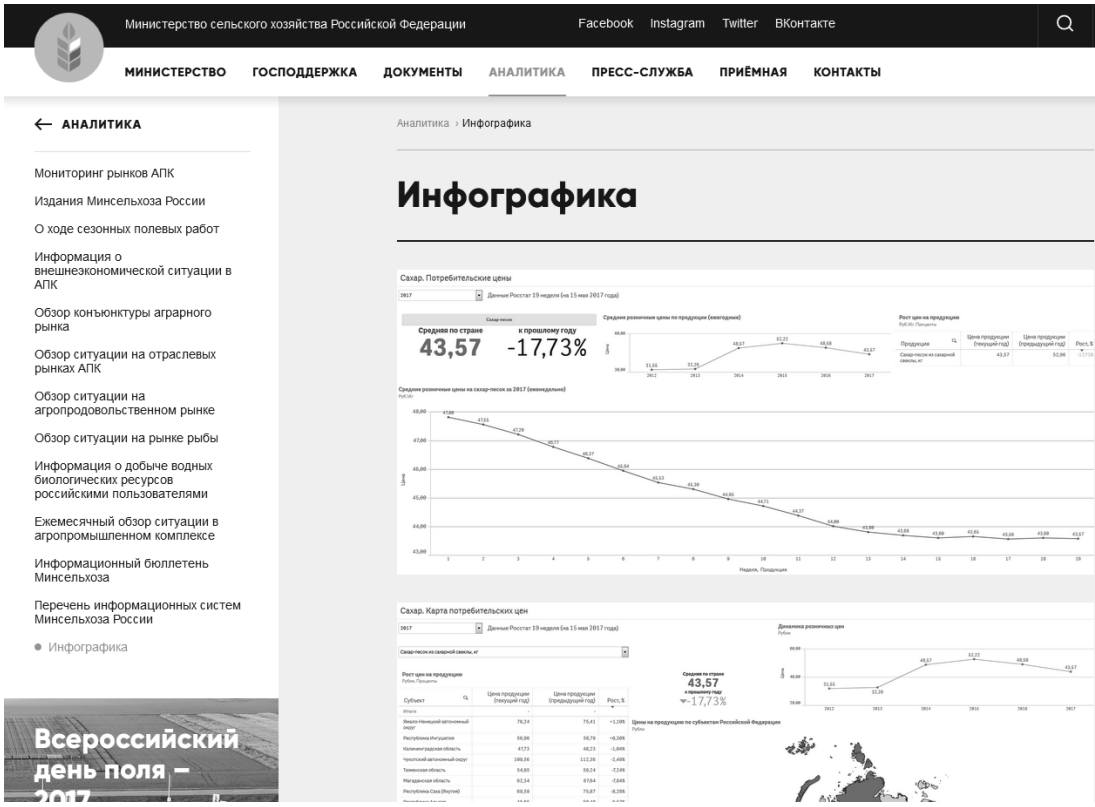


Рисунок 2 – Ценовой мониторинг по направлению «Сахар»

Разумеется, встает вопрос о том, как интегрально оценить эффективность и выгодность тех или иных информационных технологий для хозяйств, за продвижение которых ратует Министерство. Здесь возможны различные решения, однако опыт внедрения многочисленных разработок на предприятиях свидетельствует, что приоритетной категорией выступает понятие производственной себестоимости.

С нашей точки зрения, именно в тренде снижения себестоимости должны быть реализованы направления поиска и продвижения технологий. Применительно к этой категории ИТ-инструменты наглядно и наиболее очевидно показывают свою применимость, воздействуя на повышение производительности труда, сельхозтехники и оборудования, продуктивность угодий и поголовья, сокращение избыточных технологических операций, минимизируя риски, связанные с «человеческим» фактором.

Важнейшим составным элементом цифровизации АПК, методологическим элементом, может стать понятие «эффективный гектар», позволяющий построить рейтинги эффективности использования земельных ресурсов на уровне отдельного производителя сельскохозяйственной продукции. «Эффективный гектар» дает нам возможность количественно оценить качество управления земельными ресурсами. Вопрос реализации «эффективного гектара» является, пожалуй, специальной темой для рассмотрения, чему будет посвящена отдельная публикация.

Минсельхоз России совместно с институтами развития и другими органами власти активно участвует в разработке «дорожной карты», предусматривающей развитие технологии «интернета вещей», без которых невозможно развитие «точного» земледелия.

Для решения инновационных задач Минсельхозом России был создан Аналитический центр [2]. 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 Российской Федерации и сельхозтоваропроизводителей.

Аналитический центр Минсельхоза России совместно с профильными департаментами в настоящее время проводит работы по формированию аналитических срезов, позволяющих визуализировать себестоимость производства сельскохозяйственных культур в разрезе по регионам, сортам, видам хозяйств, видам затрат и другим аналитическим признакам (рис. 3).

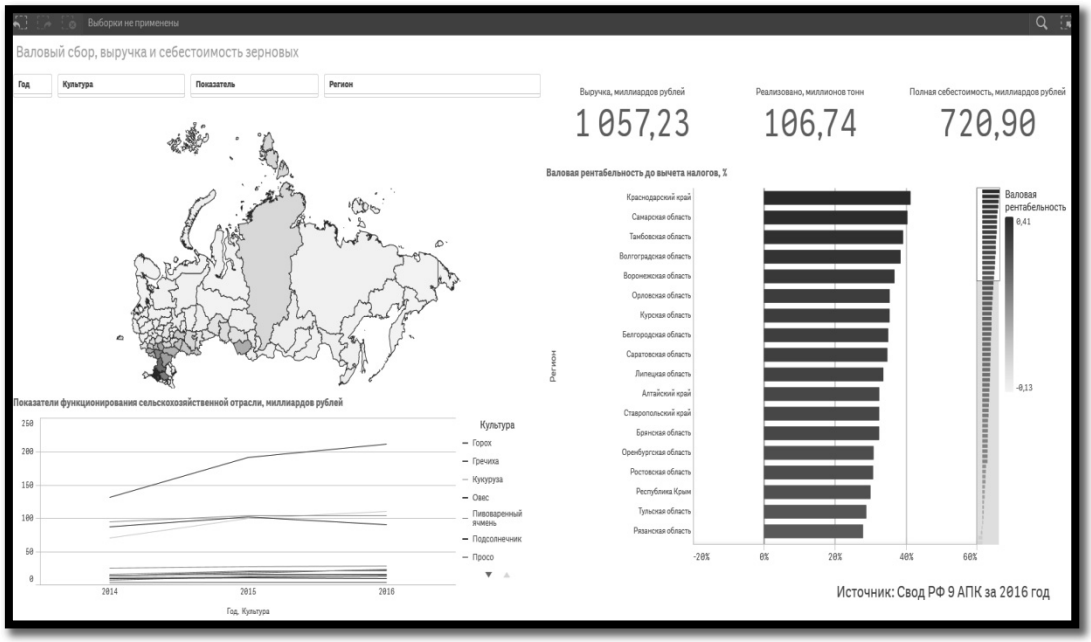


Рисунок 3 - Визуализация себестоимости производства сельскохозяйственных культур в разрезе по регионам

В настоящее время ведется работа по созданию аналитических инструментов, обеспечивающих подготовку управленческих решений Минсельхоза России. В качестве экономико-математического инструментария анализа, в рамках Аналитического центра Минсельхоза России апробируется модель поиска рынков экспорта для российской пшеницы, в том числе модели оптимизации валовой прибыли от ее экспорта. Модель использует данные как отечественной, так и зарубежной статистики [3]. В результате работы модели получены объемы, которые Россия могла бы поставить каждому импортеру с наибольшей выгодой (рис. 4).

Кроме того, разрабатывается модель, использующая алгоритм долгосрочной оптимизации севооборота с учетом агрономических ограничений. Моделируются процесс и результаты севооборота на 12 лет с учетом рыночного спроса на культуры, истории полей, риск-ориентированности и технических возможностей предприятия. Применение модели позволит увеличить валовую прибыль предприятий от 5 до 25%.

В целом, в 2017 году ведущей задачей при развитии аналитических подсистем Минсельхоза России является создание условий для возможности анализа деятельности всех субъектов агропромышленного комплекса страны, с детализацией до уровня хозяйств и, по мере возможностей, каждого поля.

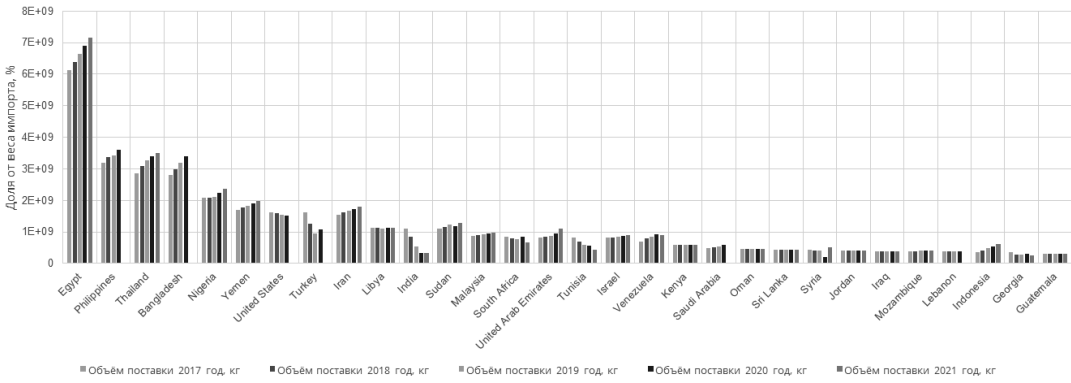


Рисунок 4 - Объемы поставок по предлагаемым импортерам российского зерна

Минсельхоз России всегда поддерживал, и будет поддерживать инновационные технологии, позволяющие повысить конкурентоспособность АПК России и нарастить задел для ускоренного проникновения российских сельхозтоваропроизводителей на мировые агропродовольственные рынки.

Список литературы

[1] Доклад о состоянии и использовании земель сельскохозяйственного назначения в Российской Федерации в 2013 году. – М.: «Росинформагротех», 2014.-219 с., Козубенко И.С.

[2] Информационный бюллетень Министерства сельского хозяйства Российской Федерации. – М.: «Росинформагротех», № 4, 2017.-64 с., Козубенко И.С., К.А. Буланов, «Информационные системы в АПК», с.30.

[3] World Trade Organization Database [Electronic resource] – URL: http://stat.wto.org (дата обращения: 21.04.2017).

[4] Моторин О.А. Мониторинг сельскохозяйственных земель в развитии аграрной политики и управления земельным фондом России // Управление рисками в АПК. 2015. № 2. С. 40-56. URL: http://www.agrorisk.ru/motorin1 (дата обращения: 23.04.2017).

РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩЕЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ КЛИМАТИЧЕСКИ-ОПТИМИЗИРОВАННОГО СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА НА ПРИНЦИПАХ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ И ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ

Л.В. Орлова[1], В.А. Виттих[2], С.Ю. Боровик[2], П.О. Скобелев[2], Д.С. Будаев[3] А.Н. Мочалкин[3]

[1]Общество с ограниченной ответственностью «Орловка» – агро-инновационный центр»
446472, Самарская область, Похвистневский район, с. Старый Аманак, ул. Центральная, 42Е, Россия
тел: + 7 (846) 333 70 31

[2]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

[3]ООО «НПК «Сетецентрические Платформы»
443013, Самара, ул. Московское шоссе, 17, оф. 2203, Россия
info@network-centric.ru
тел: + 7 (846) 279-37-74

Ключевые слова: *мультиагентные технологии, агенты, планирование, климатически-оптимизированное производство, агротехнологии*

Abstract
The basic functionality of the information-control system for climate-optimized agricultural production based on the principles of ecological and economic efficiency described. The methods and means that provide an increase in the volume and quality of the crop, along with optimization of the spent financial resources described.

Введение

Внедрение в практику сельскохозяйственного производства ресурсосберегающих систем, разработанных на основе инновационных интеллектуальных информационных технологий, способствует выходу отрасли на качественно новый технологический уровень производства, позволяющий отечественным сельхозпроизводителям эффективно конкурировать с иностранными предприятиями (при определённых изменениях в политике государства, поддерживающих сельское хозяйство).

Необходимо учитывать, что в последние десятилетия усилилась зависимость сельхозпроизводства от климатических условий. Две трети сельскохозяйственных регионов страны (в том числе, Поволжье, Зауралье, Нечерноземье) находятся в зоне рискованного земледелия и каждый год страдают от засух. Ежегодные потери от засух составляют от 10 до 100 миллиардов рублей.

Кроме того, многолетнее использование устаревших агротехнологий в сельхозпроизводстве привело к ряду негативных последствий, среди которых следует отметить:

- разрушение плодородия почв: по данным Минсельхоза России плодородие почв за последние десятилетия упало почти вдвое;
- механическое переуплотнение почв: более 80% сельхозугодий переуплотнено, что приводит к ежегодной потере более 30 миллионов тонн сельхозпродукции и доходов сельхозпроизводителей;

- росту эрозии и деградации земель: эродированные земли уже достигли 60% от площади всех сельскохозяйственных угодий, и эта площадь ежегодно увеличивается на 500 тысяч гектар.

Повышение цен на новые модели техники и оборудования, новейшие средства защиты растений, удобрения тормозят развитие сельхозпроизводства, приводят к нарушениям технологии. Ситуация усугубляется недостатком знаний у аграрных специалистов, отсутствием научно-обоснованных рекомендаций к практическому применению новых эффективных агротехнологий в конкретных почвенно-климатических условиях.

В итоге, мы получаем комплексную проблему низкой эффективности сельхозпроизводства, о чем свидетельствуют статистические данные: низкая производительность труда (отставание производительности России от США около 340-440%), отставание по урожайности основных сельхозкультур (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 около 40 миллиарда рублей в год в денежном эквиваленте), падение рентабельности производства (что особо характерно для регионов рискованного земледелия).

В этой связи актуальной и значимой задачей является повышение рентабельности сельского хозяйства за счет построения климатически оптимизированного, экономически и экологически эффективного сельхозпроизводства. Решение такой задачи в принципе невозможно без разработки новых эффективных механизмов управления сельхозпроизводством на основе передовых управленческих[1] и информационных технологий, включая создание инновационной информационно-управляющей системы, как инструмента для поддержки принятия решений по управлению бизнесом в указанной предметной области.

В общем случае процессы управления в климатически ориентированном сельхозпроизводстве могут быть классифицированы на две категории:

- процессы управления, ориентированные на урегулирование штатных ситуаций, которые могут быть описаны априори, до их появления в текущей сельскохозяйственной практике, равно как и механизмы урегулирования ситуаций, разработанные ранее на основе имеющихся знаний и опыта;
- процессы управления, ориентированные на урегулирование проблемных ситуаций, которые отличаются тем, что людьми осознаётся неудовлетворительное положение дел, но им ещё не ясно, что нужно делать для его изменения, при этом объект управления не задан априори, а формируется в сознании людей, причастных к ситуации и мотивированных к необходимости её совместного урегулирования.

Подходы к организации процессов управления в штатных и проблемных ситуациях принципиально различаются между собой. Управление штатными ситуациями базируется на классической науке об управлении (management science), постулирующей объективность процессов управления и отделяющей субъекта от объекта управления. В такой постановке вопроса главное - обеспечить регулярный сбор информации (мониторинг) о состоянии управляемого объекта и передать её лицам, принимающим решения, которые должны своевременно выработать управляющие воздействия.

Иное дело - урегулирование проблемной ситуации, когда акторы – активные деятели из повседневной жизни, осознавшие неудовлетворительное положение дел и самоорганизовавшиеся в ассоциацию, начинают совместно заниматься поисками ответов на вопросы «зачем?» и «что нужно делать?», по необходимости взаимодействуя с менеджерами из корпораций и чиновниками из органов власти, которые должны сказать «как» и «за счёт каких ресурсов» это надо делать. В самом общем виде задача состоит в преобразовании общественных «ресурсов»,

[1]Г. Эмерсон считал, что основной причиной, по которой расточаются природные богатства и человеческие возможности, является неправильная организация [1].

которыми располагает «мир систем» (мир чиновников и менеджеров), в «блага» для повседневного жизненного мира, чьи интересы и отстаивают акторы [2].

При этом обеспечение поддержки принятия управленческих решений остаётся актуальным как при организации процессов управления в штатных ситуациях, так и при урегулировании проблемных ситуаций. Существующие в настоящее время отечественные и зарубежные системы, ориентированные на поддержку принятия решений при управлении сельскохозяйственным предприятием (Farmer Edge Canada (https://www.farmersedge.ca/precision-solutions/), ANT Russia (https://ant.services/-lang/), Geosys USA (http://www.geosys.com/services/), PrecisionHawk USA (http://www.precisionhawk.com/), ExactFarming Russia (https://www.exactfarming.com/en/ about), Cropio (https://about.cropio.com/), Zoner Germany (https://zoner.bayer.com/), SAP Digital Farming (//blogs.sap.com/2015/06/12/farming-drones-and-interstellar/) и др.) решают, в основном, задачи информационного обеспечения и реализуют учетные функции лишь применительно к штатным ситуациям. Вопросы же поддержки принятия решений при урегулировании проблемных ситуаций, коммуникации акторов, остаются открытыми.

В статье предлагается подход к построению информационно-управляющей системы для поддержки принятия решений при управлении климатически оптимизированным сельскохозяйственным производством, основным назначением которой является не столько автоматизация учета факта затраченных ресурсов или работ, как автоматизация наиболее сложных и часто «сокровенных» мыслительных процессов накопления и систематизации знаний в предметной области, распределения, планирования и оптимизации ресурсов, а также поддержка принятия управленческих решений на этой основе, включая обеспечение коммуникации между участниками этого процесса (т.е. «интеллектуализация» управления). Очевидно, что реализация такой системы поддержки принятия решений в сельхозпроизводстве потребует объединения передовых разработок в области сберегающего земледелия, управления и информационных технологий, при этом ее применение привнесет новую культуру в управление сельскохозяйственным предприятием, обеспечит интеграцию управления производством и социальной сферой, максимально дисциплинирует сотрудников, уменьшит сложность и трудоемкость управления, а в итоге существенно повысит его эффективность и обеспечит достижение высоких показателей климатически оптимизированного сельскохозяйственного производства.

1 Функциональное назначение системы

Разрабатываемая система носит инновационный, комплексный и интеграционный характер, объединяя передовые научные и технологические разработки в области растениеводства (прямой посев, дифференцированное внесение удобрений, технологии оптимизации применения средств защиты растений (СЗР) и удобрений, контролируемый проезд техники, эффективная уборочная и послеуборочная логистика и т.д.) в принципиально новой автоматизированной системе управления сельхозпроизводством, реализуемой с применением последних достижений в области информационных технологий и может рассматриваться как база для последующего комплексного предоставления услуг сельскохозяйственным производителям по повседневному управлению сельскохозяйственным производством.

Основным назначением системы является предоставление следующих групп услуг для решения первоочередных задач, стоящих перед каждым предприятием агропромышленного комплекса:

- многоуровневый дистанционный мониторинг земель и посевов для опережающего распознавания проблемных ситуаций на полях на основе анализа космических изображений и аэрофотоснимков, а также использования датчиков на полях и средств физико-химических лабораторий в целях отслеживания готовности полей к началу проведения

технологических операций, контроля роста и развития растений, оценки наличия влаги и минералов в почве, своевременного выявления вредных насекомых и т.д.;

- стратегическое и оперативное управление ресурсами предприятия, включая реакцию на важные события, распределение, планирование, оптимизацию и контроль ресурсов в реальном времени (техники, кадровых, финансовых и других ресурсов) – в целях повышения эффективности сельскохозяйственного производства, сокращения простоев и дефицита ресурсов, внедрения принципов бережливого производства, а также сокращения времени от момента выявления проблемы – до ее устранения (time to go).

В отличие от традиционных информационных систем и баз данных, от классических учетных систем, настоящая система разрабатывается как интеллектуальная система поддержки принятия решений, выполняющая анализ ситуации на полях, построение рекомендаций и планов действий, а также контролирующая достижение результатов в реальном времени. При этом степень интеллектуальности системы планируется повышать «шаг-за-шагом» путем создания баз знаний и добавления новых сервисов, учитывающих контекст ситуации предприятия и способных взаимодействовать, конкурировать и кооперироваться друг с другом.

Услуги системы будут предоставляться через Интернет портал, планшеты и мобильные телефоны пользователей по цене подписки или как отдельные услуги по запросу (по SaaS модели).

Основой категорией потребителей услуг системы являются крупные, средние и мелкие предприятия агропромышленного сектора растениеводства, для которых будет обеспечена возможность ввести данные о своих полях, технике и хозяйственных объектах в облаке и получать выбранные сервисы для мониторинга посевов, контроля за использованием ресурсов и техники с помощью вычислительных устройств (в том числе, мобильных планшетов и телефонов) управленцев, агрономов, механизаторов.

Пользователи системы будут входить в нее через Интернет-портал с любого устройства независимо от своего географического положения, получат возможность создавать свои учетные записи и хранить свои собственные базы данных полей и другую информацию по предприятию в защищенном виде.

Для начала работы в системе каждому хозяйству потребуется построить ресурсно-логистическую модель своего предприятия, описав технику и имеющихся специалистов, поля, виды высаживаемых культур, объемы удобрений и т.п.

Одним из основных элементов управляющей системы предприятия является база данных полей предприятия, в которую пользователь может самостоятельно или через внешнюю услугу вносить оперативные изменения в границах полей, состоянии почв, рельефе. Эти данные будут учитываться при всех дальнейших расчетах внутренними сервисами системы, включая расчеты потребностей удобрений и техники, планирование производственных операций.

Базовые сервисы системы на основе сведений в базе данных полей помогут оценить ожидаемые показатели эффективности бизнеса с учетом прогноза цены на продукцию и покупные материалы (удобрения, средства защиты растений и др). Сервисы мониторинга земель и посевов способны регулярно поставлять каждому хозяйству информацию о развитии культур на его полях, в дальнейшем эти данные будут использоваться рекомендательными сервисами системы, которые будут по мере выявления проблем предлагать варианты их разрешения, а при недостатке информации предлагать уточнение состояния полей с помощью выездных мобильных служб и беспилотных летательных аппаратов. Таким образом, за счет информации, получаемой от средств мониторинга, будут вырабатываться планы действий по решению обнаруженных проблем на участках посевов, таких как определение необходимости внесения удобрений, использования средств защиты растений и т.д. [3-7].

Для крупных пользователей будет предлагаться поставка готовой системы «под ключ» на собственных серверах с полным набором услуг и доработкой под специальные требования, а для малых и средних – с оплатой за предоставленные выборочные услуги по модели SaaS с

публичного облачного сервера путем выбора и аренды каждого применяемого сервиса в отдельности, что сделает использование системы широко доступным, удобным, гибким и дешевым для потребителей.

Система должна быть ориентирована на массового пользователя, сотрудника сельскохозяйственных предприятий и организаций, который не является специалистом по работе с современными вычислительными устройствами. Интернет-портал обеспечивает простой и удобный интерфейс, минимальные требования к технической квалификации пользователя. При этом предшествующий опыт внедрения информационных систем в современных хозяйствах показывает, что процесс обучения пользователей обычно составляет 1-2 недели.

Общая структура системы показана на рисунке 1.

Рисунок 1 – Внутренняя мультисервисная структура системы

2 Архитектура системы

Разрабатываемая система проектируется как открытая мультисервисная архитектура, в которой новые сервисы смогут добавляться и заменяться без остановки и коренной переработки основной части системы, что открывает возможность разработчикам третьих компаний предлагать новые сервисы.

При этом каждый сервис может рассматриваться как автономная, постоянно работающая программа – программный агент, непрерывно стремящийся к достижению поставленных ему целей, причем каждая такая подсистема, в свою очередь, может содержать агентов умного Интернета людей и вещей, например, задач, технологических операций, машин, механизаторов, средств защиты растений и т.д.

Сервисы, основанные на мультиагентных технологиях [7], взаимодействуют между собой через единую сервисную шину, что позволяет совместно использовать желаемый набор сервисов, добавлять к модели новые компоненты (сервисы), отвечающие за новые типы ресурсов и операций и интегрировать их с любыми учетными системами и системами управления (рисунок 2).

Мультиагентные технологии, в особенности комбинированные методы с рыночным подходом к оптимизации, являются одним из наиболее перспективных методов проектирования алгоритмов решения сложных задач распределения ресурсов [8]. Таким образом, разработка сервисов на принципах мультиагентности позволяет организовать распределение и контроль за использованием ресурсов в рамках отдельно взятых задач, решаемых сервисами (например, распределение техники по полям с учетом критериев важности работ и доступности агрегатов; планирование и получение снимков с учетом критериев качества изображений, времени полу-

чения информации и стоимости данных), а наличие общей шины позволяет проводить переговоры агентов на более высоком уровне, находя решения в интересах хозяйственной деятельности всего предприятия целом, максимизируя показатель прибыли и снижая себестоимость производства.

Рисунок 2 – Интеллектуальные сервисы на основе мультиагентных технологий

Взаимодействие программных агентов между собой основано на принципах мультиагентного Интернета вещей, когда агенты, отвечающие за собственные ресурсы (в качестве которых выступают объекты реального мира – поля, удобрения, машины, беспилотные авиационные системы (БАС), спутники, технологические операции) реагируют на возникающие внешние события, на изменения состояния своих ресурсов и взаимодействуют между собой, совместно находя такой вариант решения задачи, при котором общая выгода максимальна. Для принятия решения агенты ведут переговоры, предлагая собственные варианты и рассматривая варианты, полученные от других агентов, корректируя решения в ответ на наступление новых событий и в ответ на варианты решений, предлагаемые другими агентами. Такие цепочки координируемых связанных изменений привносят высокий уровень интеллектуальности в разработанные решения и могут работать в режиме реального времени, оперативно реагируя на события [8, 9].

Ключевыми компонентами архитектуры будут являться База знаний и модель предприятия (включая Базу данных полей, машин, складов и т.д.), на основе которых будут строиться повседневные планы деятельности сотрудников предприятия. Используя отдельные сервисы для работы с данными различных сегментов производства, можно формировать наиболее приближенную к реальности цифровую модель агропредприятия.

Внешним разработчикам будут предоставлены условия и программные интерфейсы (API) для встраивания своих разработок в систему (события для подписки, доступ к модели предприятия, генерация новых событий и т.п.). Пользователь сможет выбирать услуги по подписке или заказывать разовые услуги по мере необходимости.

Первоочередные задачи разработки Базы знаний и Интернет портала системы в ближайшее время будут связаны с возделыванием наиболее популярных культур (пшеница, кукуруза и др.), а также развитием садоводства.

В качестве основных групп пользователей портала системы в ближайшее время, кроме агрохозяйств, можно отметить ведомства и контролирующие органы, которые смогут получать консолидированные, обобщенные данные (рисунок 3).

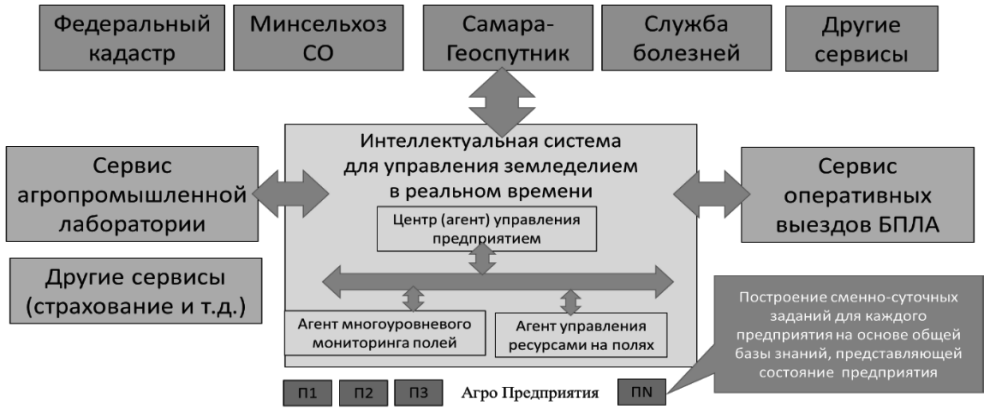


Рисунок 3 – Среда применения и основные пользователи системы

Заключение

В перспективе предлагаемая система может развиваться по нескольким взаимно дополняющим направлениям:

- Развитие системы как кибер-физической системы, включающей модели почвы, роста и развития растений, жизни вредных насекомых и т.д. Кибер-физический характер системы означает, что на поле будут расти реальные растения, а в компьютере – синхронно развиваться виртуальные модели этих растений, сопоставление которых с реальностью позволит с опережением вырабатывать управленческие воздействия, моделировать различные сценарии агротехнологических процессов, прогнозировать экономические результаты деятельности и т.д. В этих целях предполагается в будущем привлечь к проекту лабораторию гиперспектральных исследований биологического факультета МГУ для создания моделей развития растений и возникновения заболеваний для разных культур.
- Повышение степени автономности интеллектуальной системы управления сельскохозяйственным предприятием, обладающей базой знаний для принятия решений по широкому кругу вопросов и реализующей полный цикл управления предприятием, присущий любому живому организму, включая фазы восприятия ситуаций на полях, планирования действий техники и исполнение намеченных планов для достижения поставленных целей. В этом направлении предполагается создание совместно с Ростсельмашем и другими машиностроительными предприятиями автономных робототехнических систем и группировок таких систем, функционирующих как колонии роботов сельскохозяйственных машин.
- Предлагаемая система может стать основой для развития сообщества экспертов и специалистов в области сельского хозяйства, содержать материалы о современных технологиях, поддерживать форум специалистов, рекламировать продукцию и услуги и обеспечивать ряд других возможностей для потребителей. В отличие от традиционных систем, данная система может предоставлять такие услуги адресным образом, на основе контекста ситуации каждого предприятия.

Список литературы

[1] Эмерсон Г. Двенадцать принципов производительности. М.: Экономика, 1972. – 223 с.

[2] Vittikh, V.A. Prolegomena to evergetics / V.A. Vittikh // Онтология проектирования. – 2015. – Т. 5, №2(16). - С. 135-148. – DOI:10.18287/2223-9537-2015-5-2-135-148.

[3] Д.С. Будаев, Г.Ю. Вощук, Н.А. Гусев, А.Н. Мочалкин. Мультиагентная система согласованного управления группой беспилотных летательных аппаратов // Труды XVIII Международной конференции «Проблемы управления и моделирования в сложных системах», Самара, 20-25 сентября 2016 г. – Самара: ОФОРТ, 2016. – С. 180-190.

[4] Будаев Д.С., Вощук Г.Е., Гусев Н.А., Майоров И.В., Мочалкин А.Н. Согласованное управление группой БПЛА с применением мультиагентных технологий и сетецентрического подхода // Материалы 8-й Всероссийской мультиконференции по проблемам управления МКПУ-2015, 28 сентября-3 октября 2015 г., с.Дивноморское, Геленджик, Россия. Т.2. – Ростов-на-Дону: Изд-во ЮФУ, 2015. – С. 156-158.

[5] Будаев Д.С., Вощук Г.Ю., Гусев Н.А., Майоров И.В., Мочалкин А.Н. Разработка системы согласованного управления группой беспилотных аппаратов с применением мультиагентных технологий // «Известия ЮФУ. Технические науки», № 10(171), 2015. – С. 18-28.

[6] Будаев Д.С., Вощук Г.Ю., Мочалкин А.Н., Травин В.С. Разработка сетецентрической интеллектуальной системы адаптивного планирования действий группы автономных беспилотных аппаратов для согласованного выполнения поставленных задач // Материалы Десятой всероссийской научно-практической конференции «Перспективные системы и задачи управления» и Шестой молодежной школы-семинара «Управление и обработка информации в технических системах», 06-10 апреля, 2015, п. Домбай, Россия: в 2-х т. – Ростов-на-Дону. Издательство ЮФУ. – Т.2. – С. 166-172.

[7] Е.В. Симонова, А.А. Жиляев, В.С. Травин. Мультиагентная система планирования целевого применения группировки космических аппаратов дистанционного зондирования Земли // Труды XVIII Международной конференции «Проблемы управления и моделирования в сложных системах», Самара, 20-25 сентября 2016 г. – Самара: ОФОРТ, 2016. – С. 163-170.

[8] Скобелев, П.О. Ситуационное управление и мультиагентные технологии: коллективный поиск согласованных решений в диалоге / П.О. Скобелев // Онтология проектирования. – 2013. – №2(8). - С. 26-48.

[9] G.Rzevski, P.Skobelev. Managing complexity. WIT Press, 2014. – 198 p.

ПРОБЛЕМЫ, СТОЯЩИЕ ПЕРЕД СЕЛЬХОЗПРОИЗВОДСТВОМ, ПРОГРАММНЫЕ ПРОДУКТЫ, УПРАВЛЕНЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА

Л.В. Орлова[1], П.О. Скобелев[2], Д.С. Будаев[2]

[1]НП «Национальное движение сберегающего земледелия»
443099, Самара, ул. Куйбышева, 88, Россия
info@rmrl.ru
тел: +7 (846) 333-70-31

[2]Научно-производственная компания «Разумные решения» / «Smart Solutions»
443013 Россия, Самара, ТОЦ "Вертикаль",
Московское шоссе, 17, офис 1201
info@smartsolutions-123.ru
тел./факс + 7 (846) 279-37-78
+ 7 (846) 279-37-79

Ключевые слова: *эффективное управление, многоуровневый мониторинг, климатически оптимизированное сельское хозяйство, цифровая модель управления, точное земледелие*

Abstract
The article justifies the need to create an intellectual decision support system for the management of climate-optimized agricultural production on the principles of economic and environmental efficiency. The creation of such a system provides for the integration of a complex of technologies and management methods to improve efficiency.

В настоящее время сельское хозяйство России находится в сложных условиях, которые обусловлены целым рядом факторов:

1) В последние десятилетия усилилась зависимость сельхозпроизводства от климатических условий. Две трети сельскохозяйственных регионов страны (в т.ч. Поволжье, Зауралье, Нечерноземье) находятся в зоне рискованного земледелия, и каждый год страдают от засух. Ежегодные потери от засух составляют от 10 до 100 млрд рублей. В целом по России в годы с сильными и обширными засухами за последние 15-20 лет валовые сборы зерна уменьшились почти наполовину.
2) Многолетнее применение устаревших агротехнологий в сельхозпроизводстве, которое привело к ряду негативных результатов:

- к разрушению плодородия почв: по данным Минсельхоза России плодородие почв за последние десятилетия упало почти вдвое;
- механическому переуплотнению почв: более 80% сельхозугодий переуплотнено, что приводит к ежегодной потере более 30 млн тонн сельхозпродукции и доходов сельхозпроизводителей;
- к росту эрозии и деградации земель: эродированные земли уже достигли 60% от площади всех сельскохозяйственных угодий, и эта площадь ежегодно увеличивается на 500 тыс. га.

3) Рост цен на технику и оборудование, средства защиты растений, удобрения – тормозят развитие сельхозпроизводства, приводят к нарушениям технологии из-за дороговизны приобретения современной техники, удобрений, средств защиты растений и т.д.
4) Ситуация усугубляется недостатком знаний у аграрных специалистов, отсутствием научно-обоснованных рекомендаций к практическому применению эффективных агротехнологий в конкретных почвенно-климатических условиях.

В итоге мы имеем низкую производительность труда в сельхозпроизводстве (отставание производительности России от США около 340-440%), отставание по урожайности основных сельхозкультур по сравнению со странами-лидерами (в среднем в 3-4 раза) и высокие потери сельхозпродукции на всех уровнях производства – около 10-12 млн. тонн (около 40 млрд рублей в год), падение рентабельности производства (особенно в регионах рискованного земледелия).

Вместе с тем, в мире свершается революция INDUSTRY 4.0, базирующаяся на использовании информационно-управленческих технологий для решения задач повышения эффективности производства.

В сельском хозяйстве уже сегодня радикально меняются подходы, методы и средства, направленные на повышение эффективности земледелия («точное земледелие» и т.д.). В России 2/3 регионов находятся в зоне рискованного земледелия, где требуется развитие особого климатически-оптимизированного производства на основе интеграции трех новых технологий:

- Новые агротехнологии, включая сохранение почв, машины и технологии, средства защиты растений и т.д.;
- Новые информационные технологии, включая космические снимки, управление БПЛА, базы знаний, мультиагентные технологии, Интернет вещей и другие;
- Новые управленческие технологии, ориентированные на результат.

В этой связи актуальной и значимой задачей является повышение рентабельности сельского хозяйства через построение климатически оптимизированного, экономически и экологически эффективного сельхозпроизводства и создание инновационной информационно-управляющей системы как инструмента для поддержки принятия решений по управлению бизнесом.

Таким образом, возникает необходимость в принципиально новой автоматизированной системе управления сельхозпроизводством, реализуемой с применением последних достижений в области информационных технологий, которая объединит передовые научные и технологические разработки в области растениеводства (прямой посев, дифференцированное внесение удобрений, технологии оптимизации применения СЗР и удобрений, контролируемый проезд техники (CTF), эффективная уборочная и послеуборочная логистика и т.д.).

Подобная комплексная система позволит принести новую культуру в управление сельскохозяйственным предприятием, максимально дисциплинировать сотрудников и уменьшить сложность и трудоемкость управления и нагрузку на управленцев и специалистов, используя современные средства диагностики и дистанционного мониторинга, чтобы оперативно получать объективную информацию по состоянию посевов, почв, расходу СЗР, осуществлять контроль на всех этапах производства, а также средства перспективного и текущего оперативного планирования производства в реальном времени.

Использование системы существенно повысит эффективность управления, помогая сельхозпроизводителю в жестких климатических условиях и в сжатые сроки проведения полевых работ принимать верные решения и снижать потери, что особенно актуально для зон засушливого земледелия.

Информационно-управляющая система для сельхозпроизводства должна включать целостный набор средств и методов, призванных повысить объем и качество выращиваемого урожая, наряду с оптимизацией затраченных финансовых ресурсов – и при этом предлагаться хозяйствам как современные веб-сервисы по модели аренды (SaaS - «Software as a Service – программная система как услуга), не требуя значительных вложений, с доступом через планшеты и другие современные мобильные устройства.

Вместе с тем, внедрение новых методов и средств требует инвестиций, приобретения дорогостоящих зарубежных систем, обучения специалистов, что обычным хозяйствам в одиночку не под силу.

В рамках реализации проекта подобной системы Правительству Самарской области предлагается с использованием механизмов государственно-частного партнерства поддержать инициативу передовых сельскохозяйственных предприятий (по созданию в концепции INDUSTRY 4.0 инновационной информационно-управленческой системы климатически оптимизированным сельскохозяйственным производством, построенной на принципах экономической и экологической эффективности.

При этом, в основу такой системы предлагается положить уже имеющиеся у инновационных Самарских компаний разработки Интернет Агро-портала Самарской области (ГеоИнформСпутник) и Интернет системы управления СХ предприятием (НПК «Разумные решения»).

В проект по созданию системы должны быть вовлечены наиболее передовые сельскохозяйственные предприятия, которые в дальнейшем готовы выступить как учебные центры для распространения новых знаний и технологий.

Сегодня важной целью является разработка и внедрение на территории регионов, находящихся в зоне рискованного земледелия, информационно-управляющей системы для поддержки принятия решений по управлению климатически-оптимизированным сельскохозяйственным производством на принципах экономической и экологической эффективности, чтобы обеспечить: повышение эффективности расходования средств бюджетов всех уровней, предназначенных для поддержки растениеводства; повышение качества продукции, сокращение трудоемкости управления, переход на передовые технологии и общее повышение эффективности бизнеса до 25 %.

Особенность реализации подобной системы заключается в создании в России пилотной модели сельхозпредприятия, в котором инновационные технологии управления процессами в производстве будут интегрированы с технологиями сберегающего земледелия.

Для создания системы необходима междисциплинарная команда ученых, предпринимателей, управленцев и специалистов, которая позволит синергетически объединить 4 группы наиболее перспективных технологий:

- инновационные технологии сберегающего земледелия, применяемые на всех этапах/технологических операциях производства (прямой посев, дифференцированное внесение удобрений, контролируемый проезда техники (Controlled Traffic Farming), эффективная уборочная и послеуборочная логистика и т.д.);
- технологии анализа структуры, состава и состояния почв, мониторинга посевов и т.п.;
- новые управленческие технологии, построенные на перспективных моделях организации СХ предприятий, ориентированных на экономический и экологический эффект;
- новые интеллектуальные технологии поддержки управленческих решений, включая веб-технологии, обработку гиперспектральных изображений, создание баз знаний и другие.

Важность информационно-управляющей системы в том, что впервые в России в рамках построения климатически оптимизированного сельхозпроизводства решаются три задачи:

- создание системы многоуровневого мониторинга и контроля состояния полей с взаимодополняющим использованием космических снимков (для больших участков полей), самоорганизующихся группировок дронов (для более детального анализа выявленных проблемных участков) и датчиков на полях по типу Интернета вещей с постоянной связью с центром;
- создание новой методики и системы управления производством, которая позволит планировать работу предприятия: от стратегического планирования до сменно-суточных заданий для механизаторов; контролировать исполнение поставленных задач, выявлять расхождение между планом и фактом по различным показателям, адаптивно перестраивая планы по событиям и отображая бизнес-радары основных показателей хозяйства в реальном времени;

- создание базы знаний для поддержки принятия решений, которая будет открыта для пополнения специалистами без перепрограммирования, на основе полученных данных по применению технологий сберегающего земледелия в условиях засушливого земледелия.

Эти новые возможности позволят в дальнейшем тиражировать систему в регионы и предприятия и повысить общую эффективность агробизнеса в районах с климатическими рисками.

В качестве возможного будущего рынка рассматриваются сельскохозяйственные предприятия России, а также ближнего и дальнего зарубежья.

Подобная информационно-управляющая система может рассматриваться как база для последующего комплексного предоставления услуг для сельскохозяйственных производителей по повседневному управлению сельскохозяйственным производством.

Основным назначением системы должны стать:

1) Для органов власти:

- Точная и достоверная оценка себестоимости производства культур в регионах на основе построенной модели растениеводческого сельскохозяйственного предприятия.
- Мгновенная оценка эффективности проектов при подаче сельскохозяйственными предприятиями запросов на получение субсидии с учетом применяемых агротехнологий, кадрового, технического и другого ресурсного обеспечения, оценка кредитных рисков и т.д.
- Выработка экономически и экологически обоснованных стратегий по выдаче субсидий сельскохозяйственным предприятиям с учетом истории севооборотов хозяйств и региона в целом, состояния почв, применяемых технологий, экономического положения хозяйств, прогноза рынка сбыта и других показателей.
- Сокращение сроков рассмотрения заявок сельскохозяйственных предприятий на выделение субсидий.
- Оперативный контроль полей и планов сельскохозяйственного производства в регионе, позволяющий выявлять расхождения «план/факт» (с использованием средств регулярного спутникового мониторинга полей и БПЛА – для более детального обследования проблемных полей).
- Стимулирование внедрения в регионе современных агро-, информационных и управленческих технологий с созданием учебных центров в передовых хозяйствах для распространения опыта (как часть проекта).
- Специальный сервис для он-лайн консультирования хозяйств экспертами Министерства сельского хозяйства.

2) Предоставление следующих групп услуг для решения первоочередных задач, стоящих перед каждым предприятием:

- многоуровневый дистанционный мониторинг земель и посевов для опережающего распознавания проблемных ситуаций на полях на основе анализа космических изображений и аэрофотоснимков, а также использования датчиков на полях и средств физико-химических лабораторий - в целях отслеживания готовности полей для начала проведения технологических операций, контроля роста и развития растений, оценки наличия влаги и минералов в почве, своевременного выявления вредных насекомых и т.д.;
- стратегическое и оперативное управление ресурсами предприятия, включая реакцию на важные события, распределение, планирование, оптимизацию и контроль ресурсов в реальном времени (технику, кадровые, финансовые и другие ресурсы) – в целях повышения эффективности сельскохозяйственного производства, сокращения простоев и дефицита ресурсов, внедрения принципов бережливого производства, а также сокращения времени от момента выявления проблемы – до ее устранения (time to go);

- компьютерная информационно-аналитическая модель сельскохозяйственного предприятия, позволяющая обеспечить планирование работы предприятия, моделирование сельскохозяйственного производства, точный учет расходов, расчет себестоимости продукции в реальном времени, мотивацию сотрудников к повышению производительности труда;
- База знаний по растениеводству, включая технологии прямого посева (no-till) и полосовой обработки почвы (strip-till), эффективные севообороты в системах прямого и полосового посева, технологии применения эффективных биопрепаратов и биотехнологий, технологии применения органических удобрений, системы дифференцированного внесения удобрений и СЗР, экономику и финансы растениеводства, системы картирования урожайности и т.д.

В отличие от традиционных информационных систем и баз данных, а также классических учетных систем, данная система должна стать интеллектуальной системой поддержки принятия решений, выполняющая анализ ситуации на полях, построение рекомендаций и планов действий, а также контролирующей достижение результатов в реальном времени.

При этом степень интеллектуальности системы планируется повышать «шаг-за-шагом» путем создания баз знаний и добавления новых сервисов, учитывающих контекст ситуации предприятия и способных взаимодействовать, конкурировать и кооперировать, друг с другом.

Предоставление услуг предполагается посредством Интернет-портала, планшетов и мобильных телефонов пользователей по цене подписки или как отдельные услуги по запросу (по SaaS модели).

На этапе планирования бюджетных средств для предоставления субсидии, система позволит выработать экономически и экологические обоснованные стратегии по выдаче субсидий с учетом истории севооборотов хозяйств и региона в целом, состояния почв, применяемых технологий, экономического положения хозяйств, прогноза рынка сбыта и других показателей.

На стадии распределения субсидии, на основе данных, вносимых в систему хозяйствами – потенциальными получателями субсидии, будет осуществляться:

- оценка себестоимости производства культур;
- оценка эффективности проектов заявителей;
- оценка применяемых предприятиями – заявителями агротехнологий (в.т. с точки зрения их экологической безопасности и эффективности), их кадрового, технического и другого ресурсного обеспечения;
- оценка кредитных рисков заявителей.

В течение сезона система поможет осуществлять контроль полей и планов производства в регионе, выявлять расхождения «план/факт» (с использованием средств регулярного спутникового мониторинга полей и БПЛА – для более детального обследования проблемных полей).

Помимо поддержки процесса планирования, выделения и контроля использования бюджетной субсидии, необходимо задать старт развитию по всей стране новых программ практического обучения специалистов сельскохозяйственных предприятий современным сельскохозяйственным и информационным технологиям на базе учебных центров и образцовых хозяйств.

Предполагается, что основой категорией потребителей услуг системы будут крупные, средние и мелкие предприятия агропромышленного сектора растениеводства, для которых будет обеспечена возможность вести данные о своих полях в облаке и получить выбранные сервисы по мониторингу посевов на полях и управления техникой с использованием планшетов и сотовых телефонов управленцев, агрономов и механизаторов.

Пользователи системы будут входить в систему через Интернет-портал с любого мобильного устройства вне зависимости от своего географического положения, где получат возможность создавать свои учетные записи и хранить свои собственные базы данных полей и дру-

гую информацию по предприятию в защищенном виде - после чего свои старые компьютеры, ИТ подразделения и другая вычислительная техника становятся не нужны.

Для начала работы в системе каждому хозяйству потребуется описать свои поля и построить ресурсно-логистическую модель своего предприятия, описав технику и имеющихся специалистов, виды высаживаемых культур, объемы удобрений и т.п.

Основой управляющей системы предприятия станет база данных полей предприятия, в которой пользователь сможет самостоятельно или через внешнюю услугу построить границы своих полей, оценить почвы и построить рельефы полей, что будет учитываться в дальнейших расчетах выбираемыми сервисами.

Базовые сервисы по расчету экономической модели предприятия на основе базы данных полей помогут оценить ожидаемые показатели эффективности бизнеса с учетом прогноза цены на продукцию и покупные материалы (удобрения, защиты растений и др.).

В дальнейшем сервисы системы по мониторингу земель и посевов на полях будут регулярно поставлять каждому хозяйству информацию по развитию посевов на его полях и по мере выявления проблем предлагая услуги по уточнению состояния полей с помощью выездной мобильной службы дронов, работающей по заказам, или собственными силами.

На основе этой информации будут вырабатываться планы действий по решению проблем растений путем внесения удобрений, использования средств защиты растений и т.д.

Для крупных пользователей необходимо предусмотреть поставку готовой системы «под ключ» на собственные серверы с полным набором услуг и доработкой под специальные требования, а для малых и средних – с оплатой за предоставленные выборочные услуги по модели SaaS (Software as a Service) с публичного облачного сервера – путем выбора и аренды каждого применяемого сервиса в отдельности, что сделает использование системы широко доступным, удобным, гибким и дешевым для потребителей.

С разработкой подобной информационно-управляющей системы станет возможным повышение эффективности управления малых и в особенности крупных сельскохозяйственных производств, оптимизация кадрового состава и повышение профессионализма специалистов.

Author index

Индекс авторов

А

Абдулнагимов А.И. 554
Абросимов В.К. 45
Агадуллина А.И. 526
Акопов Г.В. 273
Алжеев А.В. 578
Арпентьева М.Р. 281, 293
Асанов А.З. 54, 206, 230, 237, 373
Ахметова Д.Р. 91

Б

Батищев В.И. 96
Бахмут А.Д. 379, 428, 455
Белоконь С.А. 60
Белопухов В.Н. 535
Беляев А.М. 67
Бердников В.А. 445
Блинова Д.В. 91, 387
Боровик С.Ю. 535, 583
Боровинских М.Д. 123
Бояркин У.В. 547
Будаев Д.В. 583, 591

В

Варакушин С.А. 77
Виноградов Г.П. 303
Виноградова Н.Г. 303
Виттих В.А 4, 311, 583
Владимирова И.П. 399
Волынская А.В. 564
Воронов Е.М. 77, 83
Вырыпаев Д.В. 321

Г

Габидулин М.А. 538
Гаврилов Н.А. 12
Гвоздев В.Е. 91, 387, 393, 399
Герасимова И.Б. 326
Глущенко А.И. 117
Губанов Н.Г. 96
Гурьянова Е.О. 54

Д

Давлиева А.С. 387

Деревянов М.Ю. 165
Долгов Н.С. 103, 255
Дьяконов А.И. 111

Е

Елисеев В.Г. 474
Еременко В.В. 575
Еременко Ю.И. 117, 123

Ж

Жиляев А.А. 474
Жуков С.В. 547

З

Загребова Л.Е. 273
Захарова О.И. 404
Золотухин Ю.Н. 60
Зянчурин А.Э. 410, 514

И

Иванов Н.М. 178
Ильясов Б.Г. 129, 326

К

Канина К.В. 135
Калинина Н.А. 416
Камальдинова З.Ф. 273
Карамзина А.Г. 326
Карпов А.А. 153
Каширских Д.В. 422
Кириллов И.С. 514
Клишин М.А. 83
Кожевников С.С. 486
Козубенко И.С. 578
Котов К.Ю. 141
Криони Н.К. 326
Крыжановская Т.Г. 77
Крыжановский Г.А. 146
Крылов А.В. 379, 428, 455, 501
Крючков Б.И. 153
Кузьмин Д.В. 186
Кулабухов С.А. 160
Куликов Г.Г. 554
Купин В.В. 146
Кутейникова М.М. 535

Л

Лада А.Н. 501
Лахин О.И. 67
Лившиц М.Ю. 165
Любавский К.К. 83

М

Майоров И.В. 474, 486
Малахова А.И. 519
Мальцев А.С. 135
Марьясин О.Ю. 172
Массель Л.В. 436
Меньщиков В.Ф. 18
Миронов Ю.В. 67
Михайлов В.В. 178, 186
Мишурова Н.В. 212
Моисеева Т.В. 332
Мостовой Я.А. 445
Моторин О.А. 578
Мочалкин А.Н. 45, 583
Мухаметьянова Р.И. 399
Мышкина И.Ю. 373
Мятишкин Ю.В. 338

Н

Насырова Р.А. 91
Нестеров А.А. 60
Нестеров А.Ю. 346
Никулина Н.О. 519

О

Овчинников Д.Е. 273
Орлов И.В. 501
Орлова Л.В. 583б 591
Охтилев М.Ю. 224, 501
Охтилев П.А. 379, 428, 455, 501

П

Паткин М.Л. 193
Петров В.А. 117
Пиявский С.А. 273
Плешивцева Ю.Э. 199
Погорелов Г.И. 554
Подлипнов П.Е. 535, 562
Полещенко Д.А. 123
Полюдов Д.П. 486
Потрясаев С.А. 186, 501

Р

Рапопорт Э.Я. 199
Рунков Я.К. 206

С

Саитова Г.А. 129
Самойлов Д.Е. 468
Свитова А.М. 141
Секисов Ю.Н. 535

Селезнев А.А. 77
Семенова В.А. 468
Семенюк Е.Д. 141
Сергеев С.Ф. 351
Серов В.А. 83
Симонов И.С. 393
Симонова Е.В. 474, 486
Скобелев П.О. 45, 474, 486, 501, 591
Скобелев О.П. 535
Сметанина О.Н. 526
Смирнов С.В. 273, 468
Соболев М.А. 141
Соколов Б.В. 508
Соловьев С.В. 212, 218
Соловьева Г.Д. 67
Стеблев Ю.И. 224
Сусарев С.В. 96

Т

Тарасов В.Ю. 230, 237
Травин В.С. 474
Трушин В.А. 554

У

Усов В.М. 153
Устинов А.В. 410, 514

Ф

Федорова Н.И. 519
Филимонов А.Б. 242
Филимонов Н.Б. 242
Филиппов М.Н. 60
Фомина Е.Е. 303

Х

Хаиров К.И. 218

Ц

Цапенко М.В. 355
Цупа А.Е. 135
Цыганков Ю.А. 123

Ч

Чекалов Л.Л. 365
Черезов Г.А. 564

Чернышев К.Р. 248
Черняховская Л.Р. 399, 519
Чертополохов В.А. 153

Ш

Шаврин В.Ю. 273
Шалумов В.Г. 103, 255
Шумский А.Е. 416

Ю

Юсупова Н.И. 526

Я

Якубович Е.А. 165
Якушев А.С. 160

B

Bijl A. 573

M

Mau J. 261

N

Nacke B. 37
Nikanorov A. 37

P

Pleshivtseva Yu. 37
Popov A. 37

R

Rapoport E. 37
Rault R. 25
Rzevski G. 3

T

Trentesaux D. 26

Научное издание

Труды XIX Международной конференции

ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЯ В СЛОЖНЫХ СИСТЕМАХ

12-15 сентября 2017, Самара, Россия

Редакторы:
академик Е.А. Федосов
академик Н.А. Кузнецов
профессор В.А. Виттих

Proceedings of the XIX International Conference

COMPLEX SYSTEMS: CONTROL AND MODELING PROBLEMS

September 12-15, 2017, Samara, Russia

Editors:
academician E.A. Fedosov
academician N.A. Kuznetsov
professor V.A. Vittikh

Подписано в печать 27.07.2017 г.
Формат 70x100/16. Бумага офсетная. Печать офсетная.
Объем 50,05 усл. печ. л. Тираж 500 экз. Заказ № 705.

Издательство ООО «Офорт».
443110, г. Самара, ул. Мичурина, 80, оф.31
Тел. 973-70-80, 973-70-55.
E-mail: ofort-samara@mail.ru.

Отпечатано в типографии ООО «Офорт».