

Российская академия наук
Институт проблем управления сложными системами

**Труды XVIII Международной конференции
Proceedings of the XVIII International Conference**

**ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ
И МОДЕЛИРОВАНИЯ В СЛОЖНЫХ СИСТЕМАХ**

**COMPLEX SYSTEMS:
CONTROL AND MODELING PROBLEMS**

20-25 сентября 2016, Самара, Россия

September 20-25, 2016, 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 2016

УДК 519.7

ББК 32.817

П78

Проблемы управления и моделирования в сложных

П78 системах: Труды XVIII Международной конференции
(20-25 сентября 2016 г. Самара, Россия) / Под ред.: акад.
Е.А. Федосова, акад. Н.А. Кузнецова, проф. В.А. Виттиха. –
Самара : ООО «Офорт», 2016. – 464 с.

ISBN 978-5-473-01088-6

В сборнике содержатся труды XVIII Международной конференции «Проблемы управления и моделирования в сложных системах», распределенные по направлениям: процессы управления в обществе; мультиагентные технологии и системы; информационные технологии в управлении; теория и техника оптимального управления; управление, измерения и диагностика в технических системах.

УДК 519.7

ББК 32.817

ISBN 978-5-473-01088-6

- © Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт проблем управления сложными системами
Российской академии наук, составление, оформление, 2016
- © Оформление. ООО «Офорт», 2016
- © Все права принадлежат авторам публикуемых работ, 2016

The XVIII International Conference "Complex Systems: Control and Modeling Problems" (CSCMP'2016), was held on September 20-25, 2016 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 № 16-08-20626.

The conference reports were presented on the following sections:

- Management Processes in the Society;
- Multi-agent Technologies and Systems;
- Information Technologies in Control and Management Systems;
- Optimal Control: Theory and Techniques;
- Control, Measuring and Diagnostics in Technical Systems.

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

XVIII Международная конференция «Проблемы управления и моделирования в сложных системах» (ПУМСС-2016) проводилась в г. Самаре (Россия) с 20 по 25 сентября 2016 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 № 16-08-20626).

На конференции были представлены доклады по следующим направлениям:

- Процессы управления в обществе;
- Мультиагентные технологии и системы;
- Информационные технологии в управлении;
- Теория и техника оптимального управления;
- Управление, измерение и диагностика в технических системах.

В конференции приняли участие ученые из университетов и научных учреждений Великобритании, Германии, Италии и Швейцарии. 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, председатель Программного комитета, ФГУП ГосНИИАС, г. Москва
2. *Виттих В.А.* - д.т.н., заместитель председателя, ИПУСС РАН, г. Самара
3. *Моисеева Т.В.* - к.э.н., ученый секретарь Программного комитета, ИПУСС РАН, г. Самара
4. *Аниаков Г.П.* - член-корреспондент РАН, ОАО «РКЦ «Прогресс», г. Самара
5. *Боровик С.Ю.* - д.т.н., ИПУСС РАН, г. Самара
6. *Васильев С.Н.* - академик РАН, ИПУ РАН им. В.А. Трапезникова, г. Москва
7. *Золотухин Ю.Н.* - д.т.н., ИАиЭ СО РАН СО РАН, г. Новосибирск
8. *Ильясов Б.Г.* - д.т.н., УГАТУ, г. Уфа
9. *Инден У.* - проф., Кельнский университет, г. Кельн, Германия
10. *Клецев А.С.* - д.ф.-м.н., ИАиПУ ДВО РАН, г. Владивосток
11. *Кузнецов Н.А.* - академик РАН
12. *Лупи С.* - профессор, Падуанский университет, Италия
13. *Наке Б.* - д-р, Институт электротехнологии Университета им. Лейбница, г. Ганновер, Германия
14. *Новиков Д.А.* - член-корреспондент РАН, ИПУ РАН им. В.А. Трапезникова, г. Москва
15. *Рапопорт Э.Я.* - д.т.н., ИПУСС РАН, г. Самара
16. *Ржевский Г.А.* - профессор, Открытый университет, г. Лондон, Великобритания
17. *Себряков Г.Г.* - член-корреспондент РАН, ФГУП ГосНИИАС, г. Москва
18. *Скobelев П.О.* - д.т.н., АО «Группа компаний «Генезис знаний», г. Самара
19. *Смирнов С.В.* - д.т.н., ИПУСС РАН, г. Самара
20. *Соловьев В.А.* - член-корреспондент РАН, ОАО РКК «Энергия», г. Москва
21. *Филимонов Н.Б.* - д.т.н., МГУ им. М.В. Ломоносова, г. Москва
22. *Шорин В.П.* - академик РАН, СамНЦ РАН, г. Самара

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ КОНФЕРЕНЦИИ

1. *Виттих В.А.* - д.т.н., председатель, ИПУСС РАН, г. Самара
2. *Боровик С.Ю.* - д.т.н., заместитель председателя, ИПУСС РАН, г. Самара
3. *Моисеева Т.В.* - к.э.н., ученый секретарь, ИПУСС РАН, г. Самара
4. *Андреев В.А.* - д.т.н., ПГУТИ, г. Самара
5. *Гвоздев В.Е.* - д.т.н., УГАТУ, г. Уфа
6. *Горбунов Д.В.* - к.э.н., заместитель министра экономического развития, инвестиций и торговли Самарской области
7. *Кузнецов С.В.* - ИПУСС РАН, г. Самара
8. *Малышева Т.С.* - АО «Группа компаний «Генезис знаний», г. Самара
9. *Мишин Д.В.* - д.т.н., ПГУТИ, г. Самара
10. *Матюшин М.М.* - д.т.н., ФГУП ЦНИИМАШ, г. Королёв
11. *Плещивцева Ю.Э.* - д.т.н., ИПУСС РАН, г. Самара
12. *Чекалов Л.Л.* - к.т.н., ООО «Транс-Мобил-Спидишн», г. Самара

CONTENTS СОДЕРЖАНИЕ

Plenary Papers

Пленарные доклады

1.	<i>Г.А. Ржевский, П.О. Скobelев</i> Автономные интеллектуальные системы управления ресурсами	3
2.	<i>Г.Р. Иваницкий</i> Нейробиофизика: почему управление социальными системами пока не дает ожидаемого эффекта?	13
3.	<i>B.A. Виттих</i> Эвергетика: возвращение в науку о процессах управления в обществе человека из повседневности	14
4.	<i>A.B. Ivanov</i> Need for advanced ground segment system in modern applications of complex systems	21
5.	<i>J. Mau</i> Reducing Complexity in Modeling Human Body	23
6.	<i>N. Mehandjiev</i> Intelligent Support for Complex Cooperative Systems	29

Management Processes in the Society

Процессы управления в обществе

1.	<i>B.A. Виттих</i> Повседневность, знания и системы	33
2.	<i>M.P. Арпентьева</i> Интерсубъективные технологии управления: между толпократией и социальным служением	39
3.	<i>B.A. Виттих, Т.М. Мусеева</i> Интерсубъективное управление: от теории к практике	53
4.	<i>Г.П. Виноградов, Н.Г. Виноградова</i> Принятие решений агентами с эндогенным принципом целеуказания	63
5.	<i>М.В. Цапенко</i> Многокритериальное оценивание значимости показателей эффективности инновационных проектов	72
6.	<i>А.О. Алексеев, И.Е. Алексеева</i> Инструментальные средства верификации моделей предпочтений экономических субъектов (агентов)	85
7.	<i>В.С. Спирина, А.О. Алексеев</i> Интеллектуальные технологии обоснования решений при управлении торговыми-развлекательными комплексами	91

8.	<i>Д.Н. Кривогина</i> Концепция механизма субъектно-ориентированного ценообразования для венчурных проектов	97
9.	<i>О.В. Павлов</i> Динамические модели конкуренции фирм с учетом эффекта обучения	103
10.	<i>С.Ф. Сергеев, А.С. Сергеева</i> Проблема включения механизмов сознания человека в сложноорганизованные техногенные среды	107
11.	<i>Н.М. Боргест, С.В. Смирнов</i> Наукометрический анализ трудов научной конференции «Проблемы управления и моделирования в сложных системах»	113

Multi-Agent Technologies and Systems
Мультиагентные технологии и системы

1.	<i>В.А. Соловьев, В.Е. Любинский, П.О. Скобелев, О.И. Лахин</i> Концепция создания автоматизированной системы управления пилотируемыми космическими полетами на принципах сетевентрического управления, баз знаний и мультиагентных технологий	123
2.	<i>А.Н. Антонов, П.Н. Голобородько, О.И. Лахин, Ю.С. Юрьгина, А.Е. Харичев, А.В. Чехов</i> Разработка концепции интеллектуального интернет-портала для управления инновациями Министерства обороны России	132
3.	<i>В.И. Городецкий, П.О. Скобелев, О.Л. Бухвалов, И.В. Майоров</i> Промышленные применения многоагентных систем: прогнозы и реалии	137
4.	<i>Е.В. Симонова, А.А. Жиляев, В.С. Травин</i> Мультиагентная система планирования целевого применения группировки космических аппаратов дистанционного зондирования земли	163
5.	<i>В.В. Сазонов, П.О. Скобелев, А.Н. Лада, И.В. Майоров</i> Мультиагентный подход к решению транспортной задачи с несколькими точками загрузки и временными окнами	171
6.	<i>Д.С. Будаев, Г.Ю. Вощук, Н.А. Гусев, А.Н. Мочалкин</i> Мультиагентная система согласованного управления группой беспилотных летательных аппаратов	180
7.	<i>Е.С. Левин, В.Б. Ларюхин, И.В. Майоров, А.В. Чехов, В.В. Сазонов</i> Пример взаимодействия агентов в мультиагентной платформе для адаптивного планирования	191
8.	<i>С.С. Кожевников, А.Ю. Гребешков, П.Н. Герасимов, О.В. Ширяева</i> Разработка прототипа гибридной интеллектуальной системы планирования производства, объединяющей классические математические методы и мультиагентные технологии	202

9.	<i>В.Б. Ларюхин, О.И. Лахин, Ю.С. Юрьигина, А.С. Анисимов</i> Разработка базы знаний и экспертно-аналитической системы для поддержки процессов формирования планов проектов на основе отраслевых стандартов ракетно-космической промышленности	207
10.	<i>С.С. Кожевников, И.В. Осипов, Л.С. Бесова, В.Г. Овчинников, Е.В. Симонова</i> Разработка мультиагентной системы стратегического планирования промышленного предприятия	216
11.	<i>А.В. Царев</i> Развитие MAC Smart Supply Networks для учета особенностей производственно-транспортной логистики и возможности управления крупными сетями снабжения с обработкой данных большой размерности	223
12.	<i>В.К. Абросимов</i> Необходимые и достаточные условия «самопожертвования» агента	237

Information Technologies in Control and Management Systems

Информационные технологии в управлении

1.	<i>Л.В. Массель, А.Г. Массель</i> Интеллектуальные технологии для стратегического управления развитием энергетической инфраструктуры	245
2.	<i>А.Г. Массель</i> Динамические когнитивные карты для обоснования решений по стратегиче- скому управлению развитием энергетики	253
3.	<i>В.Е. Гвоздев, Л.Р. Черняховская, Н.И. Федорова</i> Применение гибридной интеллектуальной поддержки принятия решений при управлении сложными производственными процессами в условиях неопределенности	258
4.	<i>В.Е. Гвоздев, Л.Р. Черняховская, Д.В. Блинова</i> Оценка значимости фундаментальных дефектов, допущенных на стадии формирования внешнего облика аппаратно-программного комплекса	265
5.	<i>В.Е. Гвоздев, А.С. Субхангулова, О.Я. Бежаева</i> Информационная поддержка планирования ресурсов для устранения дефектов на стадии реализации компонентов аппаратно-программных комплексов	271
6.	<i>А.Е. Янковская, Ю.Н. Дементьев, Д.Ю. Ляпунов</i> Управляющие технологии для принятия решений с использованием средств когнитивной графики	277
7.	<i>Н.И. Юсупова, О.Н. Сметанина, Е.Ю. Рассадникова</i> Информационные технологии транспортной логистики	284
8.	<i>Л.Р. Черняховская, А.Н. Малахова, Р.Р. Мулюков</i> Реализация интеллектуальной советующей системы управления взаимодействием сложных процессов в классе систем управления знаниями	291

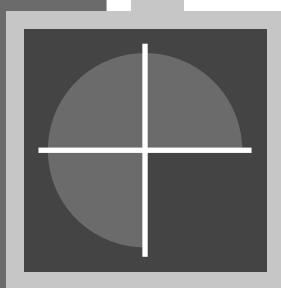
9.	<i>В.И. Батищев, Н.Г. Губанов</i> Интеллектуальные методы анализа и проектирования информационных систем мониторинга состояния крупномасштабных инфраструктурных объектов на основе согласованного индуктивного вывода в многоуровневых системах категорных моделей	299
10.	<i>В.И. Батищев, И.И. Волков, А.Г. Золин</i> Исследование аппроксимационных свойств функциональных базисов в задачах реконструкции изображений при дистанционном зондировании Земли	304
11.	<i>А.А. Стененко, В.А. Непомнящий</i> Верификация коммуникационных протоколов с использованием временных раскрашенных сетей Петри	308

**Optimal control: Theory and Technique
Теория и техника оптимального управления**

1.	<i>Э.Я. Рапопорт, Ю.Э. Плещивцева, А.Н. Дилигенская</i> Конструктивные методы оптимизации управляемых систем с распределенными параметрами	317
2.	<i>M. Forzan, P. Di Barba, F. Dughiero, E. Sieni</i> Migration corrected NSGA optimization algorithm	325
3.	<i>В.Н. Митрошин</i> Управление объектами с распределенными параметрами в технологических процессах изолирования кабелей связи	333
4.	<i>Б.Г. Ильясов, Г.А. Саитова, И.И. Сабитов</i> Применение логико-динамических алгоритмов для управления многосвязными системами	340
5.	<i>С.Я. Галицков, В.Н. Михельевич, А.С. Болховецкий</i> Идентификация тепловыделения при автоклавировании ячеистого бетона	346
6.	<i>К.С. Галицков, М.А. Назаров</i> Система интеллектуального управления формированием керамической массы при производстве кирпича	351
7.	<i>А.С. Фадеев, В.В. Сабуров</i> Управление врачающейся печью обжига керамзита как объектом с нестационарными параметрами	356
8.	<i>К.С. Галицков</i> Многоконтурные системы с одной измеряемой координатой в управлении технологическими процессами производства бетонных и керамических материалов и изделий	360

Control, Measuring and Diagnostics in Technical Systems
Управление, измерения и диагностика в технических системах

1.	<i>М.М. Матюшин, Н.Л. Соколов, П.А. Захаров</i> Особенности управления крупномасштабными группировками космических аппаратов	367
2.	<i>С.А. Белоконь, Д.С. Деришев, Ю.Н. Золотухин, М.А. Золотухина, М.Н. Филиппов, А.П. Ян</i> Комплекс полунатурного моделирования систем управления летательным аппаратом	374
3.	<i>С.А. Белоконь, Ю.Н. Золотухин, А.А. Нестеров</i> Использование гладких траекторий при планировании маршрутов движения летательного аппарата (кинематика)	380
4.	<i>С.А. Белоконь, Ю.Н. Золотухин, А.А. Нестеров</i> Метод управления угловым положением летательного аппарата	389
5.	<i>С.Г. Деришев, Д.С. Деришев, А.Б. Кощеев, А.З. Тараков</i> Метод исследований динамики полета и систем управления на динамически подобных летающих моделях	396
6.	<i>К.Ю. Котов, А.С. Мальцев, А.А. Нестеров, М.А. Соболев, А.П. Ян</i> Управление квадрокоптерами в составе группы лидер-ведомые	406
7.	<i>К.Ю. Котов, А.М. Милованова, Е.Д. Семенюк, М.А. Соболев</i> Автоматизированная система управления полетом параплана	410
8.	<i>А.С. Мальцев, А.Е. Цупа</i> Многоконтурная адаптивная система управления группировкой транспортных роботов	415
9.	<i>В.В. Михайлов, Т.Н. Соловьев, Д.В. Кузьмин</i> Моделирование перемещения шагающего робота по неровной поверхности	421
10.	<i>В.В. Любимов, В.С. Лашин</i> Управление вращательным движением космического аппарата с малой асимметрией в атмосфере при внешне устойчивом главном резонансе	430
11.	<i>А.Н. Жирабок, А.Е. Шумский, С.В. Павлов</i> Непараметрический метод диагностирования систем, описываемых линейными моделями	434
12.	<i>В.Н. Белопухов, С.Ю. Боровик, М.М. Кутейникова, П.Е. Подлиннов, Б.К. Райков, Ю.Н. Секисов, О.П. Скобелев</i> Система измерения радиальных и осевых смещений торцов лопаток в газовоздушном тракте турбины	442
13.	<i>С.Ю. Боровик, М.М. Кутейникова, Ю.Н. Секисов, О.П. Скобелев</i> Погрешности системы измерения радиальных и осевых смещений торцов лопаток в турбине	444



Plenary Papers
Пленарные доклады

АВТОНОМНЫЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ РЕСУРСАМИ

Г.А. Ржевский¹, П.О. Скобелев²

¹ Multi-Agent Technology, Ltd - Asborn Close 3, London UK

rzevski@multiagenttechnology.com

² ООО «Группа компаний «Генезис знаний»

443013, Самара, ул. Московское шоссе, д. 17, офис 2201, Россия

info@kg.ru

тел: + 7 (846) 279-37-74

Ключевые слова: автономные системы, сетецентрический подход, интеллектуальные системы, онтологии, мультиагентные технологии, управление ресурсами.

Abstract

This paper introduces concept of autonomous intelligent systems (AIS) based on network-centric approach (system of systems), ontologies and multi-agent technology for resource management. The functionality, architecture and users interfaces of AIS are presented. The examples include solutions and applications for the enterprises resource management and swarms of robots.

Введение

Задача управления ресурсами (трудовыми, финансовыми, материальными и др.) – одна из наиболее актуальных и значимых для современных предприятий.

В настоящее время на рынке имеется значительное число информационных систем для управления ресурсами предприятий класса Enterprise Resource Planning (ERP), как зарубежных (SAP, Oracle, Microsoft и т.д.), так и отечественных (1С, Галактика, Альфа и т.д.).

Однако в основном эти системы являются учетными, причем построены как централизованные, монолитные, иерархические и последовательные системы – что в условиях постоянного роста сложности и высокой динамики изменений приводит к различным проблемам и часто не позволяет применять эффективно указанные системы на практике.

Кроме того, главный контур распределения, планирования, оптимизации, мониторинга и контроля ресурсов остается без автоматизированной поддержки процессов принятия решений, что лишает эти системы требуемой открытости к изменениям, гибкости и эффективности при управлении ресурсами, в особенности, в реальном времени [1-3].

В этой связи в настоящей статье предлагается концепция создания нового класса автономных интеллектуальных систем управления ресурсами Smart Enterprise категории Industry 5.0, построенных на основе принципов «умного» Интернета людей и вещей, где каждый объект не только представляет свое состояние в сети Интернет, но также имеет возможность реагировать на события, планировать свою работу и коммуницировать для согласования решений с другими объектами, а также прогнозировать и оптимизировать свое поведение, а в будущем – и обучаться из опыта.

Технологической основой разработки являются теория сложных адаптивных систем и наиболее перспективные информационные технологии, включая сетецентрический подход («системы систем»), базы знаний и мультиагентные технологии [4-6], микросервисы и другие, получившие интенсивное развитие и применение в самые последние годы.

Предполагается, что на первом этапе предлагаемые системы будут дополнять существующие учетные системы - с дальнейшей перспективой развития в новое поколение пост-классических Smart ERP, состоящих из тысяч и миллионов небольших автономных приложений.

Будет показано, что предлагаемый подход ведет и к существенным реформам в структуре и принципах взаимодействия в организациях, формируя основы сетевого управления и развития командного подхода для повышения эффективности деятельности предприятий.

1 Области применения

Разрабатываемые системы будут применяться для решения сложных задач управления жизненным циклом любой продукции, от этапов разработки и производства, хранения и транспортировки – до обслуживания и эксплуатации, а также утилизации.

Для примера рассмотрим задачу управления ресурсами в части добычи, производства и доставки угля (рисунок 1).



Рисунок 1 - Управление ресурсами в цепочках поставок для угольной компании

В данном случае поставки угля осуществляются как по уже заключенным контрактам (60%), так и по рыночным закупкам (40%).

Для эффективного выстраивания планов продажи требуется знать своих крупнейших клиентов и конкурентов «в лицо» и прогнозировать заказы и сбыт на разных континентах, индивидуально по регионам и даже отдельным потребителям – и при этом планы по продаже при возникновении любого непредвиденного события должны быть изменены и согласованы с планами по производству, хранению и транспортировке продукции, с учетом качества товарных углей, их стоимостью, пропускной способности портов и т.д.

Например, при появлении нового крупного заказа требуется оперативно решить, с какого склада(ов) брать уголь, какое смешивание и каких марок углей требуется или допустимо, на какой порт вести транспортировку и к какому сроку, как оттуда транспортировать уголь по морю потребителю.

В результате требуется создание адаптивной интеллектуальной системы, которая чутко по событиям реагирует на малейшие изменения в прогнозах спроса или рыночных ценах на уголь или другие важные непредвиденные события, такие как появление нового крупного заказа, неожиданная поломка крана в порту, тайфун на море и т.д.

В зависимости от изменяющейся ситуации – соответственно динамически по событиям согласованно меняются и планы продажи, добычи и транспортировки угля, что позволяет избегать затоварки или дефицита продукции и быть эффективным предприятием.

Другой пример применения – управление ресурсами водоканала (рисунок 2).

В этом случае работа начинается с забора воды из реки, которая подвергается очистке, и в зависимости от степени загрязнения требует больше или меньше химических реагентов. Чистая вода подается населению в дома и предприятиям – в офисы, которые потребляют воду и оплачивают полученную услугу.

Использованная вода проходит очистку и отправляется обратно в реку.

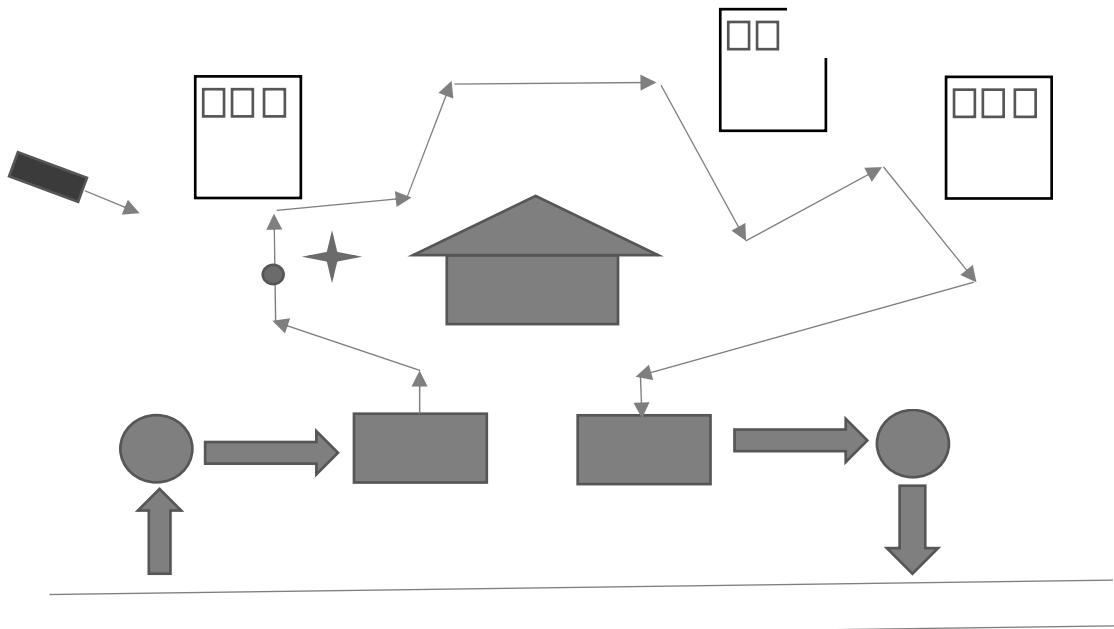


Рисунок 2 - Управление ресурсами водоканала

Здесь также требуется индивидуальный прогноз потребления воды по регионам и домам, а в будущем – по квартирам, с учетом сезонных особенностей (люди уезжают на дачи летом в выходные), событий и т.д. А также работа по оплате услуг – например, на Рис. 2 показаны дома, которые оплатили услугу полностью или частично и могут требоваться меры по снижению давления, перекрытию воды или даже передачи дел в суд для оплаты расходов и штрафов.

Здесь также нужна адаптивная интеллектуальная система управления, которая в зависимости от прогноза потребления перераспределяет ресурсы в реальном времени, строит планы действий и контролирует их исполнение с учетом индивидуальных особенностей потребителей и имеющихся ресурсов.

При этом аварии на водопроводах постоянно приводят к необходимости перекрывать магистрали для подачи воды, динамически перебрасывать аварийные команды и технику для выполнения строительных работ, изменять давление подачи воды для населения и т.д.

Еще один пример применения создаваемой системы - компания по грузовым перевозкам.

Пусть имеется некоторая сеть дорог, на которой требуется подхватить и перевести грузы в заданные сроки доставки (Рис. 3).

Для построения планов грузоперевозок нужно учитывать много важных факторов: места и время забора груза и доставки, наличие и вместимость грузовиков, их рабочую скорость,

рабочий день водителя, сроки проведения ТЭО, желаемые места заправок, придорожные кафе и гостиницы, наличие пропуска на МКАД и т.д.

При этом постоянно приходят непредвиденные заказы, случаются ДТП на дороге и поломки транспорта, недоступность водителей и другие события, которые также должны согласованно изменять планы движения грузовиков.

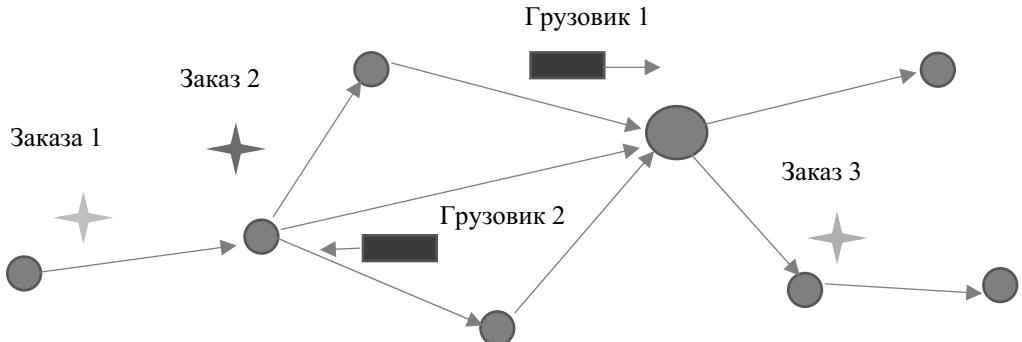


Рисунок 3 - Управление ресурсами в грузоперевозках

Заметим, что такого рода система должна быть открыты к встраиванию новых типов агентов, позволяющих расширять сложность: переправы – для учета свободных слотов времени при движении грузовика по маршруту, агентов придорожных ресторанов и кафе для планирования мест ночевок и питания, агентов шин – для своевременного шиномонтажа и т.д.

Другие примеры применения рассматриваемых систем могут быть связаны с управлением машиностроительными предприятиями, железнодорожными пассажирскими и грузовыми перевозками, обеспечения цепочек поставок и координации действий войск, управления группировками спутников и беспилотных летательных аппаратов и т.д.

Несмотря на разнообразие таких возможных применений предлагаемой системы, можно выделить их важнейшие общие черты:

- сложность принятия решений, связанная с распределением, планированием, оптимизацией и контролем в реальном времени;
- наличие многих лиц, принимающих решений, имеющих собственные предпочтения, что требует выработки согласованных решений;
- разнообразие действующих факторов – индивидуальных критериев, ограничений и предпочтений, которые требуется учитывать;
- высокая размерность задач по планированию и оптимизации, не позволяющая применять традиционные методы комбинаторной оптимизации;
- ситуативный характер принятия решений – когда число и значимость критериев или других факторов может меняться в ходе решения;
- событийный характер управления ресурсами, требующий оперативной выработки решений в реальном времени;
- необходимость поддерживать весь цикл управления ресурсами, включая в будущем обучение из опыта;
- важная роль знаний предметной области, диктующих специфические особенности заказов, процессов и ресурсов каждого предприятия;
- высокая связность решений – требование учета взаимных зависимостей и просчета влияний и т.д.

Все эти особенности делают применение существующих систем управления ресурсами в реальном времени крайне ограниченным или неприменимым вовсю.

2 Функции автономной интеллектуальной системы

Концепция автономной интеллектуальной системы (АИС) предполагает переход от учетных функций – к функциям поддержки принятия решений по управлению ресурсами.

Здесь выделяются несколько возможных уровней (снизу - вверх).

2.1 Умный Интернет вещей для управления физическими объектами

Под Интернетом вещей физических объектов здесь предполагаются программные системы, реализующие возможности по Интернет-мониторингу состояния объектов: труб, насосов, потока воды или состояние угля, складов, портов, барж или грузовиков, заправок, водителей и т.п.

При этом данные объекты на первом уровне рассматриваются как пассивные объекты, не обладающие собственными целями и не имеющие возможности для участия в процессах принятия решений. В умном же Интернете вещей предполагается, что каждый объект не только знает свое состояние, но и строит план своих действий, а также имеет доступ к собственной компьютерной модели в базе знаний системы.

Это позволяет объекту непрерывно сравнивать план и факт своего поведения, вырабатывая сигнал расхождения и тревоги в случае таких событий.

Например, умная труба (в дальнейшем – программный агент трубы), получая информацию от датчиков давления на входе и выходе может обнаруживать утечку или заржавелость, что тут же может передаваться в другие системы и корректировать модель всего водоканала.

Или умный грузовик (в дальнейшем – агент грузовика) может контролировать отклонения от маршрута в ходе движения грузовика и инициировать пересчет планов движения или выход на связь с диспетчером для оценки ситуации.

Иными словами, речь идет о построении кибер-физических моделей любого объекта, в которой каждый объект (физическое тело) имеет своего двойника (ментальное тело) в сети Интернет, зеркально отражающего его состояние.

И если грузовик двигается по дороге в физическом мире – так же в точности двигается грузовик в виртуальном мире.

2.2 Умные АСУ ТП и АСУ БП

Поступающие данные от датчиков разных типов обрабатываются в традиционных автоматизированных системах управления технологическими процессами (АСУ ТП).

Эти системы контролируют значения параметров и вырабатывают автоматические управлительские сигналы на автоматику (исполнительные механизмы), которая управляет устройствами: заслонками, насосами и т.д.

В организационном плане их аналогами являются автоматизированные системы управления бизнес-процессами (АСУ БП), которые регистрируют приход сотрудников на работу, формируют запасы материалов на складе, запускают подготовку закупок и т.д.

С вводом в работу умного Интернета вещей данные системы начинают также изменять свои функции в плане интеллектуальной поддержки принятия решений, в них все больше значение приобретает компьютерная модель объекта управления и база знаний, помогающая принимать решения по результатам моделирования объекта.

Так, для водоканала основой управления становится математическая модель связанных трубопроводов для подачи воды и расчета давления, которая должна постоянно уточняться по данным от труб и других объектов.

2.3 Интеллектуальная система поддержки принятия решений

Следующий уровень разработки связан с интеллектуальной системой поддержки принятия решений по управлению ресурсами в реальном времени.

На этом уровне должны реализовываться следующие возможности:

- регистрация происходящих событий в очереди событий (с временной меткой поступления);
- построение модели ситуации (сцены) в реальном мире и поддержание актуальности сцены в виртуальном мире;
- прогнозирование возможных событий, включая возможные колебания спроса и предложения;
- оперативная обработка поступающих событий с учетом заданной политики и их индивидуальных особенностей, приоритетов и т.д.;
- распределение ресурсов по событиям – в части выделения наиболее подходящих;
- планирование ресурсов – определение технологического или бизнес-процесса обработки каждого события и его применение к текущей ситуации с определением исполнителей, даты начала и конца каждой операции и т.п.;
- оптимизация планов ресурсов для минимизации простоев, если есть время для принятия решений;
- объяснение принимаемых решений пользователю;
- согласование принимаемых решений с пользователями и другими участниками;
- мониторинг и контроль выполнения построенных планов;
- моделирование по принципу «что будет, если ...» одновременно с боевым планированием;
- оценка значимости и эффективности решения;
- обучение из опыта (в будущем);
- оценка качества услуг, себестоимости и прибыли, рисков, штрафов и пени и других важных параметров в реальном времени;
- формирования радаров по выполнению миссии системы;
- построение отчетов за период.

Эти возможности позволяют говорить о том, чтобы вместо работы с «данными» настоящая система начинает работать с «решениями» людей, участвующих в управлении ресурсами.

Очевидно, что принятие решений в такого рода системах не может быть сразу сделано полностью автоматическим – слишком много пока неформализованных важных знаний «сидит» в головах людей и уходит с ними ночевать к себе домой, в отпуск или вообще на пенсию.

Как и в случае с «Google-мобилем» потребуется определенный период для совместной езды с человеком (опытным управленцем), который должен корректировать знания в системе, на основе которых принимаются решения.

Вместе с тем, конечной целью предлагаемых разработок должна являться полностью автономная система, способная управлять ресурсами без участия людей или с их минимальным использованием.

2.4 База знаний для поддержки принятия решений

Правильность вырабатываемых и принимаемых решений в рассматриваемых системах напрямую зависит от качества и эффективности предметных знаний, заложенных в систему.

Примеры важных знаний для цепочек поставок угля, которые напрямую оказывают большое влияние на качество и эффективность решений:

- угли данного типа нельзя долго хранить под открытым небом, где они быстро теряют свои свойства, в особенности, под дождем;
- данный клиент всегда заказывает крупные партии угля осенью;
- в этом порту почему-то всегда очень большие задержки с погрузкой;
- Примеры таких предметных знаний для водоканала:
- металлические трубы, лежащие под трамвайными путями гораздо быстрее ржавеют;

- в определенном месте закопана труба другого диаметра, потому что в момент ремонта не было на складе труб нужного размера.
- Примеры важных знаний для грузовых перевозок:
- на этой дороге ветви деревьев такие большие, что после дождя они опускаются так низко, что грузовик не может проехать;
- тент на борту данного грузовика рваный и его нельзя назначать на важный заказ.

Указанные знания должны быть отделены от исходного кода системы и пополняться в ходе взаимодействия с пользователями.

В этих целях на основе подходов Semantic Web могут разрабатываться базы знаний на основе онтологий, которые позволяют формировать расширяемую модель знаний предметной области и на этой основе строить онтологические модели предприятий, а также далее – онтологические модели ситуаций, необходимые для адаптивного перепланирования.

При этом должны поддерживаться передовые подходы к управлению предприятиями, которые мотивировали бы сотрудников для внесения новых знаний в базы знаний предприятия.

На основе использованных системой знаний и выработанных решений, которые пошли в жизнь и дали измеримый результат, таким сотрудникам могут начисляться дивиденды знаний.

2.5 Новые модели деятельности предприятий

Внедрение рассмотренного подхода ведет к существенному изменению организационных моделей деятельности предприятий, направленных на повышение эффективности работы каждого предприятия:

- монолитная централизованная структура предприятия постепенно замещается бизнес-центрами и центрами знаний (вплоть до сотрудника);
- иерархическая структура предприятия заменяется сетевым взаимодействием различных подразделений и сотрудников;
- приоритетом в деятельности предприятия становится генерация, систематизация и использование знаний;
- вводится внутренний виртуальный рынок задач и сотрудников, где «хлеб за брюхом не ходит»;
- вместо приказов и инструкций «сверху-вниз» вводятся дискурсные (аргументированные) переговоры;
- вводится переменная оплата сотрудников, напрямую зависящая от результата работы предприятия и т.д.

В этих целях создается умный Интернет людей, где каждый сотрудник предприятия на своем планшете или сотовом телефоне имеет собственный план действий, согласованный с другими сотрудниками, а также радары с параметрами эффективности выполнения плана.

Предполагается, что новая Smart Enterprise для предприятия будет строиться снизу-вверх путем самоорганизации из таких автономных интеллектуальных систем людей и вещей.

Взаимодействие с сотрудниками при этом осуществляется путем использования организационной модели предприятия, размещаемой в Базе знаний на основе онтологии предметной области.

2.6 Сетецентрическая архитектура приложений («системы систем»)

Для рассматриваемых «систем систем» предполагается создание систем путем рекурсивной развертки из самоподобных элементов (планировщиков) наподобие фракталов.

Рассмотрим пример создания такой логической архитектуры для управления цепочками поставок угля (рисунок 4).

Таким образом, вместо одного глобального планировщика предлагается сеть планировщиков подразделений, согласованно действующих в принятии решений.

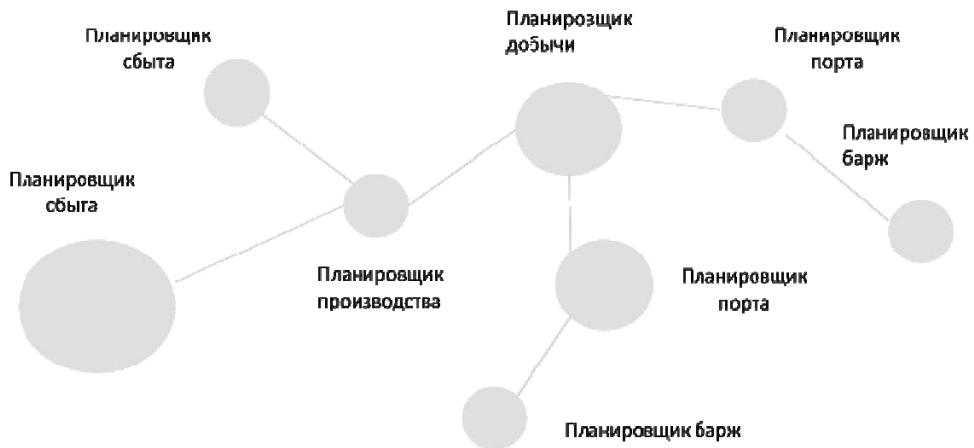


Рисунок 4 - Пример сетевентрической системы добычи угля

3 Интерфейсы пользователей

Общую информацию о работе предприятия, выполняемых проектах и загрузке ресурсов на текущий момент времени можно будет всегда увидеть на Центральной информационно-управляющей панели (ЦУП) системы, представленной на рисунках 5 и 6.



Рисунок 5 - Общий вид интерфейсов пользователя системы

Пример экранов для решения задачи интеллектуального управления ресурсами группировки космических аппаратов (Рой спутников), представлен на рисунке 6.

Здесь пользователь может увидеть следующие изменяющиеся, массивы данных, объединенные и представленные в порядке следования следующих трех вертикалей экранов:

- **входные данные** для непрерывного адаптивного планирования и контроля исполнения задач, включая ресурсы подразделений, текущие заказы, журнал важных событий (как внешних, так и внутренних) и список проблемных ситуаций с оценкой рисков;
- **текущее состояние** предприятия, включая модель физического мира (например, карту района с местами возникновения заявок на обслуживание), модель мира ментального (по-

- кажет распределение заявок по исполнителям), а также текущие планы подразделений на заданный горизонт времени;
- **выходные результаты** работы системы, включая журнал принятых решений по распределению ресурсов, изменения показателей работы предприятия в целом и его отдельных подразделений, а также другие данные, специфичные для предприятия.

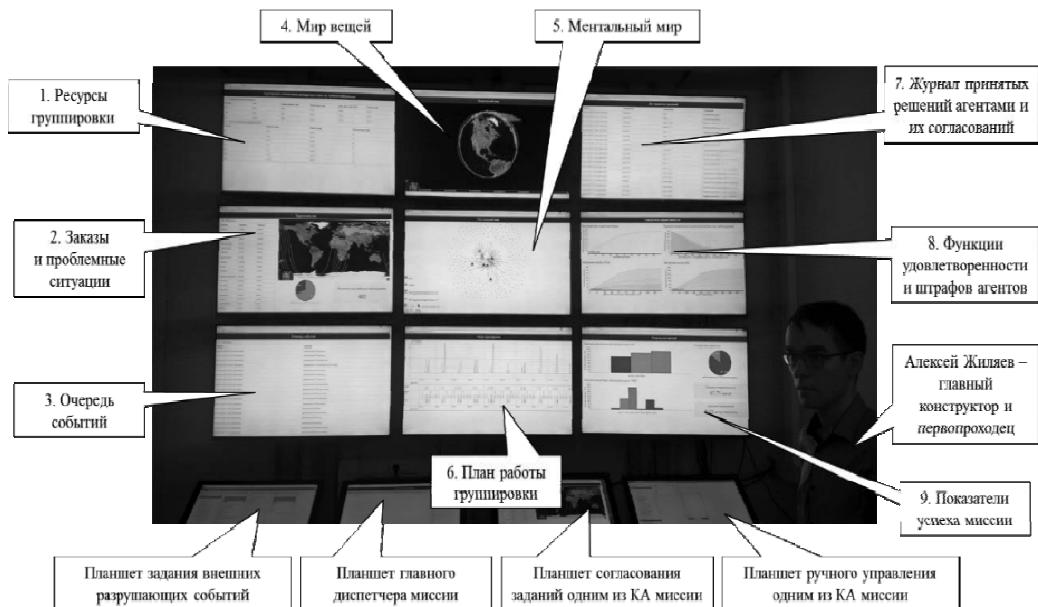


Рисунок 6 - Плазменные экраны для управления ресурсами группировки (роя) спутников – как пример реализации центральной информационно-управляющей панели предприятия

Такая панель может быть размещена как в кабинетах у руководителей всех уровней, так и на открытом пространстве предприятия или мобильном планшете любого сотрудника.

В действии можно увидеть тут: <https://www.youtube.com/watch?v=vcDdMMJOUprk>.

Пример экрана пользователя на планшете и сотовом телефоне, показывающего план и факт на день, а также основные показатели результатов работы, приведен на рисунке 7.



Рисунок 7 - Пример экранов личного планировщика сотрудника предприятием

Данный пример показывает, что виды экранов рассматриваемой системы как для управления людьми, так и роботами, могут быть практически одинаковыми.

Заключение

Показывается, что принципы Интернета людей и вещей, получающие все большее развитие в рамках Industry 4.0, меняются не только сложившиеся подходы к созданию автоматизированных систем управления предприятиями, но и сами принципы организации и управления на современных предприятиях.

Развитие этих представлений ведет к созданию автономных интеллектуальных систем управления предприятиями класса Smart Enterprise, построенных в свою очередь из автономных интеллектуальных систем на основе баз знаний и мультиагентных технологий и формирующих распределенные «системы систем» для поддержки принятия согласованных решений.

Список литературы

- [1] Michael L. Pinedo Scheduling: Theory, Algorithms, and System – Springer. – 2008. – 673.
- [2] Vos S. Meta-heuristics: The State of the Art in Local Search for Planning and Scheduling / A. Nareyek (Ed.). Berlin, Springer-Verlag, 2001. P. 1–23.
- [3] Binitha S, S Siva Sathya, A Survey of Bio inspired Optimization Algorithms, International Journal of Soft Computing and Engineering (IJSCE) ISSN: 2231-2307, Volume-2, Issue-2, May 2012
- [4] P.Skobelev. Multi-Agent Systems for Real Time Adaptive Resource Management. In Industrial Agents: Emerging Applications of Software Agents in Industry. Paulo Leitão, Stamatios Karnouskos (Ed.). Elsevier, 2015. P. 207–230.
- [5] Границин О.Н. Поисковые алгоритмы стохастической аппроксимации с рандомизацией на входе // Автоматика и телемеханика, 2015, № 5. С. 43-59.
- [6] Rzevski G., Skobelev P. Managing complexity. WIT Press, 2014, 198 p.

НЕЙРОБИОФИЗИКА: ПОЧЕМУ УПРАВЛЕНИЕ СОЦИАЛЬНЫМИ СИСТЕМАМИ ПОКА НЕ ДАЕТ ОЖИДАЕМОГО ЭФФЕКТА?

Г.Р. Иваницкий

Институт теоретической и экспериментальной биофизики РАН
142290, Московская обл., г. Пущино, ул. Институтская, 3, Россия
ivanitsky@iteb.ru
тел: +7 (4967)73-24-81

Ключевые слова: управление нелинейными процессами, эволюционный подход, термодинамический подход, информационный подход, синергетический подход, кинетический анализ, нанотехнологии.

Abstract

Over the last 25 years the significant changes have taken place in understanding of the mechanism of control of complex non-linear processes in biology, space physics, sociology and economy. It has become evident that the possibilities of four previously existing approaches for description and modeling of complex systems (evolutionary, thermodynamic, information and synergistic) have been explored and as a result a new approach was born on the base of three codes with different historical memory – genetic, symbiotic “friend-or-foe” and intelligent. These codes create the prerequisites for kinetic analysis of the complex systems’ stability. This analysis is based on space with changing geometry where the wave processes develop in time. In applied aspects this kinetic analysis made a base for the development of three nano-technologies — biosafety, nano-robotics and biomedicine. But the enhancing understanding of the mechanisms of the control of complex non-linear systems in a broad sense remains unfinished. It is possible that through the understanding of the mechanisms of our brain activity the complex non-linear processes’ system control option will be formulated and it can be used in all spheres of human life.

За последние 25 лет произошли существенные изменения в понимании механизмов управления сложными нелинейными процессами в биологии, космофизике, социологии и в экономике. Стало ясно, что возможности четырех существовавших ранее подходов к описанию и моделированию сложных систем исчерпаны (это эволюционный, термодинамический, информационный и синергетический подходы). В результате родился новый подход на основе трех кодов с разной исторической памятью (генетический, симбиотический – «свой-чужой» и интеллектуальный), которые создали предпосылки кинетического анализа устойчивости сложных систем. Подобный анализ основан на пространстве с меняющейся геометрией, в котором во времени развертываются волновые процессы. В прикладном аспекте подобный кинетический анализ создал базу для развития трех разновидностей нанотехнологий (биобезопасности, наноробототехники и биомедицины). Однако полного понимания механизмов управления сложными нелинейными процессами в широком смысле этого понятия пока недостигнуто. Возможно, что через понимание механизмов работы нашего мозга в ближайшем будущем будет сформулирован системный вариант управления сложными нелинейными процессами, который можно будет использовать во всех сферах человеческой деятельности.

**ЭВЕРГЕТИКА:
ВОЗВРАЩЕНИЕ В НАУКУ О ПРОЦЕССАХ УПРАВЛЕНИЯ В ОБЩЕСТВЕ
ЧЕЛОВЕКА ИЗ ПОВСЕДНЕВНОСТИ**

В.А. Виттих

Институт проблем управления сложным системами РАН
443020, Самара, ул. Садовая, 61, Россия
vav1940@gmail.com
тел: +7 (846) 332-39-27, факс: +7 (846) 333-27-70

Ключевые слова: процессы управления в обществе, классическая научная рациональность, онтологическая гносеология, постнеклассическая наука, эвергетика, феноменология, повседневность, неоднородный актор, единое смысловое пространство, культурная среда, мотивация личности.

Abstract

The scientific revolution of the XVII century, with the purpose to acquire objectively true knowledge, separated the man (subject) from the object, having converted him into a passive external observer of problem situations, which are arising in social everyday life and requiring from people to undertake active measures for its settlement. As a result, the human society came to be regarded as a kind of a "quasi-natural" object, where "objective" processes proceed without any touch of human subjectivity. Moreover, if such a subject-object opposition predetermined a successful development of the natural sciences, the same cannot be said about the social sciences, including the management science, "anonymous" theoretical models of which proved to be inadequate to the reality, as the society, in its essence, is a product of consciousness and will of the people. Therefore, it was necessary to return the man into the theory. The paper proposes to solve this problem within the framework of the Evergetics – a postnonclassical subject-and value-oriented science of management processes in the society. It considers the connection of the Evergetics with phenomenology, substantiates the necessity to create a cultural environment and to "immerge" the man therein to solve the problems of education of the individual (heterogeneous actor), who would be motivated to participate in management processes and to perform good actions. In Evergetics, the heterogeneous actor plays the role of not a professional, but an ordinary manager-theoretician, who, together with other actors, acquires intersubjective knowledge about the situation in everyday life, on the basis of which the decisions on the method of its settlement are produced.

Введение

Формирование классической науки, становление её как социального института, как известно, началось в XVII веке. Зарождающееся сообщество учёных фокусировало внимание на приобретении объективно-истинных знаний путём дистанцирования, отделения субъекта – исследователя (вместе со средствами наблюдений) от изучаемого объекта и использования эксперимента в качестве критерия истинности научного познания. Получал всё большее распространение *рационализм*, провозглашающий господство Разума, что приводило к изменению представлений о целях, задачах и методах научных исследований. И если в Античности и Средневековье в получении новых знаний участвовали не какие-то особым образом подготовленные специалисты, а люди из повседневности, то произошедшая в XVII веке научная революция ознаменовала появление на арене общественной жизни научных работников, для которых научная деятельность становилась профессией.

В сознании этого нового типа учёного *познавательно-рациональное отношение к миру доминировало над средневековым ценностно-эмоциональным с его главенством веры над чувствами, а чувства над разумом*. Знание становится основной целью его духовной деятельности, а не её побочным продуктом. Разум теряет свой онтологический статус и начинает выступать как противоположный полюс по отношению к бытию. И именно тогда сообщество учёных, вооружённых методологией классической научной рациональности, предопределило выдающиеся успехи и высокие темпы развития наук, прежде всего европейского естествознания.

Победоносное шествие классической науки и повышение социальной роли научного знания сопровождалось подавлением других типов (в том числе обыденного) знания. *Научное теоретическое знание приобрело решающее значение в жизни общества, стало высшим арбитром, легитимизирующим все стороны жизни общества*, а все другие формы знания стали занимать подчинённое положение и контролироваться теоретическим знанием [1]. Всё сказанное относится и к науке о процессах управления в обществе (*management science*).

В то же самое время любая реальная жизненная проблема требует для своего решения использования не только научных знаний, приобретённых с помощью методов классической гносеологии, но и значительного объёма онтологических знаний (*онтологий*), полученных на основе применения онтологической гносеологии (по Н. Лосскому и С. Франку), причём не научными работниками, а людьми из повседневности, находящимися в тех или иных проблемных ситуациях. Одних объективно-истинных знаний оказывается недостаточно, нужны и субъективные, и интэрсубъективные знания, опирающиеся на концепцию конвенциональной (согласительной) истины А. Пуанкаре [2]. Поэтому возникает необходимость возвращения в науку об управлении человека из повседневности, который был исключён из неё классической научной рациональностью. В данной статье это предлагается сделать в рамках эвергетики – постнеклассической субъектно – и ценностно – ориентированной науки о процессах управления в обществе [3].

1 Веберовская идеальная бюрократия

В начале прошлого столетия М. Вебер, опираясь на методологию классической науки, возникшей «в ходе развода знания и ценностей» [1], предложил модель управленческой машины, названную им идеальной бюрократией. В бюрократической иерархической системе управления человек уподобляется запрограммированному автомату, выполняющему возложенные на него функции, т.е. является формально организованным функционером, не проявляющим каких-то субъективных черт характера и своих ценностных предпочтений. Эти «механистичность» и «обезличенность» дают бюрократии такие же преимущества, какие имеет машина по сравнению с немеханизированными способами производства [4].

Однако следует иметь в виду, что эти преимущества достигаются при соблюдении целого ряда условий и предположений, главное из которых – объективность процессов, происходящих в объекте управления, будь то предприятие или учреждение, корпорация, регион или государство в целом. Более того, эти процессы предполагаются в значительной степени детерминированными и предсказуемыми. Тогда их можно измерять и оценивать с помощью ограниченного набора показателей, на основе которых можно прогнозировать состояние управляемого объекта в будущем. После этого лица, принимающие решения, имеют возможность выработать необходимые управляющие воздействия. Таково, в общих чертах, схематическое описание веберовской идеальной бюрократии, построенной на принципах классической научной рациональности.

В бюрократической модели организации разделяются, таким образом, система управления и объект управления. В системе управления функционируют менеджеры, наделенные рычагами управления – властью (государство) и деньгами (экономика, бизнес), а в объект управления включаются исполнители воли менеджеров из повседневного жизненного мира, кото-

рые не участвуют в процессах принятия управлеченческих решений. Поэтому *в науке об управлении, построенной на основе классической рациональности, человек и сообщество людей из повседневности не фигурируют*. А ведь именно они способны глубоко осознать сложившуюся в общественной жизни проблемную ситуацию, поскольку находятся «внутри» неё, а не менеджеры, познающие ситуацию «со стороны» [5].

Налицо противоречие: люди, «погруженные» в ситуацию и понимающие зачем и в каком направлении нужно её урегулировать, оказываются отстранёнными от процессов управления. Но здесь приверженцы традиционной бюрократии вероятней всего будут возражать, утверждая, что никакого противоречия нет, поскольку на практике мнение людей из повседневности учитывается (по крайней мере опытными менеджерами). С этой целью проводятся разнообразные социологические опросы и привлекаются эксперты, однако упускается из внимания важная деталь. Человек из повседневности рассматривается как некий источник информации, отвечающий на поставленные ему вопросы (чаще всего совсем просто – «да» или «нет»), а его сознание, способное генерировать смысловое содержание ситуации, обычно в расчёте не принимается, не говоря уж о коллективном постижении смысла группой лиц, находящихся в общей проблемной ситуации.

Иными словами, в лучшем случае люди из обыденной, повседневной жизни используются в качестве «датчиков» информации, содействующих построению информационной (а не смысловой) модели ситуации для менеджеров. Интеллектуальные и волевые ресурсы людей не используются, а именно в них кроются резервы повышения эффективности управления. Для включения этих резервов в практику управления, необходимо заниматься не «косметическим ремонтом» бюрократической машины, а кардинально преобразовать теорию, совершив переход от классической научной рациональности к постнеклассической [2], которая не отделяет субъекта от объекта (как это делает классическая наука), а наоборот, учитывает соотнесённость получаемых знаний об объекте с индивидуальными особенностями субъекта и средств его деятельности [6]. Речь идёт, таким образом, о становлении новой науки о процессах управления в обществе, названной в [3] эвергетикой.

2 Эвергетика и феноменология

Эвергетика, в отличие от субъектно - и ценностно-инвариантных классической науки об управлении и кибернетики, является *субъектно- и ценностно-ориентированной наукой*, ключевыми понятиями которой являются «повседневность» и «неоднородный актор» - человек, мотивированный к выполнению познавательно-деятельностных функций по осмыслению и урегулированию проблемной ситуации, в которой он оказался [7]. Эвергетика исходит из того, что любой человек *осознаёт окружающий его повседневный жизненный мир как калейдоскоп проблемных ситуаций, смысл которых он стремится понять*. При этом в его поле зрения всегда находятся «другие», каждый из которых по-своему, субъективно воспринимает и оценивает сложившуюся ситуацию, но, обладая интерсубъективным сознанием, стремится достичь взаимопонимания и консенсуса с «другими» при выборе устрашающего всех способа решения возникшей проблемы. С этой целью неоднородные акторы в темпе развития ситуации (т.е. в реальном масштабе времени) вырабатывают *интерсубъективные знания*, представляющие собой, по своей сути, *единое смысловое пространство*.

Здесь уместно отметить позицию основоположника феноменологической социологии А.Шюца, который разводил естественные и социальные науки, исходя из того, что у молекул и атомов нет смыслов, а социальная реальность имеет значение и смысловую структуру для людей. Индивид не является плёнником социальной структуры; *социальная реальность постоянно воссоздаётся нами, зависит от нашего сознания и наших её интерпретаций* [8].

В эвергетике реализуется именно *феноменологический подход к организации процессов управления в обществе* [9]. С точки зрения феноменологии явление мира в сознании и есть

этот мир. Внимание исследователя должно быть обращено не столько на сам мир, предметы этого мира, сколько на его явление в сознании – феномен [10]. Феномен не описывают извне, а переживают. Такое *рассмотрение физического мира и сознания индивида как связанных между собой частей единого является главной отличительной особенностью феноменологии Э. Гуссерля* [11].

Поскольку в эвергетике проблемная ситуация является объектом исследований и управления, постижение её смысла неоднородными акторами одновременно означает и согласованный выбор направления действий по её урегулированию. При этом речь идёт о прагматической трактовке понятия «смысл», при которой смысл становится субъективной ценностью и характеристикой полезности объекта для человека. Такой подход развивал В. Франкл [12], рассматривавший стремление человека к поиску смысла как врождённую мотивационную тенденцию, присущую всем людям и являющуюся «двигателем» поведения и развития личности. Он писал, что восприятие смысла есть «сознание возможности на фоне действительности, или, проще говоря, осознание того, что можно сделать по отношению к данной ситуации». А. Лэнгле уточнял [13]: *«Та возможность, которая по своей ценности и значимости выделяется нами как наилучшая в данных обстоятельствах, несёт в себе полноту актуального бытия, и есть смысл текущего момента».*

Таким образом в эвергетике реализуется феноменологический подход, который вводит в науку о процессах управления в обществе человека из повседневности – неоднородного актора, стремящегося понять смысл проблемной ситуации и урегулировать её совместно с другими акторами, осознающими себя в той же ситуации. Акторы (имеющие субъективные представления о мире и ценностных приоритетах) вырабатывают интерсубъективные знания, формируют единое смысловое пространство и определяют основные направления решения проблемы, отвечая на вопросы «зачем?» и «что нужно делать?». А поскольку окружающий мир рассматривается не просто как мир фактов, мир материальный, а как мир духовных сущностей, эвергетика вводит нас в мир культуры.

3 Культура как духовное основание эвергетики

Эвергетика исходит из того, что принятие управляемого решения человеком (группой лиц) зависит от его (их) принадлежности к той или иной культуре в её широком понимании, а не является результатом выполнения неких рациональных, формализованных процедур обезличенного «физико-математического разума», обязанного своим происхождением научной и мировоззренческой революции XVII века [3]. Ведь в те годы сформировалась классическая буржуазная мораль, тесно связанная с протестантской этикой, открывшей человеку возможность для реализации его мирских устремлений, стимулирующей рыночные отношения и активность предпринимательства. Рене Декарт тогда даже сформулировал основные принципы рационализма в искусстве: художественное творчество должно подчиняться строгой регламентации со стороны разума, а произведение искусства должно иметь чёткую, ясную структуру. Целерациональный, по М. Веберу, стиль мышления, ставший главной отличительной особенностью европейской культуры Нового времени, призывает человека следовать его эгоистическим устремлениям к накоплению материальных благ. Новое время не склонно понимать культуру в её духовной ипостаси, как совокупность искусственно созданных идеальных объектов; мир культуры воспринимался (и воспринимается) им как конгломерат явлений, механически сводимый к классическим рациональным моделям [10].

Эвергетика опирается на иное представление о культуре, полагая, что культура пронизывает все без исключения состояния социальной жизни, и нет ни одного социального феномена, который был бы изолирован от влияния культуры, не нёс бы на себе печать её воздействия [14]. В обществе, как целостном социальном организме, культура выступает аналогом генетических кодов, в соответствии с которыми воспроизводится организация биологической систем-

мы как целого и особенности её основных реакций на внешнюю среду. «Различные виды деятельности, поведения и общения людей, регулируемые кодами культуры, обеспечивают воспроизводство и развитие элементов и подсистем общества и их связей, характерных для каждого исторически конкретного вида социальной организации (присущей ему искусственно созданной предметной среды – «второй природы», социальных общностей и институтов, типов личностей, свойственных данному обществу, и т.д.)» [14].

«Важнейшим видом социокода, регулирующего человеческую жизнедеятельность, является естественный язык. Он не только позволяет описывать человеческий опыт, но и порождает новый опыт в процессе коммуникации. Структура языка задаёт определённый образ мира, способ фрагментации и синтеза его объектов. Одновременно язык выражает ценность – эмоциональное отношение человека к миру, программируя переживание людьми тех или иных описываемых событий и реакцию на них. Наряду с естественными языками как средством генерации и передачи социального опыта, огромную роль в социальной жизни играют языки искусства (живописи, музыки, танца, архитектуры, кино и т.д.), языки науки, а также различные конвенциональные наборы сигналов и символов, регулирующие поступки и действия людей» [14].

Культура, таким образом, - многогранное понятие. Её подсистемы – наука, техника, религия, право, экономика, государственная жизнь и т.д., будучи связанными между собой, образуют культурную среду в том или ином сообществе людей. Образование при этом понимается как процесс усвоения человеком навыков, умений и теоретических знаний и, как результат, духовный облик человека, который складывается под влиянием моральных и духовных ценностей, составляющих достояние его культурной среды. Главным здесь является «не объём знаний, а соединение последних с личностными качествами, умение самостоятельно распоряжаться своими знаниями» [15].

Человек становится личностью благодаря усвоению транслируемого в культуре социального опыта, но человек способен создавать и новые образцы культуры, которые соответствуют социальным потребностям. В этом случае они включаются в культуру и начинают программировать деятельность других людей. Индивидуальный опыт превращается в социальный, и в культуре появляются новые состояния и феномены, закрепляющие этот опыт [16]. Человек, который не только придерживается принятых в обществе культурных норм (что делает «культурный человек»), но и участвует в создании новых образцов культуры, может быть назван «человеком культуры».

В развивающемся обществе человек культуры стремится к преумножению производимого им персонального культурного наследия (а не просто к личному обогащению) и, как следствие, к повышению культурного потенциала общества в целом (а не только «богатства народов»). Иными словами, эвергетика как субъектно - и ценостно – ориентированная наука о процессах управления в обществе предполагает трансформацию «экономического человека» Адама Смита, постоянно калькулирующего свои доходы и издережки, в «человека культуры». Человек культуры развивает культурную среду (в её широком понимании), которая делает социальную общность (например, регион) привлекательной для людей, «областью притяжения», а не зоной их временного проживания. Тем самым в науку об управлении возвращается человек из повседневности, называемый неоднородным актором, выполняющий познавательно-деятельностные функции по урегулированию проблемных ситуаций, возникающих в общественной жизни [7].

4 Мотивация личности

В соответствии с основными положениями эвергетики процессы управления зарождаются тогда, когда человеком, а затем и группой лиц, начинает осознаваться наличие в окружающей их повседневной жизни проблемной ситуации (проблемы). После этого они могут повести

себя двояко : погрузиться в постижение смысла ситуации и поиски способов её урегулирования, т.е. стать неоднородными акторами, или «отмахнуться» от проблемы, не принимать участия в её решении. Этот выбор зависит от мотивации личности, связанной с внутренним побуждением к действию, обусловливающим субъективно – личностную заинтересованность индивида в его свершении [14]. Готов ли человек действовать в интересах общества ? Разделяет ли он точку зрения о взаимозависимости людей, о том, что «все мы плывём в одной лодке» ? Способен ли он поступиться своими интересами во имя других? Ответы на эти и другие подобные вопросы определяются тем, какими мотивами руководствуется человек, оказавшись в проблемной жизненной ситуации.

В качестве мотива поступков могут выступать различные элементы сознания [19]:

- представления и понятия о ценном и неценном (о добром и злом, должном и недолжном, прекрасном и безобразном, гуманном и негуманном, святым и грехом и т.д.);
- принятые в данном сообществе людей и сознательно воспринимаемые личностью моральные, правовые и другие нормы поведения, регулирующие взаимные отношения людей, а также отношения личности и общества;
- положительные и отрицательные, альтруистические и эгоистические чувства (симпатия, любовь, сострадание и т.д.; антипатия, ненависть, зависть и др.);
- потребности, интересы, желания и т.п.

Но к главным сознательно обоснованным мотивам необходимо отнести ценности, которые указывают на личностную и социокультурную значимость определённых объектов и явлений. Ценности придают смысл человеческой жизни, являясь частью культуры, получаемой от семьи, школы, религии и окружающей среды. Именно культурные ценности определяют, какие ответы даёт человек на вопросы о том, что такое «хорошо», и что такое «плохо».

Ключевой проблемой, таким образом, является *проблема формирования личности, мотивированной на совершение благих действий*; и директивное, рецептурное воспитание согласно предписаниям «делай так!» - плохой помощник в решении этой задачи. Человек должен быть погружён в культурную среду, в которой с использованием самоорганизации и самообучения происходила бы его *социализация*, понимаемая как «совокупность взаимосвязанных процессов усвоения и воспроизведения индивидом необходимого и достаточного для полноценного включения в общественную жизнь социокультурного опыта» и его становления как «субъекта (актора) социокультурных практик данного общества» [8].

Заключение

Научная революция XVII века, объявившая своим идеалом объективно – истинное знание, приобретённое с помощью методологии классической науки, отделила субъекта – исследователя от объекта исследований, что создало принципиально новую основу для успешного развития естественных наук. Однако такой подход к познанию Природы (как она есть «сама по себе», без примеси человеческой субъективности) нельзя механически переносить на общество и методы управления им, поскольку общество перестаёт быть обществом, если из него исключить людей. Ведь тогда получается, что общественные науки изучают общество как некий «квазиприродный объект», в котором действуют объективные законы, подобные законам естествознания, в то время как общество является продуктом субъективных начал: сознания и воли людей.

Как отмечается в [10], «практика социального анализа и социологии XX века показывает, что попытки строить социальные онтологии, т.е. схемы социального бытия, отвлекаясь от человеческих индивидов как субъектов социального процесса, приводит к серьёзным противоречиям : из теории исчезают люди и их энергия преобразования социальных форм, а социальные системы приобретают качества квазиприродных сил, стоящих над человеческим бытием».

Подобная ситуация характерна и для экономической науки. В работе [17] кризис экономической теории связывается с тем, что «*задача построения экономической теории по образцу физики видимо невыполнима...* Осознание факта кризиса и понимание его природы особенно важно для России. *Российское общество и в 1917, и в 1992 гг. отчасти стало жертвой естественнонаучной формы экономического знания, веры в то, что есть источник, где содержится точный и правильный ответ. Теперь наступило разочарование*».

Эта мысль развивается в [18]: «Экономическая наука в своём стремлении к объективности отвлекается от индивидуальной активности и психологической мотивированности в поведении людей... Социология стремится обнаружить объективные «механизмы» социальных взаимодействий и начинает рассматривать как второстепенные воздействия индивидов на социальные структуры, формы самореализации и самоутверждения людей в обществе».

Все обозначенные методологические проблемы относятся и к современной субъектно- и ценностно-инвариантной науке об управлении обществом и к кибернетике. Поэтому *необходимо развивать и практически применять эвергетику – субъектно- и ценностно-ориентированную науку о процессах управления в обществе, которая возвращает в теорию человека (неоднородного актора) из повседневности*. Коммуницируя между собой, акторы совместно приобретают интерсубъективные знания о проблемной ситуации, на основе которых вырабатывается и принимается решение о способе её урегулирования. Иными словами, неоднородные акторы выступают в роли не профессиональных, а обыденных управленцев-теоретиков.

Список литературы

- [1] Кара-Мурза С.Г. Кризисное обществоведение. – М.: Научный эксперт, 2011. – 464 с.
- [2] Vittikh V.A. Introduction to the Theory of Intersubjective Management. – Group Decision and Negotiation, volume 24, issue 1, January 2015, p. 67 – 95.
- [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] 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.)
- [5] Виттих В.А. О понятиях «познание» и «осознание» в науке об управлении - Проблемы управления и моделирования в сложных системах: Труды XVII международной конференции. – Самара, Самарский научный центр РАН, 2015, с.200 -201.
- [6] Степин В.С., Горохов В.Г., Розов М.А. Философия науки и техники. – М.: Гардарики, 1996.
- [7] 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.
- [8] Новейший социологический словарь. – Мин.: Книжный дом, 2010. – 1312 с.
- [9] 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 г., с.6182 – 6186.
- [10] Современный философский словарь. – Лондон, Франкфурт – на – Майне, Париж, Люксембург, Москва, Минск // ПАНПРИНТ, 1998.
- [11] Стивенсон Дж. Философия. – М.: АСТ: Астрель, 2007. – 294 с.
- [12] Франкл В. Человек в поисках смысла - М.: Книга по требованию, 2012. – 366 с.

NEED FOR ADVANCED GROUND SEGMENT SYSTEM IN MODERN APPLICATIONS OF COMPLEX SYSTEMS

A.B. Ivanov

EPFL, Lausanne, Switzerland, Space Engineering Center (eSpace)
EPFL, PPH-334, Station 13 1015, Lausanne, Switzerland,

anton.ivanov@epfl.ch; espace.epfl.ch

Tel: +41 21 693 6978

Key words: space systems, unmanned aerial vehicles, high altitude platforms, ground system, regulatory and public awareness concerns.

Аннотация

Формулируется задача необходимости разработки наземной системы управления сложными спутниковыми группировками, которая могла бы эффективно взаимодействовать с множеством ресурсов одновременно, отслеживая их производительность, а также отмечаются проблемы, которые при этом могут возникнуть.

At the present time, the technology development is driven by revenue generating applications, as opposed to political pressures, that have driven development of most space systems. Modern space infrastructure (satellites) becomes highly integrated with near ground infrastructure (Unmanned Aerial Vehicles, UAV).

Space systems are historically expensive and slow in development, however allow global reach in terms of coverage. In the last decade we have witnessed an explosion of UAV technologies for civil use (precision farming, infrastructure inspection etc.). These applications were driven on one hand by military applications (heavy drones) and technology enthusiasts (quadcopter). Commercial users now days [2, 4] do not specify whether their data should come from space segment or ground segment assets.

However, deployment and exploitation costs are extremely important and have to be kept to a minimum. Simple economics dictates that use of miniaturised, replaceable and inexpensive UAVs/satellites [1] on a massive scale is necessary to drive costs down. Therefore, we are witnessing creation of satellite megaconstellations [5] and swarms of drone vehicles.

High altitude platforms (HAPS) are also under development as an intermediate segment between UAVs and satellites, but entry level to this market can be compared to development of a new satellite system. Integrated applications today require operations of many assets at the same time, independent of their distance from the surface in order to minimise costs. Considerable experience can be driven from lean operations of satellite constellations and adapted to operations of swarms of UAVs.

There is a great need for developing ground systems that can efficiently interact with many different assets and monitor their performance. We also note, that there is considerable regulatory [3] and public awareness concerns that will arise soon. These concerns must be addressed as soon as possible by the technological community.

References

- [1] D. Jenkins and B. Vasigh, "The economic impact of unmanned aircraft systems integration in the United States," 2013.
- [2] Moran, M. S., Inoue, Y., & Barnes, E. M. (1997). Opportunities and limitations for image-based remote sensing in precision crop management. *Remote Sensing of Environment*, 61(3), 319-346. doi:10.1016/S0034-4257(97)00045-X

- [3] European RPAS Steering Group, “Roadmap for the integration of civil Remotely - Piloted Aircraft Systems into the European Aviation System - Final report from the European RPAS Steering Group,” 2013.
- [4] J. Fernández-Lozano and G. Gutiérrez-Alonso, “Improving archaeological prospection using localized UAVs assisted photogrammetry: An example from the Roman Gold District of the Eria River Valley (NW Spain),” *J. Archaeol. Sci. Reports*, vol. 5, pp. 509–520, 2016.
- [5] Planet Labs, Inc, <https://www.planet.com/pulse/>, accessed 29 April 2016.

REDUCING COMPLEXITY IN MODELING HUMAN BODY

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 Entwicklung
47800 Krefeld, Germany
iqmeth@t-online.de
phone: +49 (0) 2151-512-9675
fax: +49 (0) 2151-512-9676

Key words: *cybernetics, emergence, plant-wide control, physiology, functions concept.*

Аннотация

Разработана гипотетическая модель управления человеческим организмом на основе физиологических функций, которая иерархически классифицирована с использованием концепции предприятий. Основное внимание удалено формальной структуре сопряжений, которые управляют взаимодействиями. Связь функциональных уровней обеспечивается системными свойствами.

Introduction

In common educated opinion, human body system is “too complex” to lend itself to modeling in mathematical, engineering, or any other formal methodology: Any textbook on physiology appears to support this stance, and most - if not all - research follows the pervasive principle of reductionism - the smaller, the better to understand and the easier to solve. Holistic perspectives are called for from time to time, and typically end with demanding a “system’s viewpoint” [1-3] or “integrative thinking” [4]. Subsequent discussion of appropriate methodology is very general, implied proposals tentative, vague or hollow, and attention is again directed to studying it in small scale [5-7]. To the contrary, there is a slogan ascribed to USA leaders, “Think big!”, and its application suggests to carry a systems mission out on whole human body, not on parts. While complying with holistic understanding of human body in traditional Chinese medicine, methodology and principles in the present approach appear completely different - at least in present wordings and phrasings of the former.

The main ingredients of the present approach are building on (a) Norbert Wiener’s understanding of *analogous control structures in biological and technical systems* [8, 9], and (b) design of *plant-wide control in industrial engineering* [10]; in the latter context, design starts at the top and goes “top to down”, using next-level information in some specific way. Different from industry design situations, systems knowledge in human body is very limited: one knows the physico-chemical parts - cells, tissue, organs - morphologically, from anatomy, and one mainly understands their physiology, i.e. their role within the body, from pathology, but one is far from understanding how their interaction - from cell proteins to phenotype - is controlled by the body’s several thousands of feedback and feed-forward loops found in cells [11], in human physiology [12] as well as seen in clinical context [13] and in human behavior [14].

In this proposal, I look at human body *design motifs* and develop an approach to model the body’s “wiring” design from *function logic* - if evolution shapes species by function needs, why would nature do differently inside organisms? -, disregarding its biochemo-physical realization.

1 Human Body Life Sphere Components

Taking individual human body as its own *bio-sphere* of body's (physio)biological functioning and of the person's operational and intellectual capacity and motivational potentials, every such bio-sphere will have two kinds of surroundings, one is *eco-sphere*, it's habitat of natural or man-made space for living or current environment - without any other people -, and the other is its *socio-sphere* of socio-economic options, economic opportunities and social embedding [15]. The first is impossible without the second, the third may be seen as just no option for a hermit.

Principle 1: Bio-sphere *design motifs* are set by its *mission - reproduction* - and its designated *goal - death*. For every bio-sphere, the *role* of its (local) eco-sphere is to provide the *vital resources* for living and the space for *disposal* of consumption residuals. The *roles* of any bio-sphere's (local) socio-sphere are then three-fold: firstly, it provides the *gene pool* for reproduction, second, the opportunities for *learning* from others for life fitness, and last, the opportunities for *trading* resources for expanded effectiveness or greater efficiency in afore-mentioned activities [15].

Principle 2: The body's physiological activity and a person's actions in life-sphere context are exchanges of energy - mass and information, equivalently - within the body system and between body system and its outside world, respectively.

Their dynamics are certainly among the most difficult to reveal and describe mathematically, but Principle 1 gives first information towards their modeling:

Proposition 1: *Motifs and roles* set character, quality and - to some extent that depends on specific application and context - also intensity of *driving forces* in dynamics of energy (mass, information) transfers within human body system and for exchanges between body system and outside world.

2 Human Body Functional Components

2.1 Function Groups

Assuming *physiological correlates* for any exchanges of energy within body system bio-sphere, is a tautology. But by Principle 2, any of a person's actions in his or her wider life-sphere context must also have a physiological correlate, i.e. some specific functional activity in human body's bio-system. Research in this area is referred to as neurodynamics, neuroergonomics, neuroeconomics, neuropsychology etc. as much as *cognitive tasks* are involved [16, 17]; for *physical tasks*, it is the classical areas of anatomy / orthopedics and physiology / cardiology / neurology with special senses in otology, ophthalmology, dermatology; for *reproductive activity* it is the equally classical areas of andrology and gynecology with neurology and endocrinology; for *vital activity* it is the areas of pulmonology, rhino-laryngology, gastro-enterology, nephrology, hepatology etc.

As definitions of specialties in medicine and, consequently, of departments in hospital are based on anatomy and not on function, a functional concept of human body system will have much more in common with the structure of a big company than with that of a hospital.

Below "company"-level 0, whole human body, there is "group"-level 1 with human-body *function groups* (FG): \mathcal{V} : vital functions body, \mathcal{P} : (re)productivity functions body, \mathcal{O} : operational functions body, and \mathcal{Z} : cellular material body.

Real-life examples are:

(1) While for a normal person $\{\mathcal{O}, \mathcal{P}, \mathcal{V} \mid \mathcal{Z}\}$, in cases of *amyotrophic lateral sclerosis*, when FG \mathcal{P} must be substituted with biomedical devices, the patient is $\{\mathcal{O}, \mathcal{V} \mid \mathcal{Z}\}$.

(2) $\{\mathcal{V}, \mathcal{P} \mid \mathcal{Z}\}$ is a patient deprived of *volitive* action after, e.g. some severe head traumata, and in a situation where his physical activity is reduced to autonomous nervous system's *reflexes*.

(3) $\{\mathcal{V} \mid \mathcal{Z}\}$ is a patient in '*vegetative*' state, completely incompetent and totally dependent, with body system's vital functions just keeping its 10^{14} cells alive.

Proposition 2: Human body is a *production system* in \mathcal{P} with operational capacity \mathcal{O} [18].

2.2 Function Aggregates

Principle 3: [15,18]: *Function aggregates* are *compositions* of *function units* that were conceived to work together and are coordinated to form a subsystem - the function aggregate -dedicated to a distinct functional task within the whole system.

Corollary 1: The functional tasks of any two function aggregates (FA) can only supplement each other, but cannot overlap.

Corollary 2: Below “division”-level 2, there exists another level, “department”-level 3 of *function units* (FU).

For application below “group”-level 1 and in “division”-level 2, the **factory model** understanding in [15,18] follows by Proposition 2; it distinguishes human-body *function aggregates* (FA) *within* function groups \mathcal{V} , \mathcal{P} , and \mathcal{O} :

- $\mathcal{V} = \{ M, E, T, H, W, X \}$
 - with its function aggregates
 - **M**: management and control of physio-functional activity within human body,
 - **E**: energy,
 - **T**: transportation logistics for nutrients supply and removal of residuals,
 - **H**: ‘homeland’-type security, safety, integrity of functional processes,
 - **W**: ‘wall’ for enclosure, demarcating the border to outside world,
 - **X**: xeno-biotic residence (‘microbiome’);
- $\mathcal{P} = \{ P, R \}$
 - with its function aggregates
 - **P**: physical productivity and locomotor activity,
 - **R**: reproduction;
- $\mathcal{O} = \{ S, D \}$
 - with its function aggregates
 - **S**: ‘signal corps’ role of communication with outside world,
 - **D**: ‘director’ of management and control of person’s operational activity in outside.

2.3 Logical Units (LU) and Logical Aggregates (LA)

While FA’s and FU’s have fixed physical interpretations, LA’s and LU’s have not; yet, they are needed in definitions of concepts and their structures. Clearly, the FA’s defined above for “division”-level 2 are acting as LU’s for their respective function group, either \mathcal{O} or \mathcal{P} or \mathcal{V} , which then reveal as LA’s acting at “group”-level 1; analogously, these LA’s are the LU’s of “company”-level 0 whole-human-body LA [19].

3 Human Body Functional Relations

3.1 Schaltgefüge

Definition 1: [20] A system is a class of elements that are interconnected by *relations*; their interconnectedness distinguishes elements within the system from other elements outside. An *effectuation system* is a system of mutually interacting elements; *interaction* is transfers of energy (mass, information), directly or indirectly; elements interconnected by interaction are called *coupled*. The *formal structure of the set of couplings* is called *schaltgefüge*, for brevity.

Axiom 1: Schaltgefüge, the formal structure of the set of couplings, is independent of physical realizations [20].

Corollary 3 (Kybernetic Paradigm): Effectuation systems of equivalent functional structures have same schaltgefüge.

This motivates the mission for kybernetic modeling when the system’s structure of couplings is unknown, as it may occur in not-engineered systems or systems without known blueprint.

Principle 4: Study schaltgefüge of *equivalent functional structures* in engineered systems.

Remark 1: In previous expositions [18], systems of *comparable complexity* were required in order to learn from their engineered schaltgefüge, and because of the extent of complexity in human body system, focus was set on big and highly complex ones, like cruise liners, battle ships, steel works, chemical-industry plants, etc. However, by the structural decomposition of human body explained in the preceding section, the requirement of *comparable complexity of the whole* may be abandoned: It will suffice to have equivalent functional structure at each functional level, and w.r.t. components, a set-up that complies with the concept of logical units (LU) and logical aggregates (LA) in context of Principle 3 above may equally suffice.

In design of computer network systems, there are two classical models [21]: IBM's Systems Network Architecture (SNA) and the International Standards Organization's ISO reference model; they have in common (i) a layer-concept with seven (though not precisely matching) layers, and (ii) delegation of all physical tasks to single base layer one, reserving their six higher layers for logical network structures. This motivates the following axiom:

Axiom 2: Schaltgefüge of human body system can be studied solely from viewpoint of organizational science in delegating physical realization to the cellular system, living nature's material.

Remark 2: Certainly, living nature's options for building structures are living cells, not metal, glass, plastic and the like as used in engineered systems. When disregarding the cellular system, schaltgefüge applies to interactions *above* cell levels.

Remark 3: The proposition may be seen in conflict with the viewpoint that all “*factors ... are ... integral parts of a complex system which encompasses factors from DNA to social organization*” [3]. However, being an influencing factor to a cell's DNA does not imply that the cell's DNA interacts with it in the sense of Definition 1.

3.2 Emergence

Complex adaptive systems (CAS) are characterized by highly interwoven controls across all levels of hierarchy and nonlinear dynamics of energy transfers: “*Such systems show emergent properties that arise from the functioning of its interdependent components but are not simple aggregates of component-level properties*” [3]. This explains what characterizes emergent properties and when they arise - though not what they are or how they arise.

Axiom 3: In context of Section 2, in particular Definition 1 in combination with 2.3, *emergent properties* of a logical aggregate LA arise from all possible interactions between its logical units [19].

Corollary 4: In context of Definition 2, the emergent properties of a LA express as its LU-properties in context of interactions with all other LA's at the same functional level.

Remark 4: This creates a hierarchical reverse-tree or ‘roots’ structure, in which LU's of level n pass their properties on to LA's at level $n-1$ in a kind of ‘amalgamation by interaction’ of individual LU properties.

Remark 5: Though a *physical unit* in a real-life system may serve several LA's, a function model with LU's and LA's at several function levels may still comply with Corollary 1.

3.3 Methods

The system of couplings structures interaction dynamics in an effectuation system; one distinguishes feed-back control, control, and steering, each for a distinct purpose in systems context. As terminology is variable and English confusing because of misleading phonetic similarity, terms are made precise in main languages [15,19]:

Feed-back control (регулирование; 调节; Regelung): purpose is to maintain good operating conditions; a control unit balances out deviations of control values from a set point, a common feature in control engineering.

Control (управление; 控制; Steuerung): purpose is to initiate, monitor, modify, stop processes according to a process target and process feed-back signals (applicable in closed loop), a human operator's role.

Steering (руководство; 领导; Lenkung): purpose is to set operative goals, make decisions when and how to act and initiate actions, a typical “commander” role.

Remark 6: Physiological correlates in human body management and control system of $\{ \mathcal{V}, \mathcal{P}, \mathcal{O} | \mathcal{Z} \}$, vital, productivity and operational functions body, are seen in hormone system’s autonomous regulation via chemical messengers (feed-back control), central nervous system’s “autonomous part” that controls reflexes from spinal-cord centers and sub-conscious activity from sub-cortical brain levels (control), and central nervous system’s “motor part” that controls skeletal muscle motor function in conscious activity from motor-cortex brain levels (control), and higher brain cortex areas, the pre-frontal for thought and the limbic for emotion, are involved in operational decision-making (steering), cf. [12] for physiology details.

Proposition 3: An effectuation system’s dynamics of energy transfers are determined by the dynamics of target-setting steering decisions, of implied target-oriented action controls, and of feed-back controls in maintenance of system-readiness, cf. [22, Fig. 1].

3.4 Built-up

Function needs are implied by pre-specified production goals and upgraded to meet anticipated hazards; these function needs imply function logic of internal energy transfers: the design motifs for a “wiring plan”, or the *logic of couplings*, are specified for the operational decisions to be made according to production goals and enhanced for stress preparedness according to anticipated hazards [22].

The “wiring plan” is then laid out for the control dynamics with subordinate dynamics of feed-back controls and super-ordinate steering dynamics.

4 Plant-wide Control Concepts

4.1 Preliminary Remarks

The literature on industrial engineering from an automation engineering perspective seems to be sizable, and treatises on whole-plant engineering even rare. The reason may be that huge installations are typically built from bottom to top, joining small units to form larger components. However, this does not help in analysis of unknown systems: Assume that you are given an aircraft carrier and asked to draw its wiring plan - without accessing its blueprints, or the engineers who assembled it.

This illustrates the situation one is facing in exploration of human body system composition and structures of controls - very approximately, in particular because living nature’s material is living cells and - while cables and circuits may be followed up in the carrier when in dry dock - human body controls need to be studied in living body. This mandates concepts in plant-wide control design for application in re-engineering human body system’s schaltgefüge, its “wiring”; though, by Axioms 1 and 2, schaltgefüge will be studied independently from its physical realization (which only means that one could - in principle - ignore whether human body system actually uses hormones or nerves in any particular situation), this does not mean ‘independently of the controlled processes’, the “piping”.

4.2 Specifics [10]

The recommended procedure is based on USA standard S88.01 and assumes specifications of

- process model (defines by-large independent *process stages* each consisting of several *process operations* subdivided into one or more *process actions*)
- physical model (morphological or organizational “anatomy” of the “company”)
- control model (involving basic control, procedures control, coordination control, according to process model structures, and structured for realization in physical model).

As the structural concept of human body in Section 2 is already very close to the structures in an enterprise, translation of the specification for engineered installations into the context of human body system appears feasible.

4.3 Empirical Testing

Different from opportunities of advance empirical testing in application of plant-wide control designs in industrial engineering, the options for testing of human body models are many, in principle the world population, in practice much smaller samples of subjects. With each sample, specific aspects will be in focus, and stratification by gender and by age-group will be necessary to well address respective particulars. Special attention will be given to disease models, as these provide opportunities to study particular functional relations that cannot be revealed in a healthy person [19].

References

- [1] Kitano, H.: Systems biology: a brief overview. *Science* 295:1662-1664, 2002.
- [2] Ahn, A.C.; Tewari, M.; Poon, C.S.; Phillips, R.S.: The limits of reductionism in medicine: Could systems biology offer an alternative? *PLOS Medicine* 3(6): e208,709-713, 2007. DOI:10.1371/journal.pmed.0030208.
- [3] Diez Roux, A.V.: Integrating social and biological factors in helath research: A systems view. *Ann Epidemiol* 17: 569-574, 2007.
- [4] Hester, R.L.; Iliescu, R.; Summers, R.; Coleman, T.G.: Systems biology and integrative physiological modeling. *J Physiol* 589.5: 1053-1060, 2011.
- [5] Kitano, H.: Computational systems biology. *Nature* 420:206-210, 2002.
- [6] Tomkin, C.J.; Axelrod, J.D.: Understanding biology by reverse engineering the control. *Proc Natl Acad Sci USA* 102:4219-4220, 2005.
- [7] Noble, D.: Modeling the heart - from genes to cell to the whole organ. *Science* 295:1678-1682, 2002.
- [8] Wiener, N.: *Cybernetics or Control and Information in the Animal and the Machine*. Massachusetts Institute of Technology, Boston, 1961.
- [9] Wiener, N.: *Kybernetik. Regelung und Nachrichtenübertragung im Lebewesen und in der Maschine*. 2. rev. u. ergänzte Aufl., Econ-Verlag, Düsseldorf, Wien, 1963.
- [10] Erickson, K.T.; Hedrick, J.L.: *Plantwide Process Control*. Wiley, New York, 1999.
- [11] El-Hamad, H.; Kurata, H.; Doyle, J.C.; Gross, C.A.; Khammash, M.: Surviving heat shock: Control strategies for robustness and performance. *Proc Natl Acad Sci USA* 102: 2736-2741, 2005. [cf. their online supplement for mathematical detail].
- [12] Hall, J.E.: *Guyton and Hall Textbook of Medical Physiology*, 12th ed. Saunders, Philadelphia, 2011.
- [13] Tretter, F.: *Systemtheorie im klinischen Kontext*. Pabst Science Publishers, Lengerich, 2005.
- [14] Kalveram, K.T.: *Wie das Individuum mit seiner Umgebung interagiert*. Pabst Science Publishers, Lengerich, 1998.
- [15] 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.
- [16] Wang, R.; Pan, X. (eds.): *Advances in Cognitive Neurodynamics* (V). Springer Science+Business Media Singapore, 2016.
- [17] Weber, B.; Rangel, A.; Wibral, M.; Falk, A.: The medial prefrontal cortex exhibits money illusion. *Proc Natl Acad Sci USA* 106:5025-5028, 2009.
- [18] Mau, J.: On Reverse Engineering of Human Body System. *CEUR Proceedings of ITNT-2016 International Conference on Information Technologies and Nanotechnologies*, 17-19 May 2016, Samara. (In review.)
- [19] Mau, J.: Kybernetic modeling of human body system. *Proceedings of the XII Annual Russian German Conference on Bio-Medical Engineering RGC'2016*, 4-7 July 2016, Suzdal / Russia. (To appear.)
- [20] Sachsse, H.: *Einführung in die Kybernetik*. Rowohlt Taschenbuch Verlag, Reinbek bei Hamburg, 1974.
- [21] Kauffels, F.J.: *Rechnernetzwerksystemarchitekturen und Datenkommunikation*. Bibliographisches Institut & F.A. Brockhaus AG, Zürich, 1989.
- [22] Mau, J.: Bioautomation - Re-engineering human body system controls. Международной конференции и молодежной школы «Информационные технологии и нанотехнологии» (ИТНТ-2016), 17–19 мая 2016 г. Самара; Сборник материалов: 661-668, 2016. (CD-ROM: Samara State Aerospace University, Samara, Russia, 2016).

INTELLIGENT SUPPORT FOR COMPLEX COOPERATIVE SYSTEMS

N. Mehandjiev

Alliance Manchester Business School,
The University of Manchester, Booth Street West, Manchester, M15 6PB, UK
n.mehandjiev@manchester.ac.uk
Tel: +44 (0) 161 820 8343

Key words: global supply chain, IT support systems, knowledge model, flexible and collaborative support systems, aerospace and automotive manufacturing, Industry 4.0

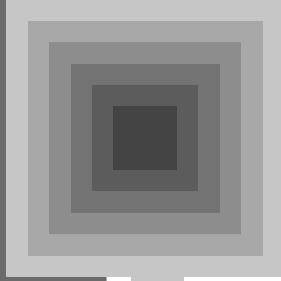
Аннотация

В современном мире многие производственные компании вынуждены работать в условиях глобальных цепочек поставок и гиперконкурентных стратегий, требующих учёта быстрых изменений на рынке. Используемые на предприятиях ИТ-системы по большей части являются локальными, нежели глобальными, и жесткими, нежели гибкими. Поэтому, с одной стороны, они не в состоянии одновременно удовлетворять требуемому уровню координации действий среди партнеров в глобальных цепочках поставок а, с другой стороны, не могут обеспечить быструю реакцию в условиях гиперконкуренции. По мнению специалистов одним из возможных путей решения проблемы является использование интеллектуального программного обеспечения. Так, использование моделей организаций и цепочек поставок, основанных на знаниях, позволит создавать системы, в которых управление и поставки могут осуществляться быстрее, чем меняются ограничения и конкуренция в глобальных цепочках поставок. В докладе рассматривается «знаниевая» модель конкурентных цепочек поставок для производства, основанная на богатом опыте выполнения Европейских проектов. Модель основана на использовании Теории Координации (Массачусетский технологический институт) с учетом предложенного авторами подхода, заключающегося в ее комбинации с принципами действий по ситуации. Модель позволила создать гибкие и конкурентные системы поставок применительно к предприятиям аэрокосмической и автомобильной промышленности. Подход полностью соответствует идеям концепции «Индустрия 4.0».

Manufacturing companies of today operate in an environment of global supply chain and hyper-competitive strategies demanding rapid change, yet the IT support systems are generally local rather than global and rigid rather than flexible. IT support thus fails to support both the necessary level of coordination across partners in the global supply chain and the rapid speed of change typical to hyper-competition. Using intelligent software to address this problem is seen by many as the way forward. Using knowledge-based models of the organisations and the supply chain enables the construction of systems which can guide and support rather than constrain change and collaboration in complex global supply chains.

Using case studies from a number of European projects we have developed a knowledge model of collaborative supply chains in the domain of manufacturing. The model is based on MIT's Coordination Theory where dependencies between activities are reduced to flow, fit and shared resource dependencies, and coordination processes manage these dependencies to address any problems. We combine this with the principles of situated action, where goals are operationalised through processes in a flexible and reversible manner. Actors are responsible for goals and collaborate in deciding on the best way of addressing problems arising in processes and coordination conflicts.

This model allows us to build flexible and collaborative support systems in the context of aerospace and automotive manufacturing. This approach is aligned with the thinking behind Industry 4.0 because it can ensure robustness of information systems in the face of manufacturing exceptions and supply chain changes.



Management Processes in the Society

Процессы управления в обществе

ПОВСЕДНЕВНОСТЬ, ЗНАНИЯ И СИСТЕМЫ

В.А. Виттих

Институт проблем управления сложными системами РАН
443020, Самара, ул. Садовая, 61, Россия
vav1940@gmail.com
тел: +7 (846) 332-39-27, факс: +7 (846) 333-27-70

Ключевые слова: эвергетика, процессы управления, повседневность, жизненный мир, мир систем, научные и обыденные знания, неоднородный актор, мультиагентное исчисление.

Abstract

In the context of the establishment and development of evergetics - postnonclassical subject- and value - oriented science of management processes in society - it becomes necessary to give significant social status not only to scientific knowledge, but also to everyday one. World of systems must occupy a subordinate position in relation to the world of everyday life and to social integrity. Instead of the citizen as a "ward" (in the paternalistic model of the state) and "state client" (in a client - oriented model) the figure of heterogeneous actor as the man of everyday life, recognizing himself "inside" the prevailing in the society problem situation and willing to use his intellectual, willful and material resources for its settlement is proposed. The problem of scientific field developing within the evergetics associated with the development of multi-agent calculus, which allows to simulate the negotiation of the groups of the heterogeneous actors from the "life-world" with the help of formal negotiations of software agents plurality in the "virtual world", specially constructed in the computer environment is stated.

Введение

Ещё в глубокой древности люди в своей *повседневной жизни* приобретали знания и создавали *системы* для того, чтобы совместно находить способы выхода из возникающих *проблемных ситуаций*. Побудительным мотивом для этого являлась борьба за выживание, которая вынуждала первобытного человека *коммуницировать* и *кооперироваться* с себе подобными, распределяя роли при решении проблем в системе общинных отношений. В этом смысле кол-лективную охоту на мамонта можно рассматривать как один из первых хрестоматийных примеров системно организованной человеческой деятельности. Со временем создаваемые людьми и используемые в их жизненной практике системы усложнялись, а «поверхностные» обыденные знания становились всё более «глубокими». Совершенно ясно, например, что для строительства корабля, способного находиться на плаву и маневрировать в условиях разбушевавшейся морской стихии, необходимо было иметь весомый запас инженерных знаний, почерпнутых из многовековой повседневной практической деятельности людей.

Это были именно обыденные, а не научные знания, появление которых было связано с первой научной революцией 17 века, ознаменовавшей рождение классической науки. И если естествознание и точные науки, опираясь на классическую гносеологию с её отделением субъекта от объекта исследований и концепцией объективно – истинного знания, получили мощный импульс к своему развитию и достигли впечатляющих успехов, то этого нельзя сказать об обществознании, в том числе и о науке, изучающей процессы управления в обществе, поскольку возникало много вопросов в связи с «вынесением» человека из общества и превращением тем самым его (общества) в некий «квазиприродный» объект, «объективно» познаваемый со стороны. Один из таких вопросов касается необоснованного игнорирования обыден-

ных знаний и ориентации исключительно на объективно-истинные научные знания при исследованиях и организации процессов управления в обществе.

1 Научные и обыденные знания

Когда кто-то говорит, что «этот результат получен наукой», то автоматически подразумевается достоверность и обоснованность приобретённого знания. Ненаучное, в широком смысле *обыденное, повседневное знание*, наоборот, вызывает обычно недоверие, и поэтому оно в жизни общества всегда отодвигалось на задний план сциентизмом, абсолютизирующим социальную роль науки. Как отмечает автор монографии [1], *этот тип знания оказался подавленным научным рационализмом*; при этом он приводит важное уточнение К.Лоренца : «Установка рационализма совершенно законна в научном исследовании. Её разрушительное воздействие на оснащение ума сказывается именно тогда, когда ум выходит за стены научной лаборатории – когда речь идёт об осмыслиении реальных, целостных проблем жизни. Эти проблемы не являются ценностно нейтральными и не укладываются в формализуемые модели, предлагаемые кодифицированным теоретическим знанием. Подход к жизненным проблемам с чисто научным мышлением может иметь катастрофические последствия».

И тем не менее практически значимое обыденное знание всегда считалось второсортным, имеющим смысл только потому, что для решения какой-то жизненной проблемы в данный момент не хватает научных знаний. Однако это не совсем так, а точнее – совсем не так. Дело в том, что наука занимается построением систематизированного образа части реальности, «вырванной» из некоторой целостности с помощью процедур идеализации и абстрагирования. Научные интересы учёного определяются поисками ответов на вопросы «Как?» и «Почему?». На вопросы «Зачем?» и «Что нужно делать для решения проблемы?» научный работник обычно отвечает с трудом, проигрывая на этом поле людям из повседневности, находящимся «внутри» некоторой проблемной ситуации. Не случайно поэтому, как говорят историки науки, Исаак Ньютон, будучи избранным депутатом английского парламента, не произнёс там ни слова.

Поэтому для познания и осознания окружающего мира [2] (равно как и самого себя) человеку недостаточно одних научных знаний. Он должен уметь приобретать и использовать и обыденные знания, к которым относятся не только личностные, субъективные знания, но и интерсубъективные знания, базирующиеся на концепции конвенциональной истины А.Планкаре и являющиеся результатом соглашения группы лиц (неоднородных акторов), осознающих себя в общей проблемной ситуации и готовых к участию в её урегулировании [3].

Иными словами, речь идёт о том, чтобы *придать значимый социальный статус не только научным, но и обыденным знаниям*, приобретённым и используемым людьми из повседневности при решении их жизненных проблем. А это означает, что признаётся не только объективно-истинное, но и конвенционально-истинное интерсубъективное, и личностное (субъективное) знания, имеющие ограниченный «радиус действия» как во времени, так и в пространстве, т.е. они применимы «не всегда» и «не везде». Обыденные знания оказываются «ситуационно окрашенным», но, строго говоря, и научные знания также не могут претендовать на «абсолютную применимость», поскольку они создаются обычно при каких-то ограничивающих условиях. Тем самым утверждается, что *обыденные знания должны занять достойное место в общей системе знаний*.

2 Системы и повседневный жизненный мир

Вторая половина 20-го века ознаменовалась широким распространением *системного подхода* к решению задач, возникающих в жизни людей. «Большая часть сознательной деятельности человека приводит к образованию систем из хаоса», - писали автора монографии [4] (И.Пригожин и И.Стенгерс, как известно, позднее опубликовали в [5] концепцию «порядка из

хаоса»). Это системы государственного и муниципального управления, системы здравоохранения и образования, производственные и транспортные системы и т.п.. *Социальная самоорганизация в повседневной жизни общества выступает в качестве механизма генезиса систем* [6], в которых человеку предначертано исполнение тех или иных ролей, требующих от него соблюдения определённых норм и правил поведения, при общем стремлении «сделать системы отношений между индивидуумами более формальными» [4], «направить их на работу в интересах системы и заставить их работать наиболее эффективно, чтобы достичь цели системы» [7]. Ставший расхожим термин «система» начал употребляться и там, где в нём не было необходимости, в результате чего создавалась иллюзия того, что реальность – это одни системы систем, и ничего больше нет.

На самом деле системы, «вырастающие» из самоорганизующегося *повседневного жизненного мира* (где люди в небольшой степени обременены формализованными отношениями), образуют *мир систем*, в котором каждая система (или подсистема) начинает вырабатывать собственные цели и критерии эффективности, постепенно отдаляясь от мира повседневности. Более того, по мнению Ю.Хабермаса [8], происходит *колонизация жизненного мира системами* : «императивы автономных подсистем, сбросив идеологические покровы, завоёвывают, подобно колонизаторам, пришедшем в первобытное общество, жизненный мир извне и навязывают ему процесс ассимиляции». В противовес этому « современные общества, исходя из самопонимания, выраженного в принципах демократических конституций, утверждают притам жизненного мира над подсистемами... Интегрированные в системы сферы действия должны функционировать, не нарушая целостности жизненного мира, то есть сферы действия должны занимать подчинённое положение по отношению к социальной целостности».

Важно понимать при этом, что повседневный жизненный мир – это некий фон, среда, в которой находятся коммуникативно действующие индивиды, а *коммуникация* является не просто значимой составляющей этого мира, но и способом его существования. Повседневность – это мир, в котором человек родился и живёт как телесно- духовная целостность. При этом, по Н.Бердяеву [9], «человек - не дробная, бесконечно малая часть Вселенной, а малая, но цельная вселенная». Человек (а тем более сообщество людей) – не система, которую можно описать ограниченной совокупностью понятий и отношений между ними. Другое дело, если сначала искусственно сконструирована социальная система (как некая абстракция), в которую затем встроена «проекция» человека на его роль в этой системе. Тогда в системе действуют эти самые «проекции», в то время как *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.* [10].

В мире систем мы имеем дело с *функционером* – «человеком системы», чья деятельность состоит в том, чтобы выполнять функции, т.е. функционировать, *быть функцией системы*. Налицо проблема *двойственности*: человек обречён одновременно жить в повседневности и функционировать в системах. При этом, как считал Альфред Вебер, происходит раскол личности на функционера и более или менее быстро гибнущий остаток человека [11]. Такая пессимистическая точка зрения, которая может вызвать возражения, тем не менее имеет под собой основания.

Дело в том, что процессы управления в мире систем реализуются с помощью двух взаимодополняющих рычагов управления –*власти* (государство) и *денег* (экономика, бизнес), а самоорганизующийся повседневный жизненный мир охраняется *общественным мнением* [8]. Но формирование общественного мнения может происходить (и происходит!) под воздействием на массовое сознание политических институтов, СМИ и т.п. путём использования упомянутых рычагов власти и денег. Повседневный жизненный мир оказывается «под прессом» мира систем (хотя в демократическом обществе должна наблюдаться обратная картина [8]), а регуляция поведения индивида происходит поэтому в направлении развития ценностных ориентаций и навыков функционера. На передний план выдвигается стремление сохранить себя во

власти и обогатиться любой ценой. Общественное мнение, таким образом, может содержать в себе навязанные людям системами неадекватные представления о действительном положении вещей.

3 Человек в процессах управления обществом

К числу таких искажённых представлений о реальности относится культивируемый в обществе известный тезис Адама Смита о «невидимой руке» рынка, с помощью которой эгоистическое стремление к личной выгоде влечёт за собой рост богатства всего народа. З.Бауман [12] поставил под сомнение это фундаментальное моральное оправдание свободной рыночной экономики – а именно идею о том, что стремление к личной наживе в то же самое время создаёт оптимальный механизм обеспечения общественных благ. «То, что на планете, попавшей в силки учения об экономическом росте, упорно сохраняется бедность – факт, которого хватит для того, чтобы осмотрительные люди сделали паузу и задумались как о непосредственных, так и о побочных последствиях подобного распределения богатства. Углубляющаяся пропасть, отделяющая бедных и бесперспективных от зажиточных, жизнерадостных, уверенных в себе и шумных – пропасть, глубина которой уже делает её непреодолимой для всех, кроме самых сильных и наименее щепетильных скалолазов, – представляет собой очевидную причину для беспокойства... В вопиющем противоречии с политическими заявлениями, предназначеными на роль массовых представлений – уже никем не изучаемыми, не оспариваемыми и не проверяемыми – богатство, накапливаемое в верхних слоях общества, откровенно не желает «просачиваться вниз» и делать остальных людей более богатыми, более счастливыми, либо более уверенными и оптимистичными в отношении своего собственного будущего и будущего их детей» [12].

Понятно, что общественное мнение относительно того, что богатство немногих идёт на пользу всем прочим, выгодно прежде всего системам, управляемым силой власти и денег, которые стараются не замечать всё возрастающего социального неравенства и создавать иллюзию справедливого устройства человеческого общества. Но на поверку оказывается, что богатые богатеют, а бедные беднеют, т.е. *процессы управления* в обществе организованы не в пользу жизненного мира и *нуждаются в коренной модернизации*. Суть этих преобразований должна состоять в том, чтобы *включить в процессы управления обществом людей – акторов из повседневности*, которые не являются профессиональными управленцами, но мотивированы к участию в управленческой деятельности [3].

Как известно, в *патерналистской модели государства*, существовавшей в СССР до девяностых годов прошлого столетия, человек рассматривался как некое безмолвное существо, находящееся под постоянной опекой государства, т.е. как *подопечный*, жизнь которого регулируется по преимуществу органами государственного управления. На смену этой модели в девяностые годы пришла *клиент – ориентированная модель*, в которой граждане выступают как *потребители государственных услуг* и наделяются правами по контролю за качеством их исполнения [13]. Однако управление, сосредоточенное на оказании услуг гражданам – клиентам государства, являясь шагом вперёд по сравнению с патерналистской моделью, тем не менее ещё не предполагает включение рядовых граждан из мира повседневности в процессы принятия решений по урегулированию проблемных ситуаций, возникающих в общественной жизни. Поэтому в [14] на передний план выдвигается фигура *неоднородного актора* – человека из повседневности, осознающего себя не «вне», а «внутри» сложившейся в обществе проблемной ситуации, готового использовать свои интеллектуальные, волевые и материальные ресурсы для её урегулирования совместно с другими акторами, каждый из которых имеет собственную точку зрения на проблему и свои субъективные представления о ценностях. Акторы коммуницируют между собой, самоорганизуясь в *ассоциации* и достигая *взаимопонимания и консенсуса* при обсуждении вопросов о том, «зачем?» и «что нужно делать?» для урегулиро-

вания проблемной ситуации. Вырабатывая интерсубъективный взгляд на проблему, акторы взаимодействуют и с миром систем, в котором ищется ответ на вопрос «как это нужно делать?» с применением методов классической науки об управлении (*management science*) и кибернетики, инвариантных по отношению к субъектной составляющей и аксиологическим факторам.

Эвергетика – зарождающаяся постнеклассическая субъектно - и ценностно – ориентированная наука о процессах интерсубъективного управления в обществе – постулирует включение людей из повседневности (неоднородных акторов) в управленческую деятельность [15, 16]. Объединённые стремлением урегулировать общую проблемную ситуацию акторы образуют ассоциации, в рамках которых вырабатывают *интерсубъективные знания* о проблеме, используемые затем для принятия согласованного решения о способе урегулирования ситуации.

Процесс управления начинается с того, что автономные неоднородные акторы в своей повседневной жизни осознают проблемную ситуацию, т.е. неудовлетворительное положение дел, когда ещё не ясно, что нужно делать для его изменения. Акторы не являются сторонними наблюдателями, а «погружены» в ситуацию и, соответственно, обладают *высокой степенью мотивации* к её урегулированию в некотором компромиссном, устраивающем всех направлении. Интерсубъективное сознание акторов приводит их к необходимости искать контакты с другими акторами и самоорганизовываться в ассоциации, совершая соответствующие коммуникативные действия [3]. Акторы проводят дискурсивные, базирующиеся на аргументации и убеждениях, переговоры и вырабатывают интерсубъективные знания, в которых выражено общее для всех акторов *смысловое содержание ситуации*, т.е. построено единое смысловое пространство.

Ассоциации взаимодействуют с миром систем с целью достижения взаимопонимания и консенсуса. Причём консенсус не означает, что «все – за», он означает лишь, что «никто не против». В результате акторы из мира повседневности определяют «зачем?» и «что нужно делать?» для урегулирования ситуации, а в мире систем решается вопрос о том, «как это нужно делать».

Проблемная ситуация трансформируется в выбранном направлении (относительно которого достигнут консенсус) и снова оценивается в повседневном жизненном мире. Если акторов всё устраивает, то ситуация считается урегулированной, и ассоциации прекращают своё существование. Если – нет, то корректируются точки зрения, интересы, критерии оценки и ставятся новые задачи. И эта процедура повторяется до тех пор, пока не будет достигнуто удовлетворительное положение дел.

Важно иметь в виду, что процессы интерсубъективного управления, которые должны происходить в реальном масштабе времени (т.е. в темпе развития ситуации) [3], нуждаются в создании инструментария, обеспечивающего возможность проведения оперативного и результивного многостороннего диалога неоднородных акторов с целью принятия согласованного решения относительно способа урегулирования проблемной ситуации. Поэтому в эвергетике должно получить развитие научное направление, связанное с разработкой исчисления, позволяющего моделировать переговоры группы акторов из «жизненного мира» с помощью формализованных переговоров множества их программных агентов в «виртуальном мире», специальным образом сконструированном в компьютерной среде. Такое мультиагентное исчисление должно играть в эвергетике роль, аналогичную той, которую выполняют дифференциальное, интегральное и вариационное исчисления в классической науке об управлении, но оно будет кардинально отличаться от них принципами своего построения, базирующимися на платоновской диалектике [17], феноменологии Э.Гуссерля [18] и концепции конвенциональной истины А.Пуанкаре [3].

Заключение

Изложенный подход к организации процессов управления в обществе обеспечивает включение рядовых граждан из повседневности (точнее их части – неоднородных акторов) в процессы выработки и принятия решений. Самоорганизовавшись в ассоциации, они вступают в диалог с миром систем, выполняя роль своеобразного «противовеса» в тех случаях, когда системы начинают действовать в своих интересах, отодвигая на задний план актуальные проблемы жизненного мира. Поэтому назрела потребность в практическом применении эвергетики и принципов интерсубъективного управления, нацеленных на установление социального равновесия в обществе и открывающих качественно новые возможности преодоления социального неравенства, борьбы с бедностью, коррупцией, предотвращения войн и, в конечном счёте, повышения качества жизни людей, населяющих нашу планету.

Список литературы

- [1] Кара-Мурза С.Г. Кризисное обществоведение. – М.: Научный эксперт, 2011. – 464 с.
- [2] Виттих В.А. О понятиях «познание» и «осознание» в науке об управлении - Проблемы управления и моделирования в сложных системах : Труды XVII международной конференции. – Самара, Самарский научный центр РАН, 2015, с.200 -201.
- [3] Vittikh V.A. Introduction to the Theory of Intersubjective Management. – Group Decision and Negotiation, volume 24, issue 1, January 2015, p. 67 – 95.
- [4] 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.)
- [5] Приожин И., Стенгерс И. Порядок из хаоса (новый диалог человека с природой). – М.: Прогресс, 1986.
- [6] Виттих В.А. Механизмы социальной самоорганизации. – Проблемы управления и моделирования в сложных системах : Труды XIII международной конференции. – Самара, Самарский научный центр РАН, 2011, с.10 – 17.
- [7] Kennedy J.L. Psychology and System Development// in Robert M. Gagne Psychological Principles in System Development, Holt, Rinehart and Winston, Inc., New York, 1962.
- [8] Хабермас Ю. Отношения между системой и жизненным миром в условиях позднего капитализма. – Thesis, вып.2, 1993, с.123 – 136.
- [9] Бердяев Н. Философия свободы. – М.: ФОЛИО, 2004. – 732 с.
- [10] Современный философский словарь. – Лондон, Франкфурт – на – Майне, Париж, Люксембург, Москва, Минск // ПАНПРИНТ, 1998.
- [11] Философский энциклопедический словарь. – М.: ИНФРА – М, 1997. – 576 с.
- [12] Бауман З. Идёт ли богатство немногих на пользу всем прочим? – М.: Издательство Института Гайдара, 2015. – 106 с.
- [13] Осборн Д., Пластрик П. Управление без бюрократов: Пять стратегий обновления государства. – М.: ОАО Издательская группа «Прогресс», 2001. – 536 с.
- [14] 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.
- [15] Виттих В.А. Проблемы эвергетики. – Проблемы управления, № 4, 2014, с. 69 – 71.
- [16] 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.
- [17] Виттих В.А. Платоновская диалектика как первооснова науки об управлении обществом. – Онтология проектирования, № 2, 2013, с.9 – 11.
- [18] 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 г., с.6182 – 6186.

ИНТЕРСУБЪЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ УПРАВЛЕНИЯ: МЕЖДУ ТОЛПОКРАТИЕЙ И СОЦИАЛЬНЫМ СЛУЖЕНИЕМ

М.Р. Арпентьева

Калужский государственный университет имени К.Э. Циолковского
248003, Калуга, ул. Разина, 26, Россия
mariam_rav@mail.ru
тел: +7 (8482) 578038

Ключевые слова: управление, технологии, идеология, толпократия, крауд-технологии, эвергетика, интерсубъективные технологии, эвергетические стратегии, социальное служение.

Abstract

The article is devoted the analysis of modern ideologies and theories of governance, their views on the place of multi-agent technology in the development of society. Discuss the role of evergetics and intersubjective management technologies to improve the theory and practice of managing its development, harmonization of society and the state relations. Examines and compares evergetical strategies of the management, realizing their mono-agent and multi-agent technologies, their possibilities and limitations. The article reveals the challenges of implementing crowdocracy and its technological supports - crowd-technologies comparison of capabilities and limitations of the ideology of crowdocracy and publicity and ideology of lowerarchy and social service to optimize the processes of decision making current and future decisions in organizations and communities. Costs shown classic, mono-agent management technologies, as well as a modern, multi-agent technologies: the development of the theory of transparency and of society as a panopticon, demonstrating the social - and personality-distorting potential of crowd-technology that allows total control of the population and turns people into slaves, destroying social and human capital. It considers Lowerarchy and social service, as well as implement them evergetical, multi-agent, intersubjective technologies management of community. This technologies enables to create a state-church and to strengthen the personal development of citizens, to develop and accumulate social and human capital.

Введение

Современные сообщества, остро ощущая, что государственные и общественные структуры разделены и не сотрудничают, обращают взгляд на поиск альтернативных привычным, классическим, моносубъектным (моноакторным) технологиям и идеологиям управления [1-3]. Псевдодемократические процессы, активно протекающие повсеместно, где есть то, то называют «цивилизация», показывают, что в превозносимом цивилизацией понятии «демократия» существуют большие изъяны, что тот образ демократии как идеологической и технологической основы мультисубъектности или «мультиакторности» управления, который сложился в головах теоретиков, на практике невозможен: все попытки ее «исправления» приведут, как и предшествовавшие им, к закономерному и единственному итогу - власти бюрократии и, соответственно, тех, кого она представляет: криптократию, наделенную политической и иной властью. Среди современных альтернатив лидирует идеология толпократии («власти толп») и претендующие на статус мультиакторных (многоакторных) крауд-технологии – технологии участия «толп» как «социальных партнеров» в принятии актуальных и перспективных решений. Реже, но все же отмечается значимость привлечения граждан и иных структур и сообществ, в том числе путем создания государственных структур и законодательства, к деятельности социального служения, переходу к интерсубъективному управлению, интерсубъективным технологиям, рассматриваемым в эвергетике и ряде иных подходов [4-7 и др.]. Отмечает-

ся, что мультиакторные системы управления могут быть успешно использованы для решения проблем, которые сложно или невозможно решить с помощью одного агента или «монолитной системы»: моделирование и управление социальными структурами [2; 3]. Поскольку, однако, специальной разработкой ценностно-смысовых и нравственных различий понятий «социальное служение», «лоуархия» (lowerarchy) и «гласность», «власть толпы» и т.д. в сопоставлении с конкретными технологиями управления не так много ни в среде практиков, ни в среде теоретиков, и, кроме того, ни государством, ни обществом они развернуто не обсуждаются, то можно в очередной раз получить продукт под названием «хотели как лучше, а получилось как всегда». Кроме того, несмотря на то, что в сфере социальной и экономической политики государства и бизнеса, особенно в развитии периферийных территорий, происходят изменения, связанные с переосмыслением роли человеческого и социального капитала, важности социально-государственного партнерства государства и общества, «центра» и периферии, предпринимателей и потребителей, профессионалов и непрофессионалов, социального служения и добровольчества, - в своей основе управление продолжает, симулируя изменения, оставаться репрессивно-контролирующим [8]. Более того, современные моноакторные, «монолитные системы» управления ищут пути, которые могут дать им еще больше власти: последние видятся необходимыми перед лицом нарастающих сопротивлений и конфликтов власти и общества, бизнеса и власти, общества и бизнеса и т.д.. на этих путях социальный и человеческий капитал ценится лишь постольку, поскольку речь идет о самой структуре управления: управляемые в разряд «капитала» не включаются или, если включаются, то так, чтобы включение в процесс управления работало «против них». Такова толпократия с ее идеями гласности и крауд-технологиями [9; 10].

1 Общие понятия и подходы к изучению управления развитием сообществ

Современные государства демонстрируют нежелание менять свое отношение – идеологию и технологии – к управлению. Об этом свидетельствуют продолжающаяся либерализация отношения к предпринимательству, государственным органам и общественным структурам, нарушающим нравственные нормы и права людей, огромное социально-экономическое и политическое неравенство граждан центральных и периферийных территориальных объединений, а также «игры» современного профессионального «рынка» и проблемы прекаризации профессионального труда. Об этом говорят и деформации профессиональной и человеческой культуры на фоне откровенной симуляции заботы государства о гражданах и граждан и государстве, использование социальных профессий как «клапанов» кризисного взаимодействия государства и гражданского общества. Об этом свидетельствуют и все усиливающийся на фоне «реформ» и «борьбы с коррупцией» деформации образовательной, правоохранительной и здравоохранительной систем, обостряющиеся год от года проблемы менеджериализма и «новой автономии», принуждающих людей и организации выбирать между «свободой» ненужности и свободой самоопределения. Об этом говорят и массовая депрофессионализация и проблемы «утечки кадров», никем не решаемые проблемы высокой смертности населения и преступности представителей власти в государственном и межгосударственном масштабах. Государства продолжают привычные попытки скрыть за псевodemократическими технологиями суть происходящего: наращивание репрессивно-контролирующего аппарата и игнорирование взрывоопасного роста насилия в отношениях общественных, производственных и государственных структур, игнорирование фашизма и иных нравственных и конституционных беззаконий, творящихся представителями власти.

Одна из причин – устоявшееся в веках и сформированное к началу XX века в виде «неоспоримой» истины классическое представление об однородности, гомогенности общества как функционирующего по определенным, раз и навсегда заданным правилам. Эти правила и теории, описывающие их, практически не учитывают «наложения» и взаимодействия вертикаль-

ных и горизонтальных коммуникаций, особенностей их ценностно-целевого и смыслового содержания в организациях и общностях разных типов и уровней развития (например, традиционных и инновационных, ориентированных на воспроизведение, репродукцию и на творчество и соз创чество) Общество рассматривается как относительно простой феномен, моносубъектные или моноакторные теории управления представляют людей обезличенными. Как пишет Р. Акофф, «Человек вообще» (a man) допускает взгляд на него «со стороны», в том числе - со стороны общества или государства, со стороны менеджера как «хозяина положения», который редуцирует социальные связи, организационные мости и даже семейные «узы» к предписанным им (субъектом) устойчивым правилам, опирающимся на соответствующие идеологии (например, иерархическим, отчужденным, ролевым отношениям между «начальниками» и «подчиненными») [11-13]. С точки зрения гомогенной модели общества человек — «винтик», «раб», функция коллективного производства. Само общество и организация состоят в отношениях «потребления», компрадорства, обратные связи между ними сведены к функционально необходимому минимуму. Обосновывая моноакторность управления, практики и теоретики классицизма противопоставляли «мудрость» и рациональность правителей «безумию» и простоте толп. Говоря о «веке толп», исследователи XX века подчеркивали ограниченность толпы, моменты разрушения сознания человека и препятствия развитию человека в толпе, эффекты «усреднения», иррациональность и доминирование инстинктивного поведения, деструктивность толп. Кроме того, отмечалось, что в региональном и государственном моноагентном управлении обычно нет возможности использовать знания и умения огромного количества людей, невозможно учесть всех, кто не смог попасть на встречи или «достучаться» до лиц, принимающих решения. А значит, решение так или иначе нужно принимать «с самим».

Однако, сейчас все чаще пишут об «умной толпе», о самоорганизации толпы, ее возможностях, а также возможностях свободного труда, его «прекаризации». Отмечают, что профессионалы и даже непрофессионалы как члены «умной толпы», могут участвовать в решении проблем самого разного уровня и типа, самоорганизовываясь и «самораспускаясь» в зависимости от необходимости и степени включенности и компетентности в обсуждаемом вопросе. Но такой оптимизм этот разделить сложно [9, 10, 14]. Практика «демократических выборов» отчетливо демонстрирует насколько формальным является «привлечение масс» к принятию решений: фальсификации результатов голосований стали не просто вариантом, а единственной формой их проведения. Ученые и практики нередко идут на поводу таких «выборов», поскольку, как они видят, сообщество и людей, способных, в том числе в силу наличия реального опыта, строить отношения служения и участвовать в управлении очень мало. Они изучают достоинства «толпократии» и «крауд-технологий», уповая на «самоорганизацию» и саморегуляцию «свободного рынка» труда, товаров и услуг, работодателей и т.д. Но иллюзия самоорганизации не срабатывает: пока основой жизни человека и группы остается идеология социального превосходства и потребления, накопительства и власти, человек и группа будут трансформировать любые, самые «лучшие» технологии, опираясь на привычные представления о решении проблем. Будут выбираться и внедряться технологии, позволяющие имитировать «заботу о ближнем», реализуя все тот же – «гангстерский» стиль жизнедеятельности [15]. Именно потому выбор современной «монолитной системы» пал на крауд-технологии и идеи «гласности»: интересно наблюдать, как такие технологии активно и не случайно в первую очередь внедряются в тюрьмах, школах и больницах, - традиционных местах ужесточенного бюрократического контроля. Наблюдение показывает, что бюрократия, привыкшая манипулировать общественностью, склонна выбирать технологии лишь внешне похожие на технологии социального служения (партнерства и взаимопомощи) [8, 9, 16-18].

В современных феноменологических, эвергетических моделях управления, названных «кибернетикой третьего-четвертого порядка» развивается поэтому иной подход. Он исходит из того, что реальное участие множества людей в принятии решений, формировании, накоплении и использовании знаний и умений относительно той или иной сферы управления, связан-

ные с этим активизация и накопление социального и человеческого капиталов на основе внедрения идеологии социального служения, ее принципов партнерства и взаимопомощи, возможны. Они также позволяют решить проблему «малочисленности» граждан и структур, способных выступить в качестве субъектов (акторов) в мультиакторных или интерсубъективных технологиях управления. Эвергетика как наука об интерсубъективном управлении есть основа разработки интерсубъективных технологий управления.

Для их и внедрения практику, однако, нужно людей научить и людей воспитать. В обществе и государстве есть ресурсы изменений, есть технологические каналы их «безопасного» осуществления. Более того, идеи и практики социального служения и ответственности, социального партнёрства и взаимопомощи являются, в различных формах, в цивилизованном и «доцивилизованном» мире не менее традиционными, хотя и находящимися сейчас на задворках «большого бизнеса», «большой политики» и т.д.. Поэтому идеи «малых политик», «малого бизнеса» и, тем более, идея и жизнь «маленьского человека», идея лоуархии как управления снизу вверх, идеи взаимодействия на основе дарообмена и интерсубъективного управления, лишь периодически всплывают на поверхность, тут же подавляемые «монолитной системой» мировой бюрократии [11]. Поэтому к сожалению, идеи лоуархии не развиваются «на пустом месте»: для стран, вовлечённых в войны и рабство, лоуархия не типична. Люди в эти сообществах в массе своей лишены потребности и способности отвечать за свою жизнь и принимать самостоятельные решения: свобода кажется пугающей и разрушительной, сами люди – некомпетентными и живущими лишь ради собственной выгоды. Эта позиция ответственна за формирование компрадорской буржуазии и неорабовладельческих сообществ и структур в цивилизации XXI века: ряд стран и граждан этих стран открыто использует данные ориентации в своей жизнедеятельности. Примеры таких структур: постоянно угрожающие и воюющие с другими странами и держащие добрую половину граждан своей страны в концлагерях США, современная Россия конца XX – начала XXI веков, с восторгом пропускающая своих граждан через бесконечный конвейер нищеты и тюрем, современные Украина, Молдова с их неофашистскими режимами: руководство этих стран открыто грабит, духовно-психологически и материально-физически истребляет население и сами страны ради сиюминутного собственного обогащения и наслаждения властью [19]. Высокоразвитый Израиль, который в порыве духовного превосходства не хочет остановить пропаганду того самого национализма, от которого он сам пострадал и т.д.. Напротив, сообщества и страны, где ценится свобода и ответственность, где люди свободно и с любовью служат друг другу и своей стране, обычно не развязывают войн и не вступают в отношения перепродажи и «освоения»-мародерства, самостоятельно решают внутренние вопросы, управляя своей жизнью и жизнью страны таким образом, чтобы это отвечало интересам страны: укреплению ее духовного и материального потенциала, наращиванию человеческого и социального капитала, давало возможность их дальнейшего развития. Таким стран, увы мало. Поэтому кризис управления, с которым столкнулась цивилизация, носит системный характер, поэтому эвергетическая модель управления столь актуальна. Разработка технологий привлечения граждан к процессам принятия решений в управлении территориями — важная составная часть процесса усиления социальной направленности современных территорий и государств. Особенно она важна с точки зрения соблюдения принципа социальной справедливости, особенно значимой на периферии, где возможностей самореализации и выбора у людей и сообществ намного меньше, чем в центре страны. Применение технологий участия граждан в управлении позволяет уйти, с одной стороны, от спонтанности (хаотичности) их взаимодействия с органами власти и управления, а, с другой, избежать жестких, административных решений и выводят процесс согласования интересов на новый уровень, который характеризуется рационализацией отношений и конструктивностью взаимодействия.

В эвергетике идеи социальной сложности раскрывают возможность рассмотрения общества как системы, основанной на принципах многостороннего и многоуровневого социального партнерства. В этой системе социальные связи, организационные мости и семейный узы лю-

дей – компоненты социального и человеческого капитала, которые могут отличаться по своему качеству, но в целом служат развитию людей, организаций, общества. Общество как сложная, гетерогенная развивающаяся система, каждый человек – с его субъективными представлениями о мире (*the man*) – осмысляет себя в диалоге с другими. Общество – «калейдоскоп ситуаций», требующих нестандартных, интерсубъективных решений на всех уровнях своего бытия: как только решение стандартизируется и, естественно, не перепроверяются, не ищутся иные решения, – возникает опасность ошибок. Интерсубъективность сознания и жизнедеятельности побуждает людей взаимодействовать и совместно искать выход из сложившейся ситуации, создавая некую «интеграционную платформу», необходимую и достаточную для самостоятельного принятия решений: никаких «над» структур и никакого дополнительного руководства и «компьютерной обработки данных», традиционно столь лихо фальсифицируемой современными бюрократами, не требуется. Лоуархия (*lowerarchy*) как принцип управления, при котором «нижестоящие» элементы – источники ресурсов и, в том числе, власти для «вышестоящих», есть опора отношений социального партнерства и взаимопомощи, основанная на идеологии социального служения. Она дает возможность сохранять гибкость и выживаемость обществу и организации и требует разработки технологий практического участия людей в принятии решений, управлении страной [11, 29- 31]. Т.о., организация перестает игнорировать общество, но, напротив, включает его в свою жизнедеятельность как партнера: начиная с типичного для классической модели этапа «потребления» продукта до принятия участия в разработке самой идеи продукта. Поэтому, крауд-технологии могут быть как дополнительные привлечены в контексте лоуархии. Они продуктивны, поскольку предполагают включение потребителей / граждан («толпы») в разработку и производство потребляемых обществом / организацией продуктов и услуг. Например, краудфорсайт как технология предвижения и сценарного планирования развития сообществ, использующая знания множества людей (вплоть до всех активных жителей региона, страны), очень важна – именно для развития периферийных регионов. Однако, они не могут быть единственными ведущими. Помимо крауд-технологий, большое значение имеют интерсубъективные (эвергетические) технологии, в которых решение принимает не «толпа», а контактная группа связанных с проблемой лиц, прямо и косвенно заинтересованных в ее решении и последствиях решения. Достижения теории управления XX века связаны с неклассической рациональностью, отмечаящей роль субъективных факторов правления и производства: все модели управления, созданные в этот период, обращают внимание на субъективность и даже субъектность управления и производства. В XXI веке, так называемая «постнеклассическая рациональность» учитывает «соотнесённость получаемых знаний об объекте не только с особенностью средств и операций деятельности, но и с ценностно–целевыми структурами». Рождается модель эвергетики как теории и практики интерсубъективного управления. Управляющий как «человек культуры» управляет в диалоге с другим «человеком культуры». Управление – сотворчество культуры и, в том числе, сотворчество идеологии. Этим эвергетика отличается от классической модели вынужденного работать на общество «экономического человека» [32]. Эвергетика как наука об организации процессов управления в развивающемся обществе предлагает интерсубъективные технологии управления. Она исходит из того, что каждый человек и каждая группа этого общества заинтересованы в преумножении культурного наследия, социального и человеческого капитала, включая увеличение доли управлеченческих решений, направленных на благо с помощью благих действий: опирающихся на идеологию социального служения, взаимопомощи и партнерства, а также долю решений, принятых коллективно, в том числе с помощью крауд-технологий и интерсубъективных технологий.

В современном мире есть люди, которые учатся и умеют сотрудничать, распределять нагрузку и вознаграждение, ценить себя и окружающих. Однако, их может стать больше, ведь у каждого человека существует задача – выжить, она, кроме прочего, требует вступать во взаимоотношения друг с другом, сотрудничества и взаимопомощи. Это касается также и сооб-

ществ, в которых идеи социального служения почти полностью подавлены: как показывают теория и практика социально-экономического и культурно-политического развития, игнорирование и использование привычных, моноагентных (моносубъективных) технологий управления возможно лишь ограниченный период времени. После него начинается социальный коллапс и уже принудительный переход к иным, интерсубъективным, отношениям [20].

Мультиакторные или интерсубъективные технологии можно описать на языке традиционной кибернетики по аналогии с мультиагентными технологиями. Среди современных исследований управления много работ выполнено в контексте кибернетики. Кибернетика определяется как «искусство управления» – наука об общих закономерностях процессов управления и передачи информации в различных системах . В.Е. Лепский отмечает сейчас возникновение кибернетики третьего порядка: «Кибернетика третьего порядка могла бы сформироваться на основе тезиса «от наблюдающих систем к саморазвивающимся системам». При этом управление плавно трансформировалось бы в широкий спектр процессов обеспечения саморазвития систем: социального контроля, стимулирования, поддержки, модерирования, организации, «сборки и разборки» субъектов и др.» [24, с. 7793]. Д.А. Новиков пишет, что эвергетика В.А. Виттиха – «...ценостно-ориентированная наука о процессах управления в обществе, объектом которой является ситуация, осознаваемая как проблемная группой неоднородных акторов, имеющих различные точки зрения, интересы и ценностные предпочтения» [5, с.23], - «...эвергетика может быть определена как кибернетика третьего порядка для взаимодействующих субъектов управления. ...в повседневной жизни общества процессы управления будут реализовываться «тандемом» обыденных и профессиональных управленцев-теоретиков: первые, находясь в конкретной проблемной ситуации в повседневности, приобретают конвенциональные (по А. Пуанкаре) знания о ситуации и определяют направления её урегулирования, а вторые создают методы и средства, необходимые для осуществления их деятельности. Включение в процессы управления в обществе «простых» людей из повседневности - важная тенденция в развитии науки об управлении». Концептуальные кибернетики третьего и четвертого порядков разрабатывают и другие ученые, фиксирующие интерсубъектность и интерсубъективность управления [24- 28; др.].

Терминология мультиагентных систем используется в описании технологий программирования, поддерживающих процессы управления. Агентами называются программы, которые выполняют некие действия в условиях неопределенности при согласованном взаимодействии с другими агентами. Сама терминология мультиагентных систем (да и технологий) очень близки терминологии интерсубъективного управления. Мультиагентные технологии могут также использоваться в качестве информационной поддержки принятия решений при интерсубъективном управлении. Мультиагентные технологии характеризуются рядом черт: для них типична автономность управляющих (агенты, хотя бы частично, независимы), субъективная или объективная ограниченность представлений каждого из агентов (ни у одного из агентов нет полного представления о системе и/или система слишком сложна, чтобы знание о ней могло быть прямо применено агентом); децентрализация (отсутствие агентов, управляющих всей системой) [1, 2]. Интерсубъективные технологии управления можно рассматривать как программу действий или совокупность способов коммуникативных действий по достижению консенсуса. Технологии интерсубъективного управления можно рассматривать как конкретные инструменты его реализации.

В мультиагентных системах также часто проявляется феномены самоорганизации, усложнение поведения даже в том случае, когда стратегия поведения каждого агента отличается простотой. Это лежит в основе так называемого «роевого интеллекта» (swarm intelligence) как технологии оптимизации управления [21]. В рамках «мультиакторного», интерсубъективного управления есть другая модель - диалога: в процессе свободного, неконтролируемого извне полилога, направленного на решение конкретной задачи, люди приходят к решениям, знаниям и умениям, более полным и глубоким, чем в случае направляемого извне или монологического

принятия решений [22]. Матрица объединения индивидуальных усилий диалога или полилога имеет встроенный механизм «рассекречивания» и раскрытия тайн людей и мира: в ее структуре не предусмотрено место для «хранителя тайн» и «тайников». Любой человек может и должен открыть (передать) необходимую для решения задачи информацию (знания и умения) любому из членов группы, а многочисленные «непродуктивные» и внешне хаотические контакты помогают скординировать группу. Поэтому в монологической, централизованной сети информация «стекается» к центру, где свершается «таинство» решения, при котором решение принимает субъект, чьи способности, знания и умения далеко не всегда соответствуют уровню сложности и типу задачи [23]. Поэтому полилогические или интерсубъективные, полностью децентрализованные сети практически всегда превосходят в скорости и качестве решений монологические. В крауд-технологиях предпринята попытка совместить моно - и мультиакторность. Однако, поскольку решение принимает все же «центральный», одиночный актор (руководитель, менеджер или «агент» как монолитная система), постольку крауд-технологии могут быть отнесены к квазимультиакторным (псевдоинтерсубъективным).

2 Эвергетические стратегии и интерсубъективные технологии управления

Лоурархия требует применения специальных гуманитарных технологий, направленных на активизацию и привлечение граждан к участию в деятельности производственных организаций, предпринимательства, позволяет уйти, с одной стороны, от спонтанности (хаотичности) их взаимодействия с органами управления, бизнес-структурами и общественными организациями, а, с другой, избежать жестких, некорректных и малопродуктивных решений и выводят процесс согласования интересов на новый уровень, который характеризуется рационализацией отношений и конструктивностью взаимодействия.

В рамках современного общества идеи лоурархии и социального служения только пробивают себе дорогу. Люди взаимодействуют на основе самых разных принципов, в том числе: 1) взаимного дарообмена (реципрокность как взаимное дарение – способ передачи благ, заключающийся в их ритуализированном дарении в группах равных, «горизонтального» типа); 2) централизованного перераспределения (отчужденной редистрибуции как неэквивалентного, вертикального продуктообмена в виде изъятия и перераспределения продукции центральной властью); 3) рынка (аномичного, отчужденного от нравственных основ жизни, обмена, включающего акт купли-продажи.) [33, 34]. При этом редистрибуция как одна из форм уравнительного распределения нередко вырождается в прямую эксплуатацию. Рыночные отношения, которые предполагают более или менее взаимную калькуляцию выгод и издержек, также разрушают человеческие отношений и признаки культуры, нравственность. Рынок со временем ведет к дестабилизации общества и более или менее явно выраженному централизованному перераспределению власти бюрократией и криптократией («теневым правительством», олигархами). Обмен дарами осуществляется свободно, без гарантий и требований возмещения затрат, без привязанности к постоянной «оптимизации», «коммерциализации» и «эффективности». Центральными аспектами становится капитал человеческий и капитал социальный капитал, остальные виды играют роль второстепенных. Он также может стать асимметричным, вырождаясь в редистрибуцию или потребительство, однако, этому противостоит система нравственных и иных ценностей обменивающихся. Иначе, как показывают исследования технологических укладов, цивилизация обречена на разрушение, коллапс.

Набор современных и традиционных идеологий и обслуживающих их научных и практических дискурсов управления и социального развития в целом сводятся к весьма ограниченному выбору: 1) идеология социального служения и концепции эвергетики рассматривают именно процессы управления, описывают подлинно эвергетические его стратегии; 2) псевдоэвергетические стратегии и модели управления – идеология социальной аномии и «рыночные» модели управления; 3) антиэвергетическая и, по сути, антиуправленческая стратегия – соци-

альный каннибализм, отражает традиционные модели управления типа «хозяин» – «раб». Т.о., гомогенная модель общества изначально служит превращению людей в «однородную массу», это - стратегия псевдоуправления, опирающаяся на каноны и идеалы классического рационализма. Истинно гетерогенное представление об обществе, обращенное на конкретных индивидов и групп, являющихся одновременно и субъектами, и объектами управления, учитывает их ценностно-смысловые ориентиры и в процессах принятия решений об урегулировании и развитии проблемной ситуации (таблица 1) [33].

Таблица 1 - Модели общества и эвергетические стратегии

Модели	Классическая, рационалистическая модель (развития) общества	Неклассическая модель (развития) общества	Постнеклассическая модель (развития) общества
Общество	Рациональность, гомогенность, универсальность, однотипность, простота, отношения хозяев и рабов, «человеческий материал», «рабочая сила»	Иrrациональность, внешняя гетерогенность, хаотичность, разнотипность, сложность, отчужденность, человеческие «ресурсы», «человеческий фактор»	Гармоничность, гетерогенность, мультистратегичность, сложность, социальное партнерство, социальный и человеческий капитал
Тип управления	Антиуправление, псевдоценности псевдотехнологии управления, достижение собственных целей за счет организации (общества)	Рамочное или делегирующее управление «по ситуации», псевдоуправление, отказ от управления, технологии, замещающие управление	Партиципативное, «управление по целям» ценностно-целевое, сотрудничество и взаимопомощь в развитии как ведущая технология управления
Стратегии эвергетики	Социальный каннибализм и взаимное потребление, репрессии и принудительная редистрибуция	Социальная аномия и отчуждение, имитации отношений и дикий рынок	Социальное служение и взаимопомощь, дарообмен и милосердие
Технологии	Моноакторные, классические	Моноакторные и квазимультиакторные, крауд-технологии (псевдомультиакторные)	Интерсубъективные (мультиакторные) и квазимультиакторные
Тип коммуникации	Фатическая коммуникация, игнорирование мира как «среды» существования субъекта управления (потребления), вертикальные обезличенные коммуникации	Монолог субъекта управления, вертикальные коммуникации субъектны, горизонтальные коммуникации обезличены и пресекаются	Полилог, многоуровневая и многоаспектная коммуникация субъектов с собой и миром, вертикальные и горизонтальные коммуникации субъектны

Основная проблема крауд-технологий с точки зрения технологии состоит в большом количестве участников, разнообразии их мнений по конкретным вопросам и, главное, в огромном количестве комбинаций этих мнений, каждая из которых дает свой вариант будущего. На уровне небольших, периферийных регионов и небольших организаций эта проблема выражена гораздо меньше. Основная проблема с точки зрения идеологии состоит в том, что участие общества в делах государства воспринимается как помеха спокойному потреблению и благополучию «власть имущих». Предприниматели, ориентированные на немедленные прибыли и сверхприбыли, истощают себя и тех, кого потребляют, препятствуя развитию новых, продук-

тивных отношений в обществе. Видя, что «все воруют», человеку трудно удержаться от того, чтобы не начать воспринимать воровство и обман, а также поддерживающее их насилие государства и бизнеса, как «норму». Социальному служению при этом места не остается. Более того, сторонники малтузианской модели постепенно «опускают планку» требований в сфере социальных отношений, социальной защиты, все ниже: по мере своих потребностей эти представители власти все чаще обращаются к наемному труду по принципам аутсорсинга (передачи неключевых функций организации внешним исполнителям). Таким образом, аутсорсинг входит в привычную жизнь страны как факт, за которым следует разрушение законодательно закрепленных социальных гарантит защищины трудящихся. Альтернативой на какое-то время стал краудсорсинг как решение общественно значимых задач силами скоординированных добровольцев. Он рассчитан на помошь организациям со стороны потребителей. Краудсорсинг используется, например, в брендинге и ребрендинге (создании и трансформации бренда) периферийных территорий, их переориентации с целью развития и реализации потенциалов. Однако, итог этих и иных псевдоинноваций заёмного труда, включая лизинг персонала, - прекаризация (трудовые и социальные отношения, которые могут быть расторгнуты в любое время).

Дeregуляция отношений и превращение ранее гарантированных трудовых отношений в существенно негарантированные и незащищённые, давая внешнюю свободу, отнимает надежду на целый ряд социальных и иных гарантит, снижая социальную защищенность. Прекариат рождает тревогу из-за неопределенности жизни, отчуждение из-за необходимости заниматься не тем, чем хочется, а также вызывает агрессию и затрудняет самоидентификацию персонала из-за разрыва социальных связей, нанося удар по человеческому и социальному капиталам страны /организации одновременно. Прекариат может стать разрушительной силой, если не будет реализована концепция безусловного основного дохода: гарантированного государством денежного довольствия каждому гражданину. Однако, такая гарантит, - путь в дальнейшее потребительство. Что касается внутренней свободы как осознания себя реальным участником социального процесса, обладающим человеческим и, в том числе, социальным капиталом, она не всегда может эти «издергки» перекрыть. Вопрос в том, есть ли у граждан, профессиоников, такая возможность - реального участия? При ее отсутствии и запрете социально-политического творчества, сопровождающего отношения социального служения и партнерство, прекариат – всего лишь форма ужесточения властных отношений. По мнению сторонников крауд-технологий, стратегия модернизации должна уже на стадии ее разработки опираться на взаимодействие всех заинтересованных сторон. Крауд-технологии предполагают включение и учет интересов всех слоев сообщества в его развитие. Профессионализм и социальное служение в развитии современного общества – две стороны целого. Поддерживая и развивая профессионализм, руководствуясь идеями социального партнерства, общество и государство, предприниматели и потребители могут выступать как партнеры на пути решения актуальных проблем. Они могут совместно принимать «текущие решения» и создавать форсайт-проекты для страны, в которой все ее части – центральные и периферийные – будут работать в гармонии, помогая друг другу развиваться.

Кроме того, крауд-технологии должны выполнять роль дополнительных: ведущая роль должна принадлежать еще более «трудоемким» интерсубъективным технологиям, при которых каждый раз организуемая заново контактная группа принимает решение по каждой конкретной ситуации, к которой она имеет более или менее непосредственное отношение. Диалог в отличие от монолога как псевдообщения, - общение на уровне действительных мотивов деятельности. Участники коммуникации являются конкретными личностями, индивидуальностями, а не безликими коммуникаторами и реципиентами или «контактами, не просто субъектами деятельности, но и субъектами отношений. Они проявляют себя, открывают себя и друг друга в своих сообщениях и текстах: открыто реализуют себя и свои цели, строят и находят собственные смыслы или стремятся скрыть истинные смыслы и цели своей деятельности, внимая

тельны к целям и смыслам других. В традиционных, монологических моделях, люди игнорируют эти смыслы и цели в привычном беге «по кругу» упрощающих жизнь и ее смыслы, созданных другими людьми, стереотипов. Они создают из своих отношений бесконечные «тайны», дающие возможность удерживать власть и чувство собственной значимости, «монолитности». Сообщение, однако, - не только передача информации, но событие в жизни людей, событие их со-бытия, оно подразумевает предъявление ими самих себя, слушание – себя и друг друга. При отсутствии выраженного «смыслообразующего» контекста усилий, «смыслов для себя», дающих возможность и определяющих настоятельность, необходимость выбора, он подвергается деиндивидуализации, упрощению и усреднению. Как показывает социально-психологическое исследование этой проблемы, неструктурированные по вертикали группы со свободным обменом информацией при всей внешней хаотичности минимум на порядок эффективнее групп с формальной иерархией и единолично принимающим решение лидером [32, 33].

Еще одним большим «но» крауд-технологий является проблема, связанная с тем, что всеобщая прозрачность и обмен «всех со всеми» приводят к большему или меньшему лишению личной жизни человека приватности. Возникает то, что мы можем назвать «эффектом паноптикума»: «прозрачность» и доступность участников становится проблемой нарушения границ их личностного и социального бытия. Достаточно проанализировать историю идей И. Бентама, предполагавшего власть «гласности» или власть, основанную на возможности увидеть всё.

И. Бентам стремился создать социальную систему, которая «автоматически» делала людей добродетельными в либерально-гедонистическом, а не христианско-этическом смысле. Это стремление породило идею создания технологии «автоматической выделки» добродетели - «паноптикума»: тюрьмы с прозрачными стенами, в центре которой находятся охранники. Суть этического гедонизма И. Бентама и его последователей отражена в постулате о том, что «что полезно, то и морально». Согласно этому постулату всё, что экономически неэффективно - то не нравственно, и, наоборот, что эффективно - то нравственно. Эта мораль отрицает страдания и ограничения власти («акторов»), но, парадоксально, навлекает страдания и ограничения на людей («исполнителей», «заключенных»). Сама идея «паноптикума» была создана отнюдь не для демократии, но для тотального контроля. Для тоталитарной, репрессивно-контролирующей, власти нужна прозрачность, в том числе, под маской утопии или симуляции демократической гласности. Основная цель паноптикума в том, чтобы перевести заключенного / подчиненного в состояние сознаваемого и постоянного наблюдения за ним, которое обеспечивает автоматическое и непрерывное функционирование власти. Важно сделать так, чтобы надзор был постоянным в своих результатах, даже если само наблюдение осуществляется с перерывами и фрагментарно. Паноптикум создает и поддерживает отношения власти (подчинения ей) независимо от человека, который её отправляет, и независимо от того, в адрес кого она отправляется. По мысли И. Бентама, заключённые /подчиненные должны быть вовлечены в ситуацию власти, носителями которой они сами же, по сути, являются. Власть должна быть недоступной для проверки и субъективно постоянной, заключённый / починенный всегда должен иметь перед глазами хотя бы ее «тень», напоминание о постоянном наблюдении, контроле. Она должна быть недоступной для проверки: заключённый никогда не должен знать, наблюдают ли за ним в тот или иной конкретной момент, но должен быть уверен, что такое наблюдение высоко вероятно и всегда возможно. Паноптикум – «лаборатория власти», которая благодаря асимметрии может эффективно воздействовать на поведение и состояние людей. И. Бентам был намерен сделать зло невозможным: «Необходимо беспрестанно быть на глазах у надзирателя, что на самом деле и будет означать утрату возможностей творить зло и почти полную утрату мысли желать его». Однако. И. Бентам достиг, как и ратовавший за гласность Ж.-Ж. Руссо, обратного: из созданных ими миров никто не может вырваться, «ни те, за кем надзирают, ни те, кто надзирает.» В паноптикуме, где каждый в соответствии с его местом наблюдается всеми

остальными или же только некоторыми, возникает механизм полного и кругового недоверия, и, одновременно, «круговой поруки». При этом полностью отсутствует какая-либо безусловная, в том числе, нравственная, точка зрения. Всевидящее Око паноптикума – это не Око Бога. «Совершенство наблюдения – это итог недоброжелательства», а не Божественной Любви, больше «покрывающей», чем наказующей, больше терпящей и дающей свободу, чем «ограничивающей», больше милующей, чем «мстящей», – отмечает М. Фуко [16]

И. Бентам наделил общественное (буржуазное) мнение излишним могуществом, приравнял его к Богу, полагая, что оно может быть только благом. И. Бентам и Ж.Ж. Руссо полагали, что люди станут добродетельными благодаря тому, что станут доступными этому мнению. Общественное мнение приравнивалось к условию самопроизвольного пересмотра и исправления: человека или социального договора, отношений в обществе. Полагая, что такое мнение имманентно справедливо и нравственно, что оно будет распространяться само собой и является своеобразным видом демократического наблюдения, они игнорировали социально-экономические и культурно-политические аспекты его формирования и развития [17, 18]. «Око власти» в паноптикуме все же исходит из реальности того, что если власть ведёт себя слишком необузданно, то навлекает на себя опасность вызвать бунты и несогласие. Но если ее вмешательство происходит лишь от случая к случаю, то в промежутках могут развиваться еще более опасные явления сопротивления и непокорности. Паноптикум создан как «недорогой» способ контролировать массы, в том числе, через страх взаимного и неограниченного, тайного и повсеместного, доброжелательного и «экономически правильного» контроля. Однако, вопреки модели, сидящие в тюрьме не пассивны, а «исправительный дискурс» не разворачивается без преград и изменений. Люди сопротивляются как их «переделке», так и идее их возвращения в «оборот производства» («оптимального использования»). Вопреки идеализациям Ж.-Ж. Руссо, «дружественность» прозрачности далеко не прозрачна: отношение дружбы не есть прямой результат «гласности». Тем более, что и гласность не является автоматически взаимной. Идея о том, что власть и безымянна, и всегда оказывается в выигрыше, непродуктивна: есть атаки и контратаки [16, 18]. Поэтому рекламируемые сейчас малтузианскими правительствами крауд-технологии совсем не так просты, как это кажется, и совсем не так продуктивны, поскольку отвечают скорее сиюминутным приоритетам комфорта и благополучия правящей «элиты».

Эти приоритеты – основа распространенной ныне идеологии «экономического гангстера» – готовности руководящих страной, организаций и т.д. максимизировать личную выгоду любым доступным способом. Приоритетность интересов бизнеса, сводящего нравственное к выгодному, готовность пойти на любое преступление ради собственной выгоды, должны быть, сточки зрения эвергетики, переосмыслены. Необходимо развести активность бизнеса, его продуктивную агрессивность как стремление к интенсивному и экстенсивному развитию и социальный каннибализм как готовность уничтожать на своем пути все, что мешает росту доходов, материальной выгоды и власти. Необходимо осмысление социального и человеческого капитала в качестве ведущих компонентов для задач производства, торговли и предпринимательства в целом. Эта задача хорошо показана в «мир-системном «анализе, описывающем особенности периода перехода к новому технологическому укладу. Вывод исследователей прост: без трансформации общественных отношений новые технологический уклад невозможен и не нужен. Не будет изменений в отношениях руководящих обществом, государством и бизнесом к подчиненным – не будет и руководящих: «Мы и в самом деле движемся в направлении другой исторической системы... Потребуется, однако, по меньшей мере, еще пятьдесят лет предсмертного кризиса...» [20, с. 14, др.]. Общество и государство придут к изменениям через десятилетия потрясений: широко распространенная ныне коррупция привела к деидеологизации общества и разочарованию в демократии. Периодические все более масштабные коррупционные скандалы вызывают у граждан сомнения в своей способности оказывать влияние на процесс принятия в стране политических решений, на свою жизнь вообще. Возникают состояния

постоянной усталости и готовности к взрыву: «Усталость гражданина постиндустриального общества недалека от скрытой забастовки ... именно потому, что оно является активностью (скрытой), оно может внезапно превратиться в открытое восстание» [35, с. 233].

Таким образом, «власть толпы» неуклонно преобразуется обратно, во власть отдельных лиц, контролирующих паноптикум. А само общество превращается в огромный электронный концлагерь тотальной слежки, который приводит к кажущейся парадоксальной десоциализации основной части населения (согласившейся контролировать и быть контролируемыми ради симулякров «социального партнерства» и «гласности»), а также формированию оппозиции, которую, к сожалению, дать будет некуда, - только полностью выкинуть из сообщества. Крауд-технологии, как и любые технологии, могут быть продуктивными при учете того, ради чего и как именно они используются. Вопрос ценностно-смыслового назначения этих технологий - центральный.. Поскольку бюрократический аппарат обычно не дает себе времени и места освоить ту сферу, которой он ловко манипулирует, страна и мир получают сообщество, руководимое частными мнениями необразованных и некомпетентных людей, выдающих себя за «обслуживающий» крауд-технологии персонал. Без интерсубъективных технологий (технологий интерсубъективного управления) и трансформации отношений государства, общества и бизнеса в отношения служения и взаимопомощи, без превращения стран в государства-церкви – функционирующие на основе нравственных, а не только юридических законов, важно, таким образом, учитывать издержки крауд-технологий: использование разработок теории гласности и общества как паноптикума, продемонстрировавших социально- и личностно-деформирующий потенциал крауд-технологий, позволяющих осуществлять тотальный контроль населения и превращающих людей в рабов, уничтожая социальный и человеческий капитал. Люди нуждаются в сознании возможностей лоурархии и социального служения, а также реализующих их эвергетические, интерсубъективные технологии управления сообществом, позволяющие создать государство-церковь и активизировать личностное развитие граждан, развивать и накапливать социальный и человеческий капитал.

Заключение

Итак, поиски новых форм продуктивного управления обращают внимание практиков и теоретиков на мультиакторные технологии. Среди них выделяются крауд-технологии и технологии интерсубъективного управления, теоретической основой которых может служить модель управления сложными системами (эвергетика) В.А. Виттиха [35]. В отличие от крауд-технологий, имитирующих участие общества в принятии решений, технологии интерсубъективного управления являются примером технологий, позволяющих гармонизировать отношения общества и государства, более или менее полно реализовать ценности и цели управления как компонента развития сообществ. Сравнительный анализ стратегий управления позволил выделить эвергетические, псевдоэвергетические и антиэвергетические стратегии, их особенности и возможности в управлении развитием сообществ, сопоставить возможности и ограничения реализующих их моноакторных, квазимультиакторных и мультиакторных технологий.

Подводя итог, еще раз подчеркнем, что концепция эвергетики В.А. Виттиха, при внешней очевидности вопроса о ценностях и целях управления, обладает огромным потенциалом, связанным с ревизией традиционных и современных моделей управления, самого понятия управление. Вводя в научное исследование представление о тесной связи ценностей и целей управления с его существенными характеристиками, В.А. Виттих формулирует новый поворот в осмыслении управления как такового. В эвергетике акторы рассматриваются как «социальные теоретики», совместно вырабатывающие общие знания, умения и принимающие совместные решения, адресованные уникальному объекту – ситуации, в которой осознают себя, взаимодействуют и развиваются неоднородные акторы. Исследующий управление, при этом, согласно В.А. Виттиху, также становится актором, «утрачивая привилегированную позицию абсол-

лютного наблюдателя и выступая лишь как участник социальной жизни наравне с другими» [36- 39]. В стремлении найти выход, решение проблемы акторы вырабатывают соглашения как интерсубъективные знания, систематизируют их для принятия коллегиального решения.

Список литературы

- [1] Виттих В.А., Моисеева Т.В., Скобелев П.О.. Принятие решений на основе консенсуса с применением мультиагентных технологий // Онтология проектирования/- 2013. - № 2. - С.20 – 25.
- [2] Rzevski G., Skobelev P. Emergent Intelligence in Large Scale Multi-Agent Systems// international journal of education and information technologies. – 2007/ - Issue 2, Volume 1. – P.64-71.
- [3] Wooldridge M., An Introduction to MultiAgent Systems. N.-Y.: John Wiley & Sons Ltd, 2002. - 366 р.
- [4] Виттих В.А. Введение в теорию интерсубъективного управления. – Самара, Самарский научный центр РАН, 2013. – 64 с.
- [5] Новиков Д.А. Кибернетика: Навигатор: История кибернетики, современное состояние, перспективы развития. — М.: ЛЕНАНД, 2016. — 160 с.
- [6] Mancilla R. Introduction to Sociocybernetics (Part 1): Third Order Cybernetics and a Basic Framework for Society // Journal of Sociocybernetics. 2011. Vol. 42. No 9. P. 35 – 56.
- [7] Mancilla R. Introduction to Sociocybernetics (Part 3): Fourth Order Cybernetics // Journal of Sociocybernetics. 2013. Vol. 44. No 11. P. 47 – 73.
- [8] Коулман, Дж. Капитал социальный и человеческий // Общественные науки и современность, 2001. № 3. С. 121-139.
- [9] Рейнгольд Г. Умная толпа. М.: ФАИР ПРЕСС, 2006. 416 с.
- [10] Хай Дж. Краудсорсинг. Коллективный разум как инструмент развития бизнеса. — М.: Альпина Паблишер, 2012. — 288 с.
- [11] Акофф Л.Р. За пределами социализма и капитализма. Проблемы управления в социальных системах. Т.1. – М.: Наука, 2009. С. 112 – 140.
- [12] Арпентьева М.Р. Эвергетические стратегии и управление развитием сообществ // Материалы XVII Международной конференции «Проблемы управления и моделирования в сложных системах» 22-25 июня 2015 г., Самара: ИПУСС РАН, 2015. – С.174-180.
- [13] Виттих В.А. Эволюция идей организации процессов управления в обществе: от кибернетики к эвергетике. – Проблемы управления и моделирования в сложных системах // Труды XVI международной конференции. – Самара, Самарский научный центр РАН, 2014. - С. 13-19
- [14] Стэндинг Г. Прекариат: новый опасный класс. — М.: Ад Маргинем Пресс, 2014. — 328 с.
- [15] Фисман Р., Мигель Э. Экономические гангстеры. М.: ООО «Юрайт Пресс», 2012. 302 с.
- [16] Фуко М. Надзирать и наказывать. - М. «Ad Marginem», 1999. - 480c.
- [17] Bentham J. Le Panoptique. Paris: Belfond, 1977. P. 9-31.
- [18] Semple J. Bentham's Prison. - Oxford: Clarendon Press, 1993. – 334р.
- [19] Ладягин Ю.С. Русский административный восторг // Проблемы теории и практики управления. - 2005. - №3. - С.8-15.
- [20] Валлерстайн И. После либерализма. - М.: Едиториал УРСС, 2003. - 256 с.
- [21] Beni G., Wang, J. Swarm Intelligence in Cellular Robotic Systems, Proceed // NATO Advanced Workshop on Robots and Biological Systems. Tuscany, Italy, June 26-30, 1989. – N.-Y.: NATO, 1989.
- [22] Арпентьева М.Р., Карпенкова И.В., Ничипоренко Н.П. Социально-психологическая компетентность: статьи и эссе / Под ред. М.Р. Арпентьевой. - Калуга: КГУ им. К.Э. Циолковского, 2016. - 650с.
- [23] Allport G.W. The Nature of Prejudice. — N.Y.: Addison-Wesley Publishing Company, 1979. — 537 с.
- [24] Лепский В.Е. Философия и методология управления в контексте развития научной рациональности / Труды XII Всероссийского совещания по проблемам управления. – М.: ИПУСС РАН, 2014. С. 7785 – 7796.
- [25] Харitonov B.A., Алексеев A.O. Концепция субъектно- ориентированного управления в социальных и экономических системах // Политехнический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2015. – №05(109). – Режим доступа:<http://ej.kubagro.ru/2015/05/pdf/43.pdf>
- [26] Kenny V. There's Nothing Like the Real Thing. Revisiting the Need for a Third-Order Cybernetics // Constructivist Foundations. 2009. No 4(2). P. 100 – 111.

- [27] Umpleby S. A Brief History of Cybernetics in the United States // Austrian Journal of Contemporary History. 2008. Vol. 19. No 4. P. 28 – 40.
- [28] Umpleby S. The Science of Cybernetics and the Cybernetics of Science // Cybernetics and Systems. 1990. Vol. 21. No. 1. P. 109 – 121.
- [29] Виттих В.А. Инструментальная и коммуникативная рациональности акторов // Проблемы управления и моделирования в сложных системах: Труды XV международной конференции. – Самара, Самарский научный центр РАН, 2013, с.267 – 273.
- [30] Виттих В.А. Неоднородный актор и повседневность как ключевые понятия эвергетики: препринт. – Самара: ИПУСС РАН, 2014. – 12 с.
- [31] Виттих В.А. Феноменологический подход к построению теории управления обществом // Сборник трудов XII Всероссийского совещания по проблемам управления. Россия, Москва, ИПУ РАН, 16-19 июня 2014 г. С. 6182-6186.
- [32] Виттих В.А. Ситуационное управление с позиций постнеклассической науки // Онтология проектирования, №2 (4), 2012. – С. 7-15.
- [33] Арпентьева М.Р. Эвергетические стратегии в управлении человеческими ресурсами и социальным развитием // Нефть и газ Западной Сибири: материалы междунар. научно-технической конф., посв. 90-лет. со дня рожд. А.Н. Косухина 15-16 октября 2015 г. / Отв. ред. П.В. Евтин. – Тюмень: ТГНГУ, 2015. – Т.6. - С.27-32.
- [34] Розинская, Н.А., Латов, Ю.В. Введение. «Великая трансформация» Карла Поланьи. Под ред. Р.М. Нуриева. М.: ВШЭ, 2007. С.11 – 21.
- [35] Бодрийяр Ж. Усталость // Бодрийяр Ж. Общество потребления. Его мифы и структуры. М.: Культурная революция; Республика, 2006. - С. 230-234
- [36] Vittikh V.A. Introduction to the Theory of Intersubjective Management // Group Decision and Negotiation.- January 2015. - V. 24, issue – 1. - P. 67-95.
- [37] Виттих В.А. Проблемы эвергетики // Проблемы управления. 2014. - №4. - С. 69-71.
- [38] Vittikh V.A. Heterogeneous Actor and Everyday Life as Key Concepts of Evergetics // Group Decision and Negotiation, November 2015. - V. 24, issue 6. –P. 949-956.
- [39] Vittikh V.A. Evolution of ideas on management processes in the society: from cybernetics to evergetics // Group Decision and Negotiation. - September 2015- V. 24, issue 5. -P. 825 - 832.

ИНТЕРСУБЪЕКТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ: ОТ ТЕОРИИ К ПРАКТИКЕ

В.А. Виттих, Т.В. Моисеева

Институт проблем управления сложными системами РАН
443020, Самара, ул. Садовая, 61, Россия
vav1940@gmail.com, mtv-2002@yandex.ru
тел: +7 (846) 332-39-27, факс: +7 (846) 333-27-70

Ключевые слова: проблемная ситуация, интерсубъективное управление, эвергетика, актор, ситуативная ассоциация, конвент, аргументированный дискурс, консенсус.

Abstract

The modern management science has demonstrated its inadequacy and demands urgent changes. Heterogeneous actors intrusion into intersubjective management processes leads to the necessity of practical organization changes and formulating and solving management problems. The article deals with the organization of situational associations and convents to find decisions in problem situations in the social sphere.

Введение

С целью уменьшения неопределенности в человеческих отношениях в жизни общества создаются самые разнообразные системы, в каждой из которых фиксируется множество элементов и правила, регулирующие отношения между ними. Система уличного движения регулирует поведение людей в транспортных потоках, система образования устанавливает порядок получения образовательных услуг, система здравоохранения формирует механизмы оказания медицинской помощи населению и профилактики заболеваний и т.д. Ключевую роль здесь играет человеческая деятельность, организуемая в рамках взаимодействующих между собой систем. Классическая наука об управлении (*management science*) и кибернетика фокусируют своё внимание на процессах управления в «мире систем» и исходят из того, что для каждой системы цели и задачи определены, главное – найти наилучшееправленческое решение.

Однако любой деятельности предшествует некоторая проблемная ситуация в повседневности, когда какой-то группой людей осознаётся неудовлетворительное (не устраивающее их) положение дел, и им ещё не ясно, что нужно делать для его изменения в желаемом для них направлении. Ведь прежде чем действовать, необходимо понять смысл происходящего, осознав «зачем?» и «что нужно делать?». Причём (что особенно важно) ответы на эти вопросы должны даваться участниками проблемной ситуации согласованно, коллегиально, с учётом их возможно противоречивых точек зрения и интересов. Классическая теория управления эти позиции людей из «мира повседневности» не принимает во внимание, а полагает, что не только решением, но и постановкой задач управления должны заниматься представители «мира систем»: представители госучреждений, наделённые властью и озабоченные её сохранением, и бизнес-структуры, нацеленные на извлечение прибыли из ситуации. Созданные для решения важных для людей повседневных задач «системы» начинают «работать на себя».

Эвергетика – наука о процессах интерсубъективного управления в повседневности, возвращающая «рядового» участника ситуации в теорию и практику управления [1–3]. Ключевое значение в ней приобретает понятие неоднородного актора [4] – человека, осознающего себя вместе с другими акторами в проблемной ситуации, внутренне мотивированного и готового участвовать в её регулировании с использованием имеющихся в его распоряжении ресурсов. При этом предполагается, что при поиске ответов на вопросы «зачем?» и «что нужно делать?» акторы совместно способны вырабатывать интерсубъективные знания, выступая в роли «обыденных управленицев-теоретиков», опирающихся в своей деятельности на научно- методич-

ский фундамент, созданный профессиональными учёными-управленцами; то есть речь идёт о «тандеме» этих «обыденных управленцев» и профессионалов в процессах принятия решений, связанных с урегулированием проблемной ситуации.

Включение неоднородных акторов в процессы такого интерсубъективного управления приводит к необходимости не только перехода от классической к постнеклассической науке [1], но и к изменениям в практической организации постановки и решения управленческих задач. Данная статья посвящена рассмотрению содержания и особенностей этих трансформаций.

1 Системы и повседневность

В середине прошлого века, в эпоху становления системного подхода к управлению [5] на передний план выдвигалась потребность человека в систематизированных взаимоотношениях. Как отмечалось в [5], «общей характерной чертой быстро развивающегося общества является стремление сделать системы взаимоотношений между индивидуумами более формальными». Более того, постулировалась необходимость «направить их (людей) на работу в интересах системы и заставить их работать наиболее эффективно, чтобы достичь цели системы» [6]. При этом, как само собой разумеющееся, предполагалось, что создание всё более совершенных и эффективных систем влечёт за собой повышение качества и повседневной жизни людей. Однако этим ожиданиям не суждено было сбыться.

Дело в том, что в любой системе (школа, вуз, министерство) формируются свои собственные целевые установки, отличающиеся от тех показателей результативности, для достижения которых система создавалась изначально. Поэтому система начинает расходовать имеющиеся в её распоряжении ресурсы на удовлетворение собственных интересов, а не на решение задач, волнующих людей в их повседневной жизни. По мнению Ю. Хабермаса, происходит «колонизация жизненного мира системами» [7], а со временем «мир систем» всё больше отделяется от «мира повседневности». Возникающее беспокойство людей, озабоченных таким положением дел, системы пытаются «сгладить», вводя «правила взаимодействия» с населением, определяющие возможность его участия в процессах управления. Таким образом, формально демонстрируется готовность системы удовлетворить интересы людей, а реально система стоит на защите собственных интересов, связанных с ее выживанием, а не удовлетворением потребностей граждан, которым, например, разрешается выступать с какой-либо инициативой, если в «мире повседневности» удалось собрать не менее заданного этими правилами числа подписей. Понятно, что при высоко установленной «планке» инициативы останутся без внимания.

Для того чтобы устраниТЬ пропасть между «миром систем» и «миром повседневности» косметического ремонта бюрократических механизмов недостаточно. Необходим пересмотр самой парадигмы управления, переход к постнеклассической научной рациональности, которая (в отличие от классической науки) не игнорирует, а использует интеллектуальные и волевые ресурсы людей в процессах управления. И если раньше в обществе создавались структуры, ориентированные на определенные виды деятельности, то сейчас мы предлагаем переориентироваться на проблемную ситуацию, как первопричину создания объединений людей, направленных на поиск выхода из нее. Не департаменты, управления и комитеты должны решать, что нужно населению, и заниматься решением задач ими же сформулированных, а граждане из мира повседневности информируют соответствующие структуры о том, какие задачи сегодня требуют первоочередного разрешения. Осознание этих задач начинается с того, что некоторое сообщество неоднородных акторов осознаёт себя в проблемной ситуации. В поисках способа урегулирования ситуации эти люди (учителя, студенты, родители) стремятся постичь её смысл, вырабатывая совместно интерсубъективные знания и договариваясь о том, «зачем?» и «что нужно делать?», то есть по существу они ставят задачи управления. И только после это-

го задачи попадают в «мир систем» (школы, вузы, больницы, министерства), где ищется ответ на вопрос, «как это лучше сделать?».

Следует подчеркнуть, что неоднородные акторы используют только свои собственные ресурсы, определяя направление применения ресурсов систем и контролируя результаты урегулирования проблемных ситуаций. Неоднородные акторы объединяются для урегулирования проблемной ситуации в сообщества, которые предлагаем назвать «ситуативными ассоциациями». Следует отметить, что ситуативная ассоциация образуется в темпе развития ситуации и существует в реальном масштабе времени. Как только проблемная ситуация урегулирована, данная ассоциация прекращает свое существование.

Механизм взаимодействия ситуативных ассоциаций из мира повседневности и органов власти из мира систем будем называть конвентом, вкладывая в это понятие следующий смысл. Конвент - это некое собрание или совет деятелей, облеченных полномочиями по урегулированию проблемных ситуаций. На конвент следует возложить функции прямой и обратной связи по организации сотрудничества акторов из мира повседневности с представителями мира систем.

Первым шагом при организации такого взаимодействия является регистрация ситуативных ассоциаций, самоорганизующихся для урегулирования проблемных ситуаций в реальном масштабе времени. Таким образом конвент получает информацию о том, что существует некая проблемная ситуация, требующая разрешения. Необходим инструмент регистрации проблемных ситуаций, который сегодня видится в возможностях, предоставляемых сетью Интернет, в первую очередь. Причем для того, чтобы возникла ситуативная ассоциация, не нужно собирать большое количество подписей. В проблемной ситуации может оказаться небольшая группа людей и даже один человек, для которого поиск выхода из сложившейся ситуации жизненно важен. Очень показателен такой пример неравнодушия представителей мира систем к проблеме одной семьи. В Японии железнодорожную станцию сохранили и не закрывали несколько лет ради единственной пассажирки - девочки-школьницы, живущей в населённом пункте, в котором почти никто не живёт, и поезда перестали ходить в этот район. Когда в Японских железных дорогах узнали о единственной пассажирке-школьнице, которой нужно было ездить в соседний город в школу, станцию сохранили. В особом предписании руководства компании говорилось, что станция будет работать до тех пор, пока девочка не закончит школу. Ежедневно по утрам поезд забирал девочку, а вечером возвращал домой. Зимой станцию очищали от снега. Решение закрыть ее было принято только тогда, когда школьница сдала экзамены и поступила в университет [8].

После того как зафиксирована ситуативная ассоциация (обманутые дольщики, солдатские матери), задача конвента заключается в поиске партнёров из мира систем, которые могут помочь в урегулировании ситуации. Представители конвента лучше владеют информацией о тех структурах, которые могут оказать содействие в каждом конкретном случае, что позволит сократить время поиска союзников и наладить их взаимодействие с ситуативными ассоциациями.

На конвент также возлагается функция регулирования переговорных процессов между ситуативными ассоциациями и системами, поскольку акторы «чувствуют» проблемную ситуацию, в которую оказались погружены, а представители мира систем знают, какие средства можно использовать. Поэтому на начальном этапе переговоров необходимо получить ответ на вопросы «зачем?» и «что нужно делать?» для урегулирования проблемных ситуаций, причем этот ответ должны дать акторы, вовлеченные в проблемную ситуацию, чувствующие потребность в ее урегулировании и активно ищащие выход. Представители мира систем, которые впоследствии будут помогать акторам урегулировать ситуацию, не могут в полной мере понять, что испытывает (и физически, и эмоционально), например, человек, живущий в ветхом аварийном доме с текущей крышей, сырьим полом и плесенью на стенах. При всем желании помочь сотрудники городской администрации, социальных служб или строители будут ре-

шать, что нужно сделать, исходя из своего представления о ситуации, не учитывая всего спектра ощущений людей, живущих в разрушающихся домах.

Для того чтобы переговоры не затягивались, на конвент возлагается функция фиксации результатов переговоров и передача поставленных задач системам для их решения. Важно отметить, что системы получают уже готовое задание на исполнение, решая, не что нужно делать, а как это сделать лучше, поскольку системы находятся «вне» проблемной ситуации и обладают опытом выполнения определенных операций, создания каких-то продуктов, которые позволяют удовлетворить потребности акторов.

Контроль исполнения системами выданного задания также должен осуществлять конвент. В ходе работ конвент информирует ситуативные ассоциации о результатах решения задач в мире систем и отвечает за организацию обратной связи, необходимую для признания работ завершёнными или требующими доработки.

Основные принципы работы конвента могут быть определены следующим образом.

- 1) Конвент исходит из признания сосуществования людей как величайшего блага человечества.
- 2) Конвент соблюдает позицию нейтралитета: принимает во внимание позиции и ситуативных ассоциаций, и систем.
- 3) Конвент действует оперативно, т.е. его деятельность разворачивается в темпе развития ситуаций.
- 4) Конвент ориентируется на достижение консенсуса в переговорах.

Следует отметить, что организация конвентов – сложная задача, требующая предварительного формирования определенных правил и нормативной базы их создания и функционирования, в соответствии с которыми и будут учреждаться конвенты. В некоторых случаях можно говорить о том, что соответствующие структуры, которые смогут выполнять функции конвента, уже существуют, для урегулирования других проблемных ситуаций конвенты нужно создавать.

2 Неоднородные акторы

Главное действующее лицо любой проблемной ситуации – это неоднородный актор, который в теории интерсубъективного управления осуществляет познавательно - деятельностные функции. Именно актор, человек из повседневности, осознает наличие проблемной ситуации, не позволяющей жить по-старому и заставляющей искать выход, задействуя все его материальные, интеллектуальные и волевые ресурсы. Заинтересованность актора в урегулировании проблемной ситуации заставляет его контролировать ход решения проблемы, участвовать в нем и вносить свои корректизы. Будучи непрофессиональным ученым и управляемцем, актор, тем не менее, выполняет их функции.

Актор мотивирован к поиску выхода из проблемной ситуации тем, что он осознает затруднительность (и даже невозможность) дальнейшего существования, пока проблема не решена. Действительно, болезнь ребенка заставляет родителей стать акторами и искать способы скорейшего излечения. Необходимость защиты курсовой работы заставляет студента искать литературные источники, обращаться к преподавателям и одногруппникам для того, чтобы, в конце концов, выполнить работу. Стремление удержаться на своем рабочем месте движет работником-актором в поисках выхода из проблемной ситуации и улаживания конфликтов. Анализ проблемных ситуаций, в которых ощущают себя студенты ПГУТИ, показал, что на первое место они ставят проблему равнодушия, прямо или косвенно влияющую на многие аспекты их жизни в вузе и за его пределами. Причем активными акторами стали те студенты, которые уже столкнулись с проявлениями равнодушия, которые могли стоить им жизни (молодой человек потерял сознание на улице, а люди проходили мимо и не пытались помочь) или приводили к большому внутреннему замешательству. В ходе обсуждения на занятиях и после них в соци-

альных сетях студенты выработали коллегиальное решение обратиться в телестудию, с которой уже были налажены контакты ранее, для того чтобы создать совместно социальный ролик, сценарий которого был ими написан. Совместные обсуждения проблемы в течение длительного времени выявили заинтересованных акторов (они были наиболее активны и продолжили реализацию принятого решения, когда занятия уже закончились) и тех, кто не чувствовал себя погруженным в проблему (такие студенты явно не старались найти решение на занятиях и испытывали облегчение с их окончанием). Очевидно, что акторы заинтересованы в решении проблемы, поскольку сами вовлечены в нее (внутренне мотивированы), в отличие от менеджеров-бюрократов (внешне мотивированных), принимающих решение, опасаясь получить взыскание или не получить поощрение от представителей внешней среды.

Психологи отмечают, что главным признаком мотивированного поведения человека является наличие намерения - интенции к выполнению деятельности. Состояние внутренней мотивации определяется потребностями в самодетерминации и компетентности, являющимися частью основных психологических потребностей человека. В этом состоянии человек ощущает, что он является истинной причиной осуществляемого преднамеренного поведения (имеет внутренний локус причинности), и воспринимает себя как эффективного агента при взаимодействии с окружением (чувство компетентности) [9].

Мотив поведения актора определяется действием личностных факторов, таких, как мотивационные диспозиции актора (потребности, мотивы, установки, ценности), и ситуационных, связанных с окружающими человека условиями (поведение других людей, отношения, оценки, реакции окружающих, физические условия и т.д.), которые являются субъективным отражением внешних условий в контексте данной проблемной ситуации. Т.е. учитывается то значение, которое актор этим условиям придает, а не объективные параметры среды. Поиск выхода из проблемной ситуации является результатом такой интерпретации актором окружающей действительности.

Каждый актор имеет собственную точку зрения на проблему и свои субъективные представления о ценностях, однако, он понимает, что в подобной ситуации находится не только он, но и другие акторы, объединив усилия с которыми, можно более эффективно принять решение. Поэтому в поисках выхода из проблемной ситуации он опирается на коммуникативный разум, который предполагает такую позицию, при которой ценности и нормы разделяются им как интерсубъективно значимые. Индивид может признавать любое знание, восприятие, понимание субъективно «истинным» для себя самого. Но если в той или иной ситуации или в том или ином сообществе это знание, восприятие, понимание притягивает на то, чтобы стать интерсубъективно значимым, оно может быть признано таковым (то есть нормой) только при условии, что все участники данной ситуации или сообщества согласны признать это как норму и выражают своё согласие в процессе аргументативной дискуссии, цель которой - найти взаимопонимание. Интерсубъективная перспектива, таким образом, предполагает, что ни один из субъектов взаимодействия не может единолично утверждать свои значения или вершить свою волю в ситуации, где затрагиваются интересы других участников [10]. Поэтому в эвергетике неоднородные акторы, имеющие различные взгляды на ситуацию и на подходы к её урегулированию, полагаются коммуникативно разумными (рациональными) [2], а актор действует рационально, когда он стремится к обнаружению того смысла, который кроется в сложившейся ситуации, несмотря на то, что каждая ситуация несёт в себе свой смысл, разный для разных людей. Для каждого актора этот смысл является единственным и единственном истинным, меняясь не только от личности к личности, но и от ситуации к ситуации [11].

В результате стремления использовать ресурсы и других акторов на микроуровне формируются определенные небольшие группы людей, оказавшихся в общей проблемной ситуации. Автономные неоднородные акторы без мотивации извне, без указания сверху самоорганизу-

ются¹, коммуницируя друг с другом и вырабатывая согласованные решения по управлению ситуацией на основании общих интересов, учитывая и свои. Самоорганизация представляет собой иррациональную согласованность акторов, их направленность на «эффективные» совместные действия. Она проявляется тогда, когда участники проблемной ситуации на своем опыте убеждаются, что «передоверить» решение проблемы некому. Студенты, задумавшиеся о равнодушии, очевидно, оказались в таком окружении, которое не видело проблемы в данной ситуации, поэтому сама жизнь подвела их к необходимости действовать самостоятельно и коллективно. При социальной самоорганизации «субъект стремится изменить существующий порядок, взять на себя ответственность за последствия конфликта, за формирование новых норм, необходимых для повышения своего качества жизни и деятельности» [13], что и попытались сделать студенты.

Как в таких условиях коллегиальности обеспечить возможность достижения взаимопонимания и консенсуса акторов? В концепции коммуникативной рациональности Ю. Хабермаса [7] заложено убеждение в консолидирующей силе аргументированного дискурса, который и должен преодолеть разногласия акторов и достичь рационально обоснованного соглашения между ними. Несмотря на то, что эта концепция неоднократно подвергалась критике за необоснованный идеализм, недостаток прагматизма, невнимание к механизмам силы и власти, господствующим в обществе и т.д., тем не менее, нельзя отрицать «конструктивности идей коммуникативной рациональности в качестве необходимого ценностного ориентира современного сознания, подобно тому, как несовпадение реального поведения людей с нравственными идеалами и нормами не отменяет значимости последних» [14]. Поэтому рациональные, внутренне мотивированные акторы стремятся к принятию решения сообща, путем аргументированного дискурса, который должен привести их к консенсусу и помочь принять решение по урегулированию данной проблемной ситуации.

3 Аргументированный дискурс

Следует признать, что большинство из нас (акторов из мира повседневности) не владеет навыками ведения аргументированного дискурса и участия в принятии решений, предполагающими умение вести цивилизованный диалог, находить согласие, компромисс, учитывать мнения всех заинтересованных сторон, а также интересы как большинства, так и меньшинства, исключать агрессию из отношений с другими людьми. Мы привыкли к роли «подопечных», жизнь которых регулируется по преимуществу органами государственного управления, и чувствуем себя уютнее, доверив решение наших (!) проблем учителю, декану, главе администрации района, в котором живем, губернатору, президенту страны. Но поскольку только актор, погруженный в ситуацию и осознающий ее, может принять наиболее подходящее для него решение, необходимо воспитание будущих акторов, понимающих, что участие в управлении важно для них, начинать которое, очевидно, нужно уже в школе и продолжать в университетах. Учащихся следует вооружить не только методикой поведения в проблемной ситуации, ведения дискурсивных переговоров и поиска консенсуса, но и уверенностью в том, что из категорий «подопечных» и «клиентов», не принимающих решений по урегулированию проблемных ситуаций, возникающих в общественной жизни, они переходят в категорию действующих субъектов. Будучи не профессиональными управленцами, будущие акторы должны быть подготовлены к участию в процессах управления в обществе не только как практики, но и как теоретики.

Активное интерсубъективное взаимодействие людей по достижению согласия проявляется в виде коммуникаций, а ключевым моментом ведения переговоров по достижению консенсуса является настроенность актора на понимание и диалог с другими акторами, признание и

¹ Под самоорганизацией понимается спонтанное, незапланированное возникновение порядка (некоторых глобальных структур) из случайных (хаотических) локальных взаимодействий без внешних организующих воздействий [12].

уважение их прав на отличие. Несмотря на то, что «большинство людей — в индивидуальном качестве или же как представители человеческих общностей — плохие переговорщики: они слишком нетерпимы, эгоистичны, торопливы, не умеют слушать других, стремятся навязать свое мнение, легко ссорятся и портят отношения» [15], акторы вынуждены пересмотреть свое отношение к ведению переговоров внутри ситуативной ассоциации, если хотят найти решение. В переговорах выигрывает всегда тот, кто хочет договориться и последовательно идет к этому. Угрюмый сторонник конфронтации в конечном счете всегда проигрывает. Исходный принцип этики дискурса - изначальная готовность выслушать, готовность к самому диалогу – реализуется благодаря тому, что акторы понимают, что решение может быть принято только совместными усилиями. Поэтому результатом диалога становится дискурсивное единство, а в процессе интерсубъективного общения вырабатывается общая (рефлексивная) мораль, описанная Дьюи [16] и разделяемая всеми участниками проблемной ситуации.

Опыт общения со студентами технических вузов показал, что молодежь уже начинает меняться, у нее появляется желание участвовать в процессах управления в университете, регионе и обществе в целом. Будущие инженеры настроены позитивно по отношению к занятиям, обучающим выявлению и анализу проблемных ситуаций. В курсе методологии управления, прочитанном студентам ПГУТИ, была вскрыта проблемная ситуация, связанная с равнодушием в окружающем нас обществе. В ходе диалога студенты сформулировали определение равнодушия, которое является относительной истиной (по Пуанкаре), разделяемой всеми участвующими в обсуждении студентами. Следует заметить, что энциклопедическое определение равнодушия (абсолютная истина) звучало несколько иначе. Само обсуждение, носившее в начале не конструктивный характер, со временем стало на другие рельсы, когда студенты, почувствовавшие себя акторами, услышали мнения других, настроились на позитивное восприятие иных точек зрения и начали обсуждения в социальной сети Вконтакте, разработав определенные формы для удобства обмена мнениями и ускорения поиска решения. В результате было сформировано общее смысловое пространство, содержащее понятия, нормы морали и правила, соответствующие ситуации, в которой оказались именно эти студенты. Очевидно, что у других акторов, также определивших для себя проблемную ситуацию «равнодушие», смысловое пространство было бы иным.

В основу ведения аргументированного дискурса предлагаем положить модель переговоров, ориентированную на проблему, поскольку это стратегия ведения переговоров на основе интересов и партнерского подхода, наиболее подходящая для коммуницирования людей, оказавшихся в общей проблемной ситуации. Такая стратегия, предполагающая взаимное стремление акторов к позитивному взаимодействию, описана Р. Фишером и У. Юри [16]. Описательная информационная модель переговоров, использованная на занятиях со студентами ПГУТИ, базируется на следующих принципах.

- 1) Участники совместно анализируют проблему и совместно ищут варианты ее решения, демонстрируя другой стороне, что являются ее партнером, а не противником. Акторы, оказавшиеся в одной проблемной ситуации, понимают, что в одиночку найти решение зачастую невозможно. Поэтому они априори настроены на совместное обсуждение.
- 2) Внимание концентрируется не на позициях, а на интересах сторон. Действительно, поиск смысла проблемной ситуации заставляет акторов объяснять, каков их собственный интерес и выявлять интересы со-акторов.
- 3) Участники переговоров ориентированы на поиск взаимовыгодных вариантов решения проблемы, что требует не сужать разрыв между позициями в поисках единственного правильного решения, а увеличивать число возможных вариантов, отделять поиск вариантов от их оценки, выяснить, какой вариант предпочитает другая сторона. Акторы потому и обращаются к совместному поиску способа урегулирования ситуации, что не смогли это сделать самостоятельно, поэтому они готовы выслушать разные варианты и постараться их принять.

- 4) В процессе переговоров люди и спорные проблемы разделяются, что предполагает четкое разграничение взаимоотношений оппонентов и самой проблемы. Актор должен уметь поставить себя на место другого человека и попытаться понять его точку зрения, «не переходя на личности», разобраться с проблемой, демонстрируя уважительное отношение к другим членам ситуативной ассоциации.
- 5) Достигнутое соглашение должно максимально учитывать интересы всех участников переговоров. Консенсус, к которому, в конце концов, должны прийти акторы, как раз и предполагает общее согласие, при котором не все «за», а никто не «против».

Применение модели переговоров на основе интересов предполагает, что участники переговоров рассматривают достигнутые договоренности как справедливое и наиболее приемлемое решение проблемы. Это, в свою очередь, позволяет оптимистично оценивать перспективы постпереговорных отношений, связанных уже с реализацией принятого в ситуативной ассоциации решения, когда акторы будут стремиться к соблюдению достигнутых договоренностей без какого-либо принуждения.

4 Язык новой теории

Новый подход к управлению, опирающийся на актора, как повседневного управлена, требует использования новых понятий (таблица 1) и формирования нового языка, поскольку понятия, применяемые в менеджменте, оказываются непригодны для описания основных механизмов управления и положений новой теории.

Таблица 1 – Основные понятия эвергетики и менеджмента

	Эвергетика	Менеджмент
Понятия	Что делать?	Как делать?
	Повседневность	Мир систем
	Лоуархия	Иерархия
	Неоднородный актор	Менеджер
	The man	A man
	Погружение в проблемную ситуацию	Взгляд на проблемную ситуацию «извне»
	Ненасильственные способы управления	Принуждение
	Интерсубъективное управление	Бюрократия
	Коммуникативная рациональность	Инструментальная рациональность
	Ответственность личности	Ответственность по должностной инструкции
	Единое смысловое пространство	Единое информационное пространство
	Относительная истина	Абсолютная истина
	Диалог, полилог	Инструкции и руководящие документы
	Постнеклассическая рациональность	Классическая, неклассическая рациональность
	Субъект	Объект

Эвергетика, в отличие от менеджмента, прежде чем начать искать способы эффективного урегулирования ситуации, ставит вопрос: «что нужно делать?». Причем решение этого вопроса возлагается на неоднородных акторов («the man», а не «a man») (управленцев из мира повседневности), погруженных в проблемную ситуацию. В классической науке об управлении ответ на вопрос: «что делать?» дают менеджеры высшего звена, это решение не подвергается сомнению со стороны исполнителей, задача которых продумать, как это сделать наилучшим образом. Мир повседневности классической наукой об управлении, базирующейся на принципах бюрократии М. Вебера, не рассматривается, процессы управления являются прерогативой мира систем, в котором выстраиваются иерархические структуры (в отличие от лоуархии в жизненном мире). Актор, участвующий в интерсубъективном управлении, в отличие от менеджера, является участником ненасильственных способов управления, базирующихся не на принуждении, а на достижении взаимопонимания и консенсуса с другими акторами. Акторы

по собственной воле, без принуждения готовы использовать свои ресурсы для достижения общей цели и нести ответственность за достигнутый результат. Акторы полагаются коммуникативно рациональным, поскольку в поисках общего выхода из сложившейся проблемной ситуации они осознают необходимость в солидарности и сотрудничестве. Инструментальная рациональность менеджеров обычно направлена на использование других людей в своих интересах. Интерсубъективная структура индивидуального сознания способствует созданию особой общности между познающими субъектами, а субъективное знание, значимое и «верное» (относительно истинное) для одного актора, имеет ценность и для других акторов, находящихся с ним в общей проблемной ситуации, которая принуждает их взаимодействовать и участвовать в принятии совместных решений. В процессе полилога при обсуждении ситуации акторы формируют единое смысловое пространство, договариваясь об используемых понятиях, правилах и.д. Только так, следяя конвенциональной концепции истины А. Пуанкаре, трактующей истину как результат соглашения, может быть достигнута договорённость о признании некоторого субъективного знания относительно истинным (интерсубъективным) для ограниченного круга коммуницирующих акторов.

Социальные науки, традиционно поддерживающие формально-математические принципы, продемонстрировали свою несостоятельность, показав необходимость в изменении применяемых подходов. Предлагаемый интерсубъективный подход к управлению соответствует современному типу рациональности, который сегодня утверждается в науке и технологической деятельности - постнеклассической научной рациональности [17], базирующейся на субъективном подходе.

Заключение

Основные положения интерсубъективного подхода к управлению социальными процессами в современном обществе [1] получили отклик, начинают использоваться ранними последователями идеи и требуют дальнейшего развития. Получены первые результаты реального анализа проблемной ситуации акторами-студентами. Для того чтобы интерсубъективный подход к управлению перешел из теоретической области в практическую и получил более широкое распространение, необходимо воспитание акторов и их обучение методике поиска смысла проблемной ситуации, объединения в ситуативные ассоциации, ведения аргументированного диалога и нахождения консенсуса.

Таким образом будет сделан первый шаг на пути к эвергетике – «науке о процессах интерсубъективного управления в повседневности, в которой ключевую роль играет понятие неоднородного актора - человека, имеющего свою субъективную шкалу ценностей, осознающего себя (вместе с другими неоднородными акторами) «внутри» проблемной ситуации в повседневности, готового выполнять необходимые познавательные и деятельностные функции для урегулирования ситуации» [3]. Предпосылки, позволяющие надеяться на продвижение новой науки, уже существуют. Большая часть общества осознает, что бюрократические методы управления, применяемые до сих пор, изжили себя и становятся тормозом на пути социального прогресса, а социальные объекты уже нельзя рассматривать как простую механическую систему, пытаясь формализовать происходящие в ней процессы.

Список литературы

- [1] V.A. Vittikh. Introduction to the Theory of Intersubjective Management // Group Decision and Negotiation, volume 24, issue 1, January 2015, p.67 – 95
- [2] V.A. Vittikh. Evolution of Ideas on Management Processes in the Society: from Cybernetics to Evergetics // Group Decision and Negotiation, volume 24, issue 5, September 2015, p. 825 - 832.
- [3] В.А. Виттих. Что такое «эвергетика»? // Проблемы управления и моделирования в сложных системах: труды XVII международной конференции. – Самара: Изд-во СамНЦ РАН, 2015. – С.26-35.

- [4] V.A. Vittikh. Heterogeneous Actor and Everyday Life as Key Concepts of Evergetics // Group Decision and Negotiation, volume 24, issue 6, November 2015, pp 949-956.
- [5] R.A. Johnson, F.E. Kast, J.E. Rosenzweig. The Theory and Management of Systems (second edition) // McGraw-Hill Book Company, New York, 1967 (перевод с английского, М.: Советское радио, 1971).
- [6] J.L. Kennedy. Psychology and System Development // In Robert M.Gagne Psychological Principles in System Development, Holt, Rinehart and Winston, Inc., New York, 1962.
- [7] Хабермас Ю. Отношения между системой и жизненным миром в условиях позднего капитализма // Thesis, вып.2, 1993. - С.123 – 136.
- [8] <http://argumenti.ru/world/2016/01/430064>
- [9] В.И. Чирков. Самодетерминация и внутренняя мотивация поведения человека // Вопросы психологии, №3, 1995 - С. 116 – 130.
- [10] Татьяна Вайзер. Эгоцентризм и интерсубъективность во взаимоотношениях человека и окружающей среды // Логос, №1 [97], 2014. - С. 171.
- [11] Франкл В. Человек в поисках смысла. – М.: Книга по требованию, 2012. – 366 с.
- [12] G. Küppers. Self-organization – The Emergence of Order. From local interactions to global structures. – <http://www.uni-bielefeld.de/iwt/sein/paper no 2, pdf>, July 1999.
- [13] Цой Л.Н. Социальная организация и самоорганизация: конфликты и развитие личности // Мир психологии. Научно-методический журнал. № 2 (66) – Москва-Воронеж, 2011. С. 96-108
- [14] Швырев В.С. Рациональность как ценность культуры. Традиции и современность. – М.: Прогресс – Традиция, 2003. – 176 с.
- [15] Фишер Р., Юри У. Путь к согласию, или переговоры без поражения / Пер. с англ. А. Гореловой; Предисл. В. А. Кременюка. - М.: Наука, 1992. - 158 с.
- [16] Дьюю Дж. Понятие рефлекторной дуги в психологии // Интеракционизм в американской социологии и социальной психологии первой половины XX века: Сб. переводов / РАН. ИНИОН. Центр социал. научн.-инфформ. 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.
- [17] В.С. Степин, В.Г. Горохов, М.А Розов. Философия науки и техники. – М.: Гардарики, 1996.

ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЙ АГЕНТАМИ С ЭНДОГЕННЫМ ПРИНЦИПОМ ЦЕЛЕУКАЗАНИЯ

Г.П. Виноградов, Н.Г. Виноградова

Тверской государственный технический университет
170023, Тверь, ул. Маршала Конева, 12, Россия
wgp272ng@mail.ru, n-nataly08@mail.ru

Ключевые слова: модель выбора, нечеткие оценки, моделирование, целеустремленные системы, ситуационное управление.

Abstract

Discusses the problem of constructing models of agent selection, endogenous formative goal of its evolution. It is shown that its solution requires the development of well-known methods of decision making to account for the dependence of motivation to action from the desire of an agent to the realization of the subjectively understood interests but also from his subjective understanding of the state of the environment. The last invited to consider in the form of models about the situation purposeful state, which exists only in the mind of the agent. It is the basis for the receipt of submissions from an agent about possible results from the chosen method of action. The desire of the agent to increase their belief in the feasibility of the mode of action and the desired state requires him the use of procedures for creating the model view based on the results of measurement of the state of the environment. This leads to a game definition of the choice problem, and its solution can be obtained on many tradeoffs.

Введение

В интеллектуальных системах мотивация активности агентов связана с интересами и со стремлением к их реализации. В работе [1] показано, что формально интересы агента могут быть представлены двумя показателями: удельная ценность ситуации целеустремленного состояния по результату и удельная ценность ситуации целеустремленного состояния по эффективности. Мотивацию выбора естественно связывать со стремлением реализации интересов с некоторым «наилучшим результатом». Формально это понятие можно представить, например, в виде отношения удельной ценности ситуации целеустремленного состояния по результату к удельной ценности ситуации целеустремленного состояния по эффективности [3]. Значения этого показателя являются значениями некоторой шкалы, характеризующей субъективное отношение агента к эволюции своего состояния в зависимости от выбранного способа действия, а также к эволюции системы в целом, если учитывать тот факт, что реализация интересов агента возможна только в рамках системы. Полярные значение этой шкалы: гибель – доминирование. Оценки по шкале зависят от системы ценностей и норм агента и будут определять конкретное содержание интересов, их эмоциональное переживание, степень стремления к их реализации. Как установлено в [3] система внутренних ценностей может рассматриваться априорно заданной и инвариантной лишь до тех пор, пока не возникнет ситуация возможной гибели агента или получение таких оценок свойств ситуации целеустремленного состояния, которые он не может считать удовлетворительными. Систему ценностей следует рассматривать зависимой от принятой агентом этической системы. Следовательно, понятие «с наилучшими результатами» зависит от этической системы через систему ценностей и норм, которая в свою очередь определяет структуру предпочтений на действиях агента. Отметим, что в нормативной теории принятия решений структура предпочтений агента считается априорно заданной [2].

Данная схема формализации интересов агента позволяет определить его субъективные оценки желательности и возможности достижения различных значений удельной ценности ситуации целеустремленного состояния, и через них конкретные значения показателей качества «жизни», к которому стремится агент. Поскольку их значения формируются на основе субъективных оценок ценности и возможности реализации интересов, то интересы агента и соответствующие цели являются эндогенными, то есть формируемыми внутри системы. Структура и конкретные значения целей определяются степенью выражения в них интересов агента через субъективные оценки свойств компонент ситуации целеустремленного состояния (подробно об этом см. в [3]).

1 Базовые предположения субъективного выбора

Из психологии известно, что в человеке в форме инстинктов встроены механизмы, которые выполняются всегда и однозначно. Формально их можно считать аксиомами поведения. По аналогии для конструктивной формализации проблемы индивидуального выбора введем следующий набор предположений.

- 1) Базовые мотивации активности агента (субъекта): голод, комфорт, самосохранение. Они определяют структуру потребностей, являются основой познания самого себя и преобразования окружения, цель которого повышение субъективно понимаемой им гармонии (идеала).
- 2) Потребности, стремление к познанию, способности определяют предметную область, в рамках которой формируются интересы субъекта, то есть они определяют его миссию.
- 3) Реализация интересов зависит от системы ценностей и норм, которой придерживается агент, и от ограничений, накладываемых на выбор этической системой. Они определяют структуру предпочтений агента при выборе способа действия.
- 4) Структура ценностей и норм, а также структура предпочтений не фиксированы, субъект может их выбирать. Их варианты будем называть структурными альтернативами.
- 5) Цель деятельности субъекта не задана, а формируется им самим.
- 6) Мотивация выбора определяется заинтересованностью субъекта в своей эволюции при стремлении его к субъективно понимаемому идеалу.

Заинтересованность агента в своей эволюции предполагает его отношение к состоянию окружения, которая выражается в его представлениях о соответствии наблюдаемого состояния в форме оценок степени успешности реализации его интересов, намерений, интенций. Следовательно, существует набор переменных, наблюдаемый и воспринимаемый субъектом, с помощью которых агент характеризует состояние окружения. Их осознание агентом является необходимым внешним условием, побуждающим его к выбору способов действия, направленных на реализацию его интересов в ситуации выбора. Само осознание выражается на качественном уровне посредством вербальных (нечетких) оценок и касается всех компонент состояния, в том числе и самого субъекта выбора. Именно представление о состоянии окружения порождает как отношение к состоянию, так и отношение к возможности и эффективности с помощью способов действия реализовать интересы с «наилучшим результатом». Существование такого отношения являются ориентиром для субъекта при выборе способа действия, а также определять содержательный смысл его стремления к реализации интересов с «наилучшим результатом».

Определение 1. Качественные характеристики, определяющие отношение агента к состоянию окружения, оценку направления и возможности реализации интересов, ценности результатов, эффективности требуемых усилий с точки зрения его представлений о состоянии окружения, определяемых его внутренней системой интересов, ценностей и норм, а также его этической системой будем называть ситуацией целеустремленного состояния.

Ситуация целеустремленного состояния существует в сознании субъекта, отражает его индивидуальные особенности по моделированию состояния окружения. Поэтому следует ожидать отношения субъекта к своим моделям-представлениям или рефлексию своих представлений. Это факт обсуждался в работе [4], где предложено оценивать представления по критерию их полезности при реализации интересов. Следовательно, человек осуществляет выбор из множества возможных вариантов представлений в зависимости от убежденности в их адекватности и полезности для перехода в желаемое состояние.

Поскольку представление о ситуации целеустремленного состояния строится на основе субъективных оценок состояния окружения и о себе самом, то можно утверждать, что выбор способов действия, направленных на реализацию интересов с «наилучшим результатом» является субъективно рациональным выбором, в котором, состояние окружения следует рассматривать как экзогенный фактор. Ситуация целеустремленного состояния, как модель, является эндогенным фактором в модели выбора субъекта и определяет его отношение к наблюдаемому состоянию с помощью набора качественных характеристик. Эти рассуждения позволяют предложить следующую схему выбора агентом способа действия:

1. Для состояния окружения S агент ставит в соответствие ситуацию целеустремленного состояния $x \in X$, где множество X множество возможных вариантов описания состояния окружения. Для ситуации целеустремленного состояния определяется ее удельная ценность, как оценка степени реализации интересов. Проводится оценка степени удовлетворенности ситуацией, а также оценка степени соответствия представлений о ситуации целеустремленного состояния состоянию S и их полезности. В случае если убежденность в адекватном отражении состояния S ниже некоторого порога, выполняется процедура диагностики ситуации.

2. Если удовлетворенность ситуацией целеустремленного состояния ниже заданного порога, то из множества C альтернатив (оно соответствует позитивному опыту, когда с их помощью субъект наблюдал реализацию своих интересов) выбирается способ действия $c \in C$, позволяющий достичь желаемой ситуации целеустремленного состояния, ценность которой либо превышает пороговое значение, либо является оптимальной величиной при имеющихся возможностях. Определяется значение ценности желаемой ситуации целеустремленного состояния, строится дерево целей и способов действия, позволяющих ее достичь и конкретизирующее интересы субъекта.

3. Если выполнение п. 2 не приводит к желаемому состоянию, определяется возможность достичь намеченных целей с помощью каких-либо структурных альтернатив $g \in G' \subseteq G$. Если это невозможно, то фиксируется возникновение проблемы, составляется проект ее преодоления путем соответствующих исследований и разработок. Их цель: а) расширение множества структурных альтернатив $G \uparrow$ и множества способов действия $C \uparrow$; б) расшивка ограничений, снижение расходных норм и т.п. Для этой цели определяется направление эволюции в пространстве показателей и соответствующее возможностям величина шага.

4. Формируется план реализации выбранной структурной альтернативы $g \in G' \uparrow \subseteq G \uparrow$ и план расширения множества способов действия $C' \equiv C \uparrow$.

5. Определяется величина стимулирования для создания определенного уровня мотивации агента.

6. Для ситуации целеустремленного состояния реализуются управляющие воздействия в форме, определенной в п. 4-5.

Такую схему, вытекающую из предположений, постулирующих мотивацию целеустремленного поведения, будем называть схемой управления целенаправленной эволюцией, определяемой стремлением субъекта выживанию, или к сохранению достигнутого уровня, или к доминированию.

Согласно этой схеме субъект принимает управляющие решения, учитывая два типа условий: 1) экзогенные (объективные), порождаемые динамикой окружения и объекта интересов; 2) эндогенные (субъективные), порождаемые интересами субъекта.

Очевидно, что для возможности целенаправленного выбора способа действия должно быть задано множество C таких альтернатив, а кроме того должны быть заданы множество ситуаций X , от которых зависит выбор альтернатив, и предпочтения на элементах множества C , которые позволяли бы агенту сравнивать альтернативные элементы и выбирать в определенном смысле «наилучший» из них. Ясно также, что предпочтения должны быть заданы до выбора и их структура определяется отношением агента к состоянию, представляемого ситуацией, которое, порождает отношение к управляющим воздействиям с точки зрения субъективной оценки возможности их «влияния» на реализацию интересов.

Как показано в [1] функция полезности для агента имеет смысл оценки удельной ценности ситуации целеустремленного состояния. В работе [3] было установлено, что предпочтения в случае субъективно рационального выбора могут быть представлены единственным способом в оценках удельной ценности ситуации целеустремленного состояния по результату $E\varphi(\bullet)$, которые следует считать значениями функции полезности, обладающей свойствами, сформулированными в [5]. Она представляет априорные внутренние предпочтения агента на управляющих альтернативах в зависимости от состояния и представления о нем, а также от его системы ценностей и норм, задаваемых этической системой. С учетом этого естественно полагать, что функция полезности определена на альтернативах способов действия, обусловлена ситуацией $x \in X$ и состоянием $s \in S$. Кроме того, агент заинтересован в выборе структуры предпочтений из заданного множества структурных альтернатив G . Тогда естественно полагать, что функция полезности будет зависеть также и от структурной альтернативы $g \in G$, но как от параметра.

Из этих соображений следует, что функция полезности $E\varphi^G : (C \times S \times X) \rightarrow R^1$, представляет априорные предпочтения на управляющих альтернативах $c \in C$ в соответствии с условием: $c' \succ c \Leftrightarrow E\varphi^G(c', s, x) > E\varphi^G(c, s, x)$.

Подробно содержательный смысл и способы задания функции полезности для агентов с субъективно рациональной формой поведения рассмотрены в [3]. Если выбор осуществляется в условиях неопределенности, динамики и слабой структурированности окружения, то это предполагает введение в модель выбора предположений и правил устранения неопределенности, которые еще называют гипотезами детерминизма. Различные варианты элиминации неопределенности рассмотрены в работах Д.А. Новикова [6]. Здесь же ограничимся замечанием, что способ действия выбирается из условия максимума ожидаемой удельной ценности ситуации целеустремленного состояния по результату.

Поскольку модель ситуации целеустремленного состояния является основой для выбора агентом, то ее возможные варианты следует рассматривать как альтернативы диагностики состояния окружения. Выбор модели осуществляется по критериям полезности и качества. При этом функция полезности $E\varphi(\bullet)$ может служить основанием для определения смысла и структуры требуемого критерия. Действительно, пусть для каждого состояния $s \in S$ определена пара переменных $(x^*, c^*)_s \in X \times C$, на которой функция полезности достигает своего максимального значения. Пусть теперь из некоторых соображений в состоянии $s \in S$ выбрана модель ситуации целеустремленного состояния $x \in X$ как результат диагностики, и с учетом этого выбрано управляющее воздействие $c \in C$. Поскольку, в общем случае, окружение субъекта интересов является неопределенным, слабо формализуемым и наблюдаемая траектория состояний зависит от оценки исходного состояния окружения и правила выбора способов действий, то качество диагностики будет зависеть от используемых процедур идентификации состояния, кото-

рые можно рассматривать как средство детерминации представлений. Например, в случае, когда неопределенность имеет стохастический характер, то в роли критерия качества диагностики естественно использовать математическое ожидание некоторой функции от потерь полезности, которое принято называть «риском» [7].

Таким образом, в схеме целеустремленного выбора для описания качества управления следует использовать критерий, имеющий смысл ожидаемой удельной ценности ситуации целеустремленного состояния по результату, а для описания качества диагностики – критерий, имеющий смысл риска. Ясно, что выбираемые таким образом правила будут определенным способом взаимозависимы. В этих условиях проблема выбора имеет игровое содержание, а ее «наилучшее» решение состоит в построении некоторого устойчивого компромисса («равновесия» [8]) между достижением максимальной ожидаемой полезности и минимального риска. Отыскание и использование подобного равновесия естественно рассматривать в качестве внутренней цели при выборе «наилучшего способа действия».

С учетом выполненных рассуждений окончательно концепцию выбора с учетом сделанных предположений дополним следующими основными положениями.

1. При выполнении предположений о поведении агента наблюдение и восприятие состояния является необходимым, но не достаточным условием осуществимости выбора.

2. Достаточное условие осуществимости выбора определяется заданием отношения субъекта к состоянию, определяемого некоторой качественной характеристикой, называемой ситуацией целеустремленного состояния.

3. Вследствие того, что непосредственному наблюдению доступны параметры состояния, необходимо выполнение процедур диагностики, цель их выполнения состоит в выборе модели ситуации в зависимости от результатов наблюдения.

4. Выбор способа действия выполняется по критерию ожидаемой удельной ценности ситуации целеустремленного состояния.

5. Выбор правила диагностики выполняется по критерию риска.

6. Проблема выбора правил управления и диагностики имеет игровое содержание, «наилучшее» решение которой состоит в построении устойчивого компромисса, называемого «равновесием».

7. Построение и использование равновесных правил управления и диагностики является внутренней целью при выборе «наилучшего способа действия».

Сформулированные положения определяют концепцию целеустремленного выбора агентами, поведение которых мотивировано эндогенно формируемыми целями.

2 Принятие решений с учетом структурных альтернатив

Предположения выбора определяют общую структуру интересов, но не определяют условия, в которых должны приниматься решения. Поэтому необходимы дополнительные предположения, уточняющие перечень предположений в указанном направлении.

Согласно введенным предположениям объект интересов может быть активным, динамическим. Если его эволюция описывается правилом $f : X \times C \rightarrow X$ и f – нечеткая функция, то соответствующая система является нечеткой системой, состояние которой в момент $t+1$ есть условное по x_t и c_t нечеткое множество, характеризуемое функцией принадлежности вида $\mu(x_{t+1} | c_t, x_t)$. Тогда естественно полагать, что эволюция объекта описывается нечетким марковским процессом. Без ограничения общности можно полагать, что множество S его состояний некоторым способом упорядочено, например, задано априорное распределение возможности $\beta(S)$ появления конкретного состояния $s \in S$.

Согласно концепции целеустремленного управления выбор управляющих альтернатив осуществляется в ситуации целеустремленного состояния, которая является качественной характеристикой, определяющей отношение субъекта к состоянию. Множество таких ситуаций

обозначим X и оно конечно. Мощность множества X очевидно не может превосходить мощность множества состояний, т. е. должно выполняться условие: $|X| \leq |S|$.

Согласно введенным предположениям мотивация выбора определяется заинтересованностью субъекта в своей прогрессивной эволюции объекта путем выбора способов действия и структуры предпочтений, что определяет два аспекта интересов. Концепция целеустремленного выбора вводит третий аспект заинтересованности, который связан с необходимостью диагностики ситуации в зависимости от наблюдаемого состояния.

Естественно полагать, что для каждого аспекта интересов существуют альтернативные варианты их реализации, и заданы соответствующие множества допустимых альтернатив. Тогда, следуя концепции целеустремленного выбора, положим, что для аспекта интересов, связанного с управлением эволюцией состояний, задано множество C управляющих альтернатив. Поскольку управляющие альтернативы выбираются в зависимости от ситуаций $x \in X$, то естественно полагать, что существуют ограничения на допустимость управляющих альтернатив в зависимости от ситуации $x \in X$. Такие ограничения естественно задавать включениями вида $C_x \subset C, x \in X$, либо $C_x \subseteq C, x \in X$.

Как показано выше, ситуация целеустремленного состояния существует только в сознании агента в форме модели его окружения в зависимости от состояния $s \in S$. Будем считать, что агент обладает различной степенью информированности о состоянии окружения в виде некоторого набора X_s . Естественно предположить, что справедливо условие $X_s \cap X \neq \emptyset, s \in S$.

Наконец, согласно введенным предположениям субъект заинтересован в выборе структуры предпочтений из заданного множества G альтернативных вариантов, которые называются структурными альтернативами.

Очевидно, что эволюция состояний агента определяется выбранной структурой предпочтений. При этом агент стремится реализовать прогрессивную динамику эволюции состояния в зависимости от своих представлений. В таком случае структурные альтернативы должны выбираться в качестве общего для состояний и ситуаций параметра, определяющего закономерность динамики состояний. Структурные альтернативы могут выбираться двумя способами: последовательно на каждом шаге либо выбранная структурная альтернатива должна оставаться постоянной на заданном горизонте существования интересов. В первом случае будем говорить, что структурная альтернатива является тактической, а во втором –стратегической.

Естественно полагать, что в составе активной системы субъект может наблюдать состояния и принимать управляющие решения лишь в дискретные моменты времени. С учетом этого процесс управления будем понимать как процесс последовательного принятия решений с дискретным временем.

Согласно введенному выше предположению эволюция объекта интересов описывается нечетким марковским процессом в пространстве состояний S . Применение управляющих воздействий в дискретные моменты времени порождает управляемый марковский процесс с дискретным временем с тем же множеством состояний S . Динамика такого процесса определяется переходной функцией, задающей вероятности одношаговых переходов на множестве состояний в зависимости от выбора управляющих альтернатив $c \in C$. При этом она будет зависеть также и от структурной альтернативы $g \in G$, но как от параметра. Обозначим переходную функцию управляемого процесса символом $q^G(S | S \times C)$.

Согласно концепции целеустремленного выбора должна быть задана функция полезности $E\varphi^G : (C \times S \times X) \rightarrow R^1$, представляющая априорные предпочтения на управляющих альтернативах $c \in C$.

Введенные предположения конкретизируют предположения выбора с помощью условий принятия управляющих решений.

1. Эволюция объекта интересов описывается марковским процессом в пространстве состояний S . На множестве S задано априорное распределение вероятностей $\beta(S)$.

2. Задано множество ситуаций X , являющихся качественными характеристиками, представляющими априорное отношение субъекта к состоянию. Они нуждаются в диагностике, которая состоит в выборе ситуации из множества X в зависимости от состояния. Модели-представления должны удовлетворять условию $X_s \cap X \neq \emptyset, s \in S$.

3. Задано множество C управляющих альтернатив. Управляющие альтернативы выбираются в зависимости от ситуации $x \in X$. Заданы ограничения $C_x \subset C$ на допустимость управляющих альтернатив в зависимости от ситуаций $x \in X$.

4. Структура предпочтений не фиксирована и может выбираться из заданного множества структурных альтернатив G . Структурные альтернативы выбираются в зависимости от системы ценностей и норм и направлены обеспечение прогрессивной эволюции агента, понимаемой им субъективно.

5. Структурная альтернатива может выбираться последовательно в каждый момент $n = 1, 2, \dots$, тогда она является тактической, либо выбранная структурная альтернатива может оставаться постоянной на всем заданном горизонте времени, тогда она является стратегической.

6. Реализация выбранного способа действия порождает управляемый марковский процесс с дискретным временем и переходной функцией $q^G(S | S \times C)$ из $S \times C$ в S , которая зависит от структурной альтернативы $g \in G$ как от параметра.

7. Задана функция полезности $E\varphi^G : (C \times S \times X) \rightarrow R^1$, представляющая априорные предпочтения на множестве управляющих альтернатив C . Функция полезности зависит от структурной альтернативы $g \in G$ как от параметра.

3 Информационные структуры при принятии решений

Введенные формализмы принятия решений определяют не только условия принятия решений, но и соответствующие носители априорной информации. В совокупности они образуют набор следующих формальных объектов:

S – множество состояний окружения; $\beta(S)$ – априорное распределение возможности на множестве состояний; X – множество ситуаций; $X_s \cap X \neq \emptyset$ – ограничения, определяющие факт наличия «правильных» представлений в роли альтернатив диагностики в зависимости от состояний $s \in S$; C – множество управляющих альтернатив; $C_x \subseteq C$ – ограничения на допустимость управляющих альтернатив в зависимости от ситуаций $x \in X$; G – множество структурных альтернатив; $q^G(S | S \times C)$ – переходная функция из $S \times C$ в S ; $E\varphi^G(C \times (S \times X))$ – функция полезности, представляющая априорные предпочтения на альтернативах $c \in C$ в зависимости от состояний $s \in S$, ситуаций $x \in X$ и структурных альтернатив $g \in G$.

Этот набор определяет структуру априорной информации, которая должна задаваться в соответствии с правилами принятия решений. Особенность условий информационной структуры заключается в том, что в ее составе предполагается задание одновременно состояний и ситуаций, при этом выбор управляющих воздействий зависит от ситуаций, которые будучи качественными характеристиками, представляющими отношения к состоянию, недоступны непосредственному наблюдению и нуждаются в диагностике. В этих условиях закономерность динамики ситуаций априори не может быть задана. Поэтому правила принятия решений пред-

полагают задание лишь закономерности динамики состояний, определяемой переходной функцией $q^G(S | S \times C)$ из $S \times C$ в S . В этом смысле задаваемая априорная информация минимальна.

В условиях дефицита априорной информации минимальная структура может быть неполной. Тогда следует ввести правдоподобные предположения (в виде множества гипотез Γ), которые позволили бы сформулировать постановку задачи в качестве некоторого приближения исходной задачи [9, 10]. Пусть, например, в базовой информационной структуре переходная функция $q^G(S | S \times C)$ не задана, но задано множество гипотез Γ о ней. Тогда формально можно полагать, что переходная функция $q^{(g, \gamma)}(S | S \times X)$ зависит от некоторого параметра γ принимающего значения из заданного множества Γ , но истинное значение такого параметра остается неизвестным.

Очевидно, что это потребует также выбора в определенном смысле «наилучшей» гипотезы о переходной функции. При этом полнота расширенных информационных структур может быть установлена лишь по итоговым результатам исследования проблемы.

4 Игровой подход к формализации проблемы выбора

Предположения выбора определяют существование двух аспектов интересов агента, один из которых определяется заинтересованностью в управлении эволюцией объекта интересов, а другой – в выборе структуры предпочтений. Концепция целеустремленного управления определяет третий аспект интересов, связанный с необходимостью диагностики ситуации в зависимости от наблюдаемого состояния. В соответствии с этими тремя аспектами предполагается задание трех множеств альтернатив: множества C способов действия, множества G структурных альтернатив и множества X альтернатив диагностики. Предполагается задание также функции полезности $E\varphi^G(C \times S \times X)$ и переходной функции $q^G(S | S \times C)$ из $S \times C$ в S . Задание этих объектов предполагает возможность формирования постулируемых концепций ситуационного управления критерия качества правила выбора, имеющего смысл ожидаемой полезности, и критерия качества выбора модели ситуации целеустремленного состояния, имеющего смысл риска. Такие критерии очевидным образом различны и некоторым способом взаимозависимы. Естественно полагать, что для выбора структурных альтернатив также может быть введен соответствующий критерий качества, отличный от остальных критериев и некоторым способом зависящий от выбора других альтернатив. Как известно, в подобных условиях проблема выбора имеет игровое содержание [9]. Тогда с каждым множеством альтернатив формально можно связать заинтересованную сторону (игрока), интересы которой связаны с выбором альтернативы из соответствующего множества альтернатив по своему индивидуальному критерию качества. В пределах своего множества альтернатив каждая сторона имеет свободу выбора. Однако поскольку интересы каждой такой стороны представляют некоторую компоненту интересов агента, то в таком случае при выборе своих альтернатив стороны обязаны соблюдать общие для них интересы агента. В этих условиях проблема выбора приобретает игровое содержание с корпоративными интересами [9], и субъект интересов играет роль центра. Естественно полагать, что он может согласиться с предлагаемым вариантом компромисса, если компромисс невозможно улучшить без ущемления хотя бы одной компоненты интересов. Тогда компромисс, удовлетворяющий этому требованию, будем называть «корпоративно устойчивым равновесием».

Заключение

Рассмотрена проблема построения модели выбора агента, эндогенно формирующего цели своей эволюции. Показано, что ее решение требует развития известных методов для учета зависимости мотивации к принятию решений от стремления агента к реализации субъективно понимаемых интересов, а также от его субъективного понимания состояния окружения. Последнее предложено рассматривать в форме модели о ситуации целеустремленного состояния, которая существует только в сознании агента. Она является основой для получения представлений у агента о возможных результатах от выбранного способа действия. Стремление агента повысить свою убежденность в реализуемости способа действия и возможности достижения желаемого состояния требует от него использование процедур формирования модели-представления на основе результатов измерения состояния окружения. Показано, агент должен выбрать способ действия по критерию ожидаемой удельной ценности ситуации целеустремленного состояния по результату, а процедуры диагностики – по критерию риска, то выбор имеет игровое содержание и осуществляется на множестве компромиссных вариантов.

Благодарности

Данная работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ в рамках проекта 14-01-00328\14.

Список литературы

- [1] Виноградов, Г.П. Моделирование поведения агента с учетом субъективных представлений о ситуации выбора / Г.П. Виноградов, В.Н. Кузнецов // Искусственный интеллект и принятие решений. № 3. с. 58-72.
- [2] Ларичев О.И., Мовшович Е.М. Качественные методы принятия решений. Вербальный анализ решений. – М.: Наука, 1996.
- [3] Виноградов, Г.П. Методы и алгоритмы принятия решений в автоматизированных системах управления производствами с непрерывной технологией на основе субъективных представлений: монография. / Г.П. Виноградов. Тверь: ТГТУ, 2013. 256 с.
- [4] Виноградов, Г.П. Формирование представлений агента о предметной области в ситуации выбора/ Г.П. Виноградов, Г.П. Шматов, Д.А. Борзов // Программные продукты и системы. №2 (110), 2015. – С. 83–94.
- [5] Нейман Дж., Моргенштейн О. Теория игр и экономическое поведение. – М.: Наука, 1970.
- [6] Новиков, Д. А. Математические модели формирования и функционирования команд / Новиков Д.А.– М.: Физматлит, 2008.
- [7] Управление риском: Риск. Устойчивое развитие. Синергетика. – М.: Наука, 2000.
- [8] Мулен Э. Теория игр с примерами из математической экономики. – М.: Мир, 1985.
- [9] Баранов, В.В. Методы стационарных равновесий в задачах динамического принятия решений при неопределенности относительно состояния / В.В. Баранов // Изв. РАН. Теория и системы управления. 2001. № 5. С. 45–59.
- [10] Виноградов Г.П., Кузнецов В.Н. Эволюция представлений о моделях принятия решений в контексте научной рациональности. Рефлексивные процессы и управление. Сборник материалов X Международного симпозиума 15-16 октября 2015 г. Москва / Отв. ред. В.Е. Лепский – М.: «Когито-Центр», 2015. – с. 27-30.

МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЕ ОЦЕНИВАНИЕ ЗНАЧИМОСТИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИННОВАЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ

М.В. Цапенко

Институт проблем управления сложными системами РАН
443020 г. Самара, ул. Садовая, 61, Россия

cscmp@iccs.ru

тел./факс: +7 (846) 333-27-70

Ключевые слова: инновационный проект, критерии эффективности, многокритериальное оценивание, метод анализа иерархий.

Abstract

This article describes how to assess the significance of local criteria of efficiency of innovative projects based on multi-criteria methods of expert estimations. In research describes the method of aggregation of local performance criteria. Examples of definition of importance of specific criteria for the effectiveness of innovative projects presented.

Введение

Известны различные способы оценки эффективности инновационных проектов, при этом единого, универсального подхода к оцениванию и количественному исчислению их системной эффективности не выработано.

Широкое распространение получили статистические методы оценки, основанные на показателях экономической эффективности инвестиций по методологии UNIDO [1].

Эти процедуры оценивания основаны на совокупности экономических критерии: чистый дисконтированный доход, индекс доходности, внутренняя норма доходности, срок окупаемости и ряде других характеристик, отражающих специфику проекта и интересов его участников.

Однако, при проведении оценки по этой системе показателей возможны противоречия, когда для разных проектов определяются приоритеты по локальным оценкам характеристики поведения которых антагонистичны.

Решением этой задачи является конструирование способа агрегирования локальных характеристик эффективности, позволяющего рассчитать интегральный, обобщающий показатель качества. Для этого необходимо знать информацию о значимости частных показателей эффективности и их непосредственные значения.

В статье рассмотрены процедуры экспертного многокритериального оценивания значимости частных показателей эффективности инновационных проектов и процедуры свёртки локальных критерии.

1 Модель экспертного многокритериального оценивания

Существует множество моделей многокритериального оценивания в основу которых положены различные принципы и подходы. Известны классы формальных моделей [2], а также моделей, основанных на экспертных подходах [3].

Для решения поставленной задачи будем использовать экспертный подход – метод анализа иерархий (далее по тексту – МАИ). Метод МАИ был разработан в начале 1970 года американским математиком Томасом Саати, оригинальное название метода звучит как Analytical Hierarchy Process [4, 5].

МАИ получил широкое распространение и активно применяется в различных отраслях науки и практики для решения прикладных задач многокритериального оценивания на основе обработки субъективных экспертных суждений в форме парных сравнений.

Метод применяется к различным по своей сущности и характеристикам системам и объектам. Так известны постановки и решения задач ранжирования и выбора возможных рыночных альтернатив (продуктов и услуг), проведения маркетинговых исследований, определения значимости совокупности факторов, стратегий развития, распределения ресурсов и т.д.

В основе метода лежит процедура декомпозиции сложной проблемы – представление её в виде структурированного набора компонент или критерии, взаимосвязи между которыми формируются в иерархическом варианте представления. При этом вершиной иерархии является общая цель – желаемое состояние системы.

Следующий уровень представляет собой детализацию общей цели в виде набора критериев, компонент или сил, оказывающих влияние на достижение обозначенного результата. На самом нижнем уровне иерархии представлены возможные альтернативы, степень приоритетности (значимости) которых требуется оценить.

В методе реализуется процедура парного сравнения отдельных компонент иерархии между собой. Результаты экспертного оценивания представляются в виде набора положительных обратно симметричных матриц парных сравнений вида:

$$(1) \quad A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix}.$$

В (1) каждый элемент матрицы a_{ij} определяет субъективное мнение эксперта относительно значимости оцениваемой i -ой компоненты иерархии относительно j -ой, formalизованное оценками по заданной шкале.

Матрицы вида (1) составляются для сравнения важности элементов каждого нижестоящего уровня иерархии относительно вышестоящего. Оценки элементов иерархии производятся в соответствии с девятибалльной шкалой относительной важности, при этом для оценивания n компонент необходимо сформировать $n(n-1)/2$ суждений.

На основе матриц парных сравнений вычисляются локальные приоритеты (значимости факторов) по каждой отдельной матрице и критерии качества экспертных оценок.

Локальные приоритеты formalизуются в методе анализа иерархий в виде нормализованного главного собственного вектора матрицы. Широко распространённым приближённым способом нахождения собственного вектора является подход, основанный на нахождении среднего геометрического. В соответствии с ним компонента собственного вектора i -ой строки находится по формуле:

$$(2) \quad b_i = \sqrt[n]{a_{i1} \times a_{i2} \times \dots \times a_{in}}.$$

Затем все компоненты b_n собственного вектора нормализуются на единицу путем их деления на сумму b_i . Эти значения и определяют локальную значимость относительно оцениваемых элементов.

Критерии качества работы экспертов отыскиваются на основе расчёта показателей согласованности суждений для каждой матрицы парных сравнений по максимальному собственному значению матрицы.

Если качество суждений экспертов неприемлемо – оценки несогласованы между собой, то следует пересматривать суждения экспертов по соответствующей матрице.

Завершающим этапом метода является нахождение интегральных обобщённых оценок значимости альтернатив. Процедура свертывания локальных приоритетов заключается в нахождении взвешенных сумм по всем элементам одного уровня, учитывающих весовые коэф-

фициенты (вектора приоритетов) вышестоящего уровня иерархии. Так в случае с трёхуровневой иерархией в соответствии с весовыми коэффициентами критериев второго уровня производится свёртка по каждой из альтернатив третьего уровня. Найдя, таким образом, значения глобальных приоритетов, делается окончательный вывод о сравнительной значимости оцениваемых альтернатив.

Для определения значимости показателей эффективности инновационных проектов на основе экспертного подхода решим следующие задачи:

- 1) Систематизируем локальные критерии эффективности инновационных проектов.
- 2) Выберем актуальный для инновационных проектов состав критериев.
- 3) Проведём экспертную ранжировку укрупнённых групп критериев.
- 4) Определим значимость локальных критериев в каждой группе.
- 5) Синтезируем глобальные оценки критериев в группах

2 Систематизация локальных критериев эффективности инновационных проектов

Реализация инновационных проектов предусматривает, прежде всего, обеспечение высокой эффективности использования ресурсов: достижение максимальных экономических результатов при минимальных совокупных издержках производства и реализации продукции [6, 7]. Оценка этих результатов производится на основе системы локальных критериев эффективности.

Критерии, необходимые для оценки инновационных проектов, могут различаться в зависимости от конкретных условий, например, отраслевой принадлежности и стратегической направленности проекта. При выборе критериев необходимо использовать те, которые вытекают непосредственно из целей, стратегии и задач проекта.

Существует множество различных наборов критериев для оценки инновационных проектов. Рассмотрим один из возможных составов локальных критериев, охватывающий все ключевые аспекты эффективности инновационных проектов. Этот состав, структурированный по девяти группам, представлен в материалах [8].

- 1) Показатели, характеризующие деятельность с точки зрения способности наилучшим образом реализовать инновационный проект:
 - квалификация административно-управленческого персонала;
 - квалификация специалистов по маркетингу;
 - организационно-управленческая структура фирмы;
 - система сбыта товаров (услуг);
 - финансовое и экономическое положение фирмы;
 - репутация (имидж) фирмы и ее товаров (услуг);
 - квалификация научного и инженерного персонала;
 - квалификация производственная персонала;
 - технологический уровень производства;
 - доступность источников сырья, материалов, комплектующих;
 - доступность источников энергии и топлива;
 - уровень развития транспортной сети;
 - доступность рынка;
 - культура производства;
 - безопасность производства;
 - экология производства.
- 2) Показатели, характеризующие отрасль и отраслевой рынок проекта:
 - перспективы развития отрасли и отраслевого рынка;

- уровень конкуренции;
 - стабильность спроса;
 - тенденции изменения спроса;
 - затраты на продвижение товаров (услуг) на рынок;
 - емкость рынка;
 - способность рынка к принятию товаров или услуг;
 - влияние проекта на развитие смежных отраслей.
- 3) Показатели, характеризующие товары или услуги:
- функциональные и потребительские свойства товаров (услуг);
 - надежность и долговечность;
 - экологичность;
 - безопасность для потребителя;
 - цена;
 - себестоимость товаров (услуг);
 - дизайн;
 - возможность развития товаров (услуг);
 - соответствие стандартам;
 - технологичность;
 - подготовка клиента к использованию товаров (услуг).
- 4) Показатели, характеризующие маркетинг:
- исследование рынка;
 - реклама;
 - каналы сбыта товаров (услуг);
 - методы стимулирования сбыта;
 - предпродажное и послепродажное обслуживание.
- 5) Производственные показатели:
- система обеспечения и контроля качества товаров (услуг);
 - накладные расходы;
 - степень использования технологического потенциала;
 - затраты на сырье, материалы и комплектующие;
 - затраты на топливо и энергоносители;
 - производственная кооперация.
- 6) Финансовые показатели:
- приобретение венчурным фондом векселей;
 - возможность привлечения средств населения;
 - обеспечение финансовых гарантит;
 - участие фирмы, представляющей проект, в его финансировании;
 - вложение в уставной капитал;
 - возможность привлечения зарубежных инвесторов;
 - возможность получения кредитов в российских банках;
 - займы от третьих лиц;
 - общий объем финансирования проекта.
- 7) Социально-экономические показатели:
- обеспечение занятости населения;
 - экспортный потенциал;
 - экология региона;
 - рост деловой активности;

- использование научно-технического потенциала;
 - рост личных доходов населения региона;
 - развитие отрасли;
 - развитие производств, косвенно связанных с проектом;
 - развитие объектов социальной сферы в регионе;
 - решение демографических проблем;
 - разработка новых рынков;
 - рациональное использование природных ресурсов;
 - безопасность населения;
 - развитие региональной инфраструктуры.
- 8) Показатели, характеризующие коммерческую (финансовую) эффективность проекта:
- чистый дисконтированный доход;
 - время окупаемости инвестиций;
 - внутренняя норма доходности.
- 9) Показатели, определяющие риски проекта:
- экономический риск;
 - риск сбыта;
 - социально-политический риск;
 - риск качества;
 - риск обеспечения производства;
 - бюджетный риск;
 - природный риск;
 - экологический риск;
 - криминальный риск.

Как видно это достаточно обширный перечень показателей (81 критерий), охватывающих разные сферы деятельности. Положим, что эти показатели имеют разную актуальность с точки зрения модельного инновационного проекта и их необходимо отобрать.

3 Отбор локальных критериев

В девяти укрупнённых группах, определённых ранее, проведём отбор локальных критериев, которые в большей степени характеризуют специфику модельного инновационного проекта.

Результаты отбора представлены в таблице 1.

Таким образом, в девяти группах отобрано 35 локальных критериев эффективности, которые в наибольшей степени характеризуют специфику модельного инновационного проекта.

4 Определение значимости укрупнённых групп

Определим значимость девяти укрупнённых групп методом анализа иерархий. Для этого сформируем матрицу парных сравнений и проведём необходимые расчёты по алгоритму метода МАИ – таблица 2.

Для оценок парных сравнений, представленных в таблице 2, получены достаточно высокие показатели качества экспертных суждений, отношение согласованности составляет 5,48%, при критическом уровне 10%.

Значимость укрупнённых групп критериев представлена на диаграмме рисунка 1.

Согласно данным диаграммы, представленной на рисунке 1, можно выделить пять групп, имеющих наибольшую значимость:

Таблица 1 – Исходные локальные показатели эффективности инновационных проектов

Номер группы	Укрупнённая группа	Номер критерия	Локальные показатели
1	Реализуемость проекта	1.1	- квалификация административно-управленческого персонала;
		1.2	- финансовое и экономическое положение фирмы;
		1.3	- репутация (имидж) фирмы и ее товаров (услуг);
		1.4	- система сбыта товаров (услуг);
2	Характеристики отрасли и отраслевого рынка	2.1	- перспективы развития отрасли и отраслевого рынка;
		2.2	- уровень конкуренции;
		2.3	- стабильность спроса;
		2.4	- затраты на продвижение товаров (услуг) на рынок;
3	Характеристики товара (услуги)	3.1	- функциональные и потребительские свойства товаров (услуг);
		3.2	- надежность и долговечность;
		3.3	- цена;
		3.4	- себестоимость товаров (услуг);
4	Маркетинг проекта	4.1	- реклама;
		4.2	- каналы сбыта товаров (услуг);
		4.3	- методы стимулирования сбыта;
		4.4	- предпродажное и послепродажное обслуживание;
5	Производственные показатели	5.1	- система обеспечения и контроля качества товаров (услуг);
		5.2	- степень использования технологического потенциала;
		5.3	- затраты на сырье, материалы и комплектующие;
		5.4	- затраты на топливо и энергоносители;
6	Финансовые показатели	6.1	- приобретение венчурным фондом векселей;
		6.2	- вложение в уставной капитал;
		6.3	- займы от третьих лиц;
		6.4	- общий объем финансирования проекта;
7	Социально-экономические показатели	7.1	- экспортный потенциал;
		7.2	- экология региона;
		7.3	- рост личных доходов населения региона;
		7.4	- безопасность населения;
8	Показатели коммерческой эффективности проекта	8.1	- внутренняя норма доходности;
		8.2	- время окупаемости инвестиций;
		8.3	- чистый дисконтированный доход;
9	Риски проекта	9.1	- экономический риск;
		9.2	- социально-политический риск;
		9.3	- риск качества;
		9.4	- экологический риск;

Таблица 2 – Матрица парных сравнений и нормированные оценки значимости укрупнённых групп

Укрупнённые группы критериев	Реализуемость проекта	Характеристики отрасли и отраслевого рынка	Характеристики товара (услуги)	Маркетинг проекта	Производственные показатели	Финансовые показатели	Социально-экономические показатели	Показатели коммерческой эффективности проекта	Риски проекта	Среднее геометрическое	Нормированные оценки
Реализуемость проекта	1	2	1/3	1/2	1/3	1/5	1/4	1/5	1/3	0,42	0,04
Характеристики отрасли и отраслевого рынка	1/2	1	2	1/3	1/4	1/5	1/4	1/5	1/4	0,39	0,03
Характеристики товара (услуги)	3	1/2	1	1/2	1/3	1/4	1/4	1/4	1/3	0,48	0,04
Маркетинг проекта	2	3	2	1	1/2	1/4	1/2	1/5	1/3	0,72	0,06
Производственные показатели	3	4	3	2	1	1/3	2	1/2	2	1,54	0,13
Финансовые показатели	5	5	4	4	3	1	3	1/2	3	2,60	0,23
Социально-экономические показатели	4	4	4	2	1/2	1/3	1	1/3	1/3	1,10	0,10
Показатели коммерческой эффективности проекта	5	5	4	5	2	2	3	1	2	2,84	0,25
Риски проекта	4	3	3	3	1/2	1/3	3	1/2	1	1,44	0,13

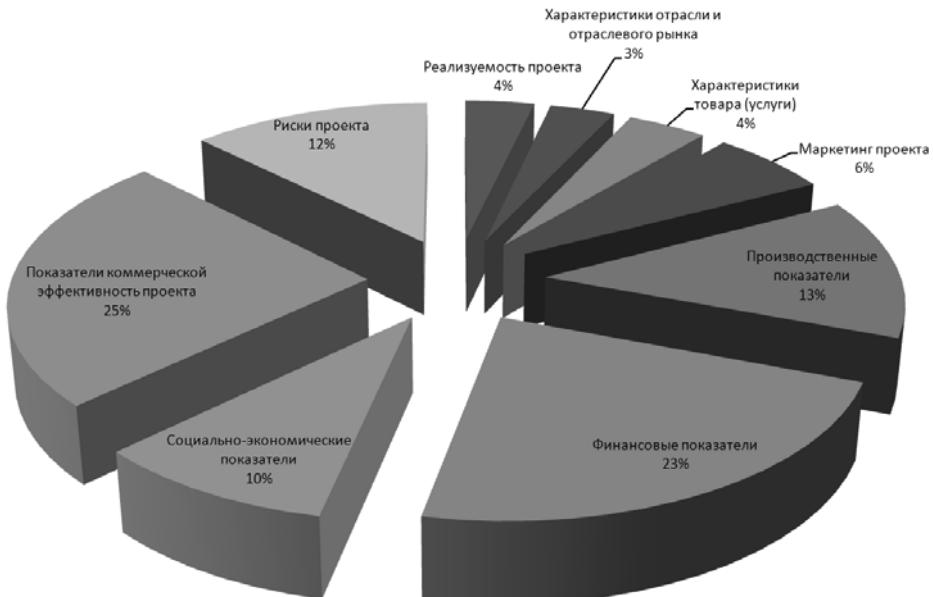


Рисунок 1 – Экспертные оценки значимости укрупненных групп критериев

- показатели коммерческой эффективности (25%),
- финансовые показатели (23%),
- производственные показатели (13%),
- риски проекта (12%),
- социально-экономические показатели (10%).

Совокупная значимость этих пяти укрупнённых групп составляет 83%.

Значимость каждой из оставшихся четырёх групп не превышает 6%, а в общей совокупности даёт не более 17%.

5 Определение значимости локальных показателей в каждой укрупнённой группе

Далее реализуем процедуры экспертного оценивания для локальных показателей в каждой из укрупнённых групп по аналогии с уже проведёнными расчётами.

Сводные результаты оценивания представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты оценивания значимости локальных показателей

Номер группы	Укрупнённая группа	Значимость группы	Номер критерия	Локальные критерии	Значимость критерия
1	2	3	4	5	6
1	Реализуемость проекта	4%	1.1	- квалификация административно-управленческого персонала;	30%
			1.2	- финансовое и экономическое положение фирмы;	25%
			1.3	- репутация (имидж) фирмы и ее товаров (услуг);	34%
			1.4	- система сбыта товаров (услуг);	11%
2	Характеристики отрасли и отраслевого рынка	3%	2.1	- перспективы развития отрасли и отраслевого рынка;	12%
			2.2	- уровень конкуренции;	17%
			2.3	- стабильность спроса;	26%
			2.4	- затраты на продвижение товаров (услуг) на рынок;	45%
3	Характеристики товара (услуги)	4%	3.1	- функциональные и потребительские свойства товаров (услуг);	10%
			3.2	- надежность и долговечность;	21%
			3.3	- цена;	32%
			3.4	- себестоимость товаров (услуг);	38%
4	Маркетинг проекта	6%	4.1	- реклама;	18%
			4.2	- каналы сбыта товаров (услуг);	23%
			4.3	- методы стимулирования сбыта;	10%
			4.4	- предпродажное и послепродажное обслуживание;	49%

Номер группы	Укрупнённая группа	Значимость группы	Номер критерия	Локальные критерии	Значимость критерия
1	2	3	4	5	6
5	Производственные показатели	13%	5.1	- система обеспечения и контроля качества товаров (услуг);	43%
			5.2	- степень использования технологического потенциала;	19%
			5.3	- затраты на сырье, материалы и комплектующие;	25%
			5.4	- затраты на топливо и энергоносители;	14%
6	Финансовые показатели	23%	6.1	- приобретение венчурным фондом векселей;	8%
			6.2	- вложение в уставной капитал;	27%
			6.3	- займы от третьих лиц;	15%
			6.4	- общий объем финансирования проекта;	50%
7	Социально-экономические показатели	10%	7.1	- экспортный потенциал;	16%
			7.2	- экология региона;	17%
			7.3	- рост личных доходов населения региона;	19%
			7.4	- безопасность населения;	49%
8	Показатели коммерческой эффективности проекта	25%	8.1	- внутренняя норма доходности;	49%
			8.2	- время окупаемости инвестиций;	31%
			8.3	- чистый дисконтированный доход;	20%
9	Риски проекта	13%	9.1	- экономический риск;	12%
			9.2	- социально-политический риск;	17%
			9.3	- риск качества;	33%
			9.4	- экологический риск;	38%

В каждой из девяти укрупненных групп можно выделить доминирующий показатель. Перечислим эти показатели в порядке убывания важности соответствующих укрупненных групп:

- 1) Внутренняя норма доходности.
- 2) Общий объем финансирования проекта.
- 3) Система обеспечения и контроля качества товаров (услуг).
- 4) Экологический риск.
- 5) Безопасность населения.
- 6) Предпродажное и послепродажное обслуживание.
- 7) Себестоимость товаров (услуг).
- 8) Репутация (имидж) фирмы и ее товаров (услуг).
- 9) Затраты на продвижение товаров (услуг) на рынок.

6 Синтез глобальных приоритетов

На последнем этапе исследования реализуем свёртку локальных оценок значимости частных критериев – синтезируем глобальные приоритеты в рамках каждой укрупнённой группы.

Свёртку проведём на основе линейной аддитивной композиции вида:

$$(3) \quad F_i = v_i \cdot x_1 + v_i \cdot x_2 + \dots + v_i \cdot x_n + \dots + v_i \cdot x_k,$$

где:

v_i – значимость i -ой укрупнённой группы;

x_n – значимость n -го локального показателя.

В композиции (3) нас будут интересовать слагаемые $v_i x_n$, определяющие взвешенные оценки значимости каждого локального критерия.

Результаты свёртки представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Взвешенные оценки локальных критериев

Локальные критерии	Реализуемость проекта	Характеристики отрасли и отраслевого рынка	Характеристики товара (услуги)	Маркетинг проекта	Производственные показатели	Финансовые показатели	Социально-экономические показатели	Показатели коммерческой эффективности проекта	Риски проекта	Слагаемые композиции (3), %
	0,036	0,034	0,041	0,062	0,133	0,226	0,096	0,247	0,125	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Квалификация административно-управленческого персонала, %	30									1,08
Финансовое и экономическое положение фирмы, %	25									0,90
Репутация (имидж) фирмы и ее товаров (услуг), %	34									1,22
Система сбыта товаров (услуг), %	11									0,40
Перспективы развития отрасли и отраслевого рынка, %		12								0,41
Уровень конкуренции, %		17								0,58
Стабильность спроса, %		26								0,88
Затраты на продвижение товаров (услуг) на рынок, %		45								1,53
Функциональные и потребительские свойства товаров (услуг), %			10							0,41
Надежность и долговечность, %			21							0,86
Цена, %			32							1,31
Себестоимость товаров (услуг), %			38							1,56
Реклама, %				18						1,12
Каналы сбыта товаров (услуг), %				23						1,43
Методы стимулирования сбыта, %				10						0,62
Предпродажное и послепродажное обслуживание, %				49						3,04
Система обеспечения и контроля качества товаров (услуг), %					43					5,72
Степень использования технологического потенциала, %					19					2,53
Затраты на сырье, материалы и комплектующие, %					25					3,33
Затраты на топливо и энергоносители, %					14					1,86
Приобретение венчурным фондом векселей, %						8				1,81
Вложение в уставной капитал, %						27				6,10
Займы от третьих лиц, %						15				3,39

Локальные критерии											Слагаемые композиции (3), %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
Общий объем финансирования проекта, %						50					11,30
Экспортный потенциал, %							16				1,54
Экология региона, %							17				1,63
Рост личных доходов населения региона, %							19				1,82
Безопасность населения, %							49				4,70
Внутренняя норма доходности, %								49			12,10
Время окупаемости инвестиций, %								31			7,66
Чистый дисконтированный доход, %								20			4,94
Экономический риск, %									12		1,50
Социально-политический риск, %									17		2,13
Риск качества, %									33		4,13
Экологический риск, %									38		4,75

На основе полученных взвешенных оценок значимости локальных критериев проведём их нормирование по максимальному значению 12,1%.

По результатам нормирования все локальные критерии можно разделить на три группы – таблица 5.

Таблица 5 – Нормированные взвешенные оценки локальных критериев

Локальные критерии высокой значимости (от 1 до 0,5)		Локальные критерии средней значимости (от 0,47 до 0,10)			Локальные критерии низкой значимости (от 0,09 до 0,03)		
1	2	3	4	5	6		
Внутренняя норма доходности	1,00	Система обеспечения и контроля качества товаров (услуг)	0,47	Реклама		0,09	
Общий объем финансирования проекта	0,93	Чистый дисконтированный доход	0,41	Квалификация административно-управленческого персонала		0,09	
Время окупаемости инвестиций	0,63	Экологический риск	0,39	Финансовое и экономическое положение фирмы		0,07	
Вложение в уставной капитал	0,50	Безопасность населения	0,39	Стабильность спроса		0,07	
		Риск качества	0,34	Надежность и долговечность		0,07	
		Займы от третьих лиц	0,28	Методы стимулирования сбыта		0,05	
		Затраты на сырье, материалы и комплектующие	0,28	Уровень конкуренции		0,05	
		Предпродажное и послепродажное обслуживание	0,25	Перспективы развития отрасли и отраслевого рынка		0,03	

Локальные критерии высокой значимости (от 1 до 0,5)		Локальные критерии средней значимости (от 0,47 до 0,10)		Локальные критерии низкой значимости (от 0,09 до 0,03)	
1	2	3	4	5	6
Степень использования технологического потенциала Социально-политический риск Затраты на топливо и энергоносители Рост личных доходов населения региона Приобретение венчурным фондом векселей Экология региона Себестоимость товаров (услуг) Экспортный потенциал Затраты на продвижение товаров (услуг) на рынок Экономический риск Каналы сбыта товаров (услуг) Цена Репутация (имидж) фирмы и ее товаров (услуг)	0,21 0,18 0,15 0,15 0,15 0,13 0,13 0,13 0,13 0,12 0,12 0,11 0,10	Функциональные и потребительские свойства товаров (услуг) Система сбыта товаров (услуг)	0,03 0,03		

Как видно из данных, представленных в таблице 5, в группу критериев высокой значимости попали четыре критерия, группу средней значимости составляет 21 критерий, в группе низкой значимости – 10 критериев.

Заключение

На основе полученных группировок возможно построение различных иерархических структур критериев. В основу такого конструирования можно положить три стратегии:

- выбор наиболее значимых укрупнённых групп, в нашем случае их пять, и проведение оценивания инновационных проектов по всем локальным критериям, входящим в эти укрупнённые группы;
- использование всех укрупнённых группы, но оценивание только по критериям, имеющим максимальные локальные оценки значимости в каждой из групп;
- вне зависимости от значимости укрупнённой группы использование локальных критериев, основываясь на значениях их нормированных взвешенных оценок по всей совокупности укрупнённых групп.

Далее на основе иерархической структуры критериев, построенной по тому или иному принципу, возможна реализация процедур свёртки конкретных значений локальных показателей с использованием полученных весовых коэффициентов для определения единого глобального показателя качества инновационного проекта.

Благодарности

Работа поддержана грантом РФФИ, проект 15-46-02135.

Список литературы

- [1] Коссов В.В., Лившиц В.Н., Шахназаров А.Г. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов. Третья редакция, испр. и допол. – М., 2008. 234 с.
- [2] Лившиц М.Ю., Цапенко М.В. Способ многокритериального оценивания системной эффективности инновационного потенциала региона // РАН, СНИЦ РАН, ИПУСС Труды XVII Международной конференции «Проблемы управления и моделирования в сложных системах». Самара, 22–25 июня 2015 г. - С. 265-274.

- [3] Дилигенский Н.В., Цапенко М.В. Согласованное применение методов математического программирования и экспертного многоокритериального оценивания эффективности // Стратегическое планирование и развитие предприятий. Секция 2. / Материалы Одиннадцатого всероссийского симпозиума. Москва, 13-14 апреля 2010 г. Под ред. чл.-корр. РАН Г.Б. Клейнера. – М.: ЦЭМИ РАН, 2010 г. - С. 73 – 74.
- [4] Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. – М.: Радио и связь, 1993. – 320 с.
- [5] Саати Т., Кернс К. Аналитическое планирование. Организация систем. – М.: Радио и связь, 1991. – 224 с.
- [6] Герчикова И.Я. Международное коммерческое дело. – М.: ЮНИТИ, 2008.
- [7] Покровская В.В. Международные коммерческие операции и их регламентация. – М.: ИНФРА-М, 2008. – 864 с.
- [8] Инновационная деятельность МП [Электронный ресурс] – URL: <http://www.dist-cons.ru/modules/innova/section9.html>.

ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ СРЕДСТВА ВЕРИФИКАЦИИ МОДЕЛЕЙ ПРЕДПОЧТЕНИЙ ЭКОНОМИЧЕСКИХ СУБЪЕКТОВ (АГЕНТОВ)

А.О. Алексеев, И.Е. Алексеева

Пермский национальный исследовательский политехнический университет
614990, Пермь, Комсомольский проспект, 29, Россия

cems@psstu.ru

тел: +7 (342) 219-84-09, факс: +7 (342) 219-81-68

Ключевые слова: поведенческие эксперименты, вычислительные эксперименты, моделирование предпочтений, моделирование поведения людей, матричные механизмы комплексного оценивания.

Abstract

The procedures of verification of models of preferences of economic agents, formalized by a comprehensive evaluation matrix mechanism in the form of a consistent set of binary matrix convolution factors influencing management decisions. Verification of models of preferences is carried out by comparing the results of numerical experiments with the results of behavioral experiments. The information on the database created specifically for the storage of the results of experiments and the conditions for their implementation. Verification procedure is illustrated by the example of the five test companies preloaded into an automated system for financial analysis of enterprises. The information on the program, which can be carried out computational experiments of this kind.

Введение

Для имитационного моделирования мультиагентных систем существенной проблемой является разработка достоверных моделей поведения людей. В работе [1] предложен подход к моделированию предпочтений экономических субъектов (агентов), основанный на использовании механизмов комплексного оценивания [2] для описания процедуры выбора лица, принимающего решения. Верификацию моделей предпочтений предлагается осуществлять путём сравнения результатов вычислительного эксперимента с результатами поведенческого эксперимента в виде тестирования носителей предпочтений[3].

В ходе поведенческих экспериментов формируется эмпирический базис о поведении экономических субъектов (агентов), являющихся носителями уникальных предпочтений, индивидуальных только себе. В ходе данных экспериментов участники выступают в некоторой функциональной роли, например, инвесторов с ограниченным бюджетом, и их задача заключается в выборе из числа предложенных альтернатив привлекательных для свершения инвестиционной сделки. Поскольку эксперимент, по сути, осуществляется в виде тестирования, далее альтернативы, предлагаемые в качестве набора альтернатив, будем называть тестовыми.

Результаты вычислительного эксперимента представляются в виде ранжированного списка альтернатив по значению комплексной оценки, отражающей степень готовности свершения носителем предпочтений некоторого действия, предусмотренного экспериментом. Существование кривой безразличия, разделяющей множество тестовых альтернатив на привлекательные и непривлекательные для свершения действий, по мнению носителя предпочтений, является условием того, что составленная модель комплексного оценивания может служить моделью реальных предпочтений участника эксперимента. Такая кривая безразличия является индивидуальной границей допустимых действий экономического субъекта (агента).

На основании процентного соотношения совпадения результатов вычислительных и поведенческих экспериментов делается вывод о степени достоверности результатов моделирования предпочтений участников сделки. При совпадении результатов поведенческого и вычислительного экспериментов меньшее требуемого значения точности, параметры модели предпочтений корректируются и вычислительный эксперимент повторяется до тех пор, пока не будет достигнуто требуемое значение точности моделирования.

Для хранения результатов поведенческих и вычислительных экспериментов по проверке адекватности моделей предпочтений экономических субъектов (агентов) была создана однотипная база данных для ЭВМ [4]. В базе данных хранится информация об объектах (таблица objects), в отношении которых участники поведенческого эксперимента (таблица users) должны дать свои ответы (таблица answers), подтверждающие или отрицающие согласие участника на определённое условиями эксперимента действие, и описание свойств объекта (таблица properties) и их значения в квадратичном пространстве (таблица propertiesvalues). Поскольку в разных экспериментах могут использоваться разные объекты, то в базе данных предусмотрена таблица objectstype. По аналогичной причине была создана таблица gametyp, так как эксперименты могут быть посвящены различным предметным областям. Участники эксперимента могут исполнять различные функциональные обязанности, для чего создана таблица roles, в которой указывается в какой роли выступает участник эксперимента. В базе данных хранятся сами ответы участников поведенческого эксперимента, формирующий эмпирический базис исследования, и результаты вычислительных экспериментов (таблица modeling), полученные при различных параметрах моделей предпочтений участников эксперимента (таблица models): учитываемые критерии в свёртке (таблица nodes), функции приведения в критериальное пространство (описываются в строке function в таблице nodes), граф свёртки (определяется по данным таблицы nodes), элементы матриц свёртки (таблица nodesmatrix), пороговое значение комплексной оценки (таблица goals); а также разных требованиях точности моделирования (accuracy задаётся в таблице modeling). При этом в базе данных хранятся не только результаты вычислительных экспериментов, но и сами параметры модели, при которых эти результаты были получены. Поскольку вычислительный эксперимент может многократно повторяться при разных параметрах моделей, то в базе данных предусмотрена таблица steps, хранящая информацию о шаге вычислительного эксперимента. Схема метаданных хранилища представляет собой адаптацию объектного понятия наследования на реляционную схему и представлена ниже (рисунок 1).

Пример верификации моделей предпочтений

С целью повышения восприимчивости материала проиллюстрируем предложенный подход верификации моделей предпочтений экономических субъектов на примере задачи моделирования предпочтений инвесторов, участвующих в сделках слияния и поглощения [5]. В данном примере в качестве альтернатив выступают предприятие и для формирования перечня тестовых предприятий данные были взяты из числа предзагруженных предприятий в автоматизированную систему «ФинЭкАнализ», доступной для бесплатного скачивания по следующей ссылке <http://1fin.ru/?id=124> [6]. Данная автоматизированная система предназначена для проведения полноценного финансового анализа деятельности предприятий, любой организационно-правовой формы. Доступность этой информации позволяет, во-первых, воспроизвести этот эксперимент любыми специалистами, во-вторых, у участников поведенческого эксперимента появляется возможность самостоятельно провести дополнительный финансовый анализ тестовых предприятий.

Для целей поведенческого эксперимента был составлен набор тестовых компаний, краткий вариант которого представлен ниже (таблица 1).

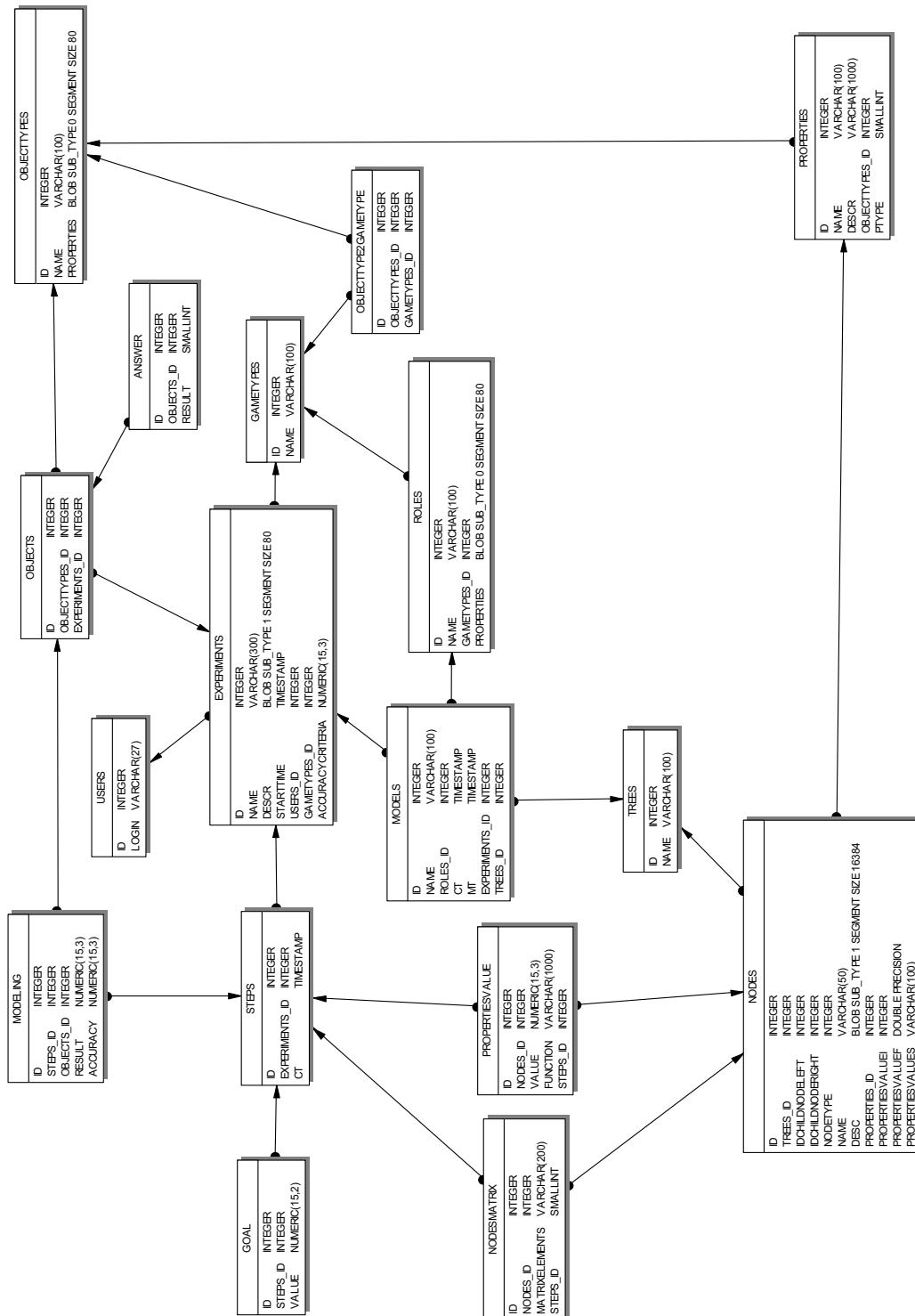


Рисунок 1 – Физическая модель базы данных

Таблица 1 – Исходные данные о предприятиях, взятых для формирования перечня тестовых вопросов

Наименование пред- приятия	Юридический адрес пред- приятия	Вид деятельности по ОКВЭД	Идентификатор предприятия
ГУП «Алексеевское»	г. Пенза, ул. Володарского, 10	60.21	ТП1
ЗАО «Арсенал»	г. Краснодар, ул. Ленина, 16	18.22	ТП2
ЗАО СХП «Победа»	Краснодарский край, Пав- ловский район, ст. Ново- пластуновская, ул Кали- нина, 46	01.11	ТП3
ОАО «АгроТек»	Нет данных	15.51	ТП4
ООО Агрофирма «Приморская»	Нет данных	01.11	ТП5

Каждая тестовое предприятие характеризуется показателями доходности, например, рентабельность, и риска, например, вероятность банкротства.

Для оценки уровня риска использовалась оценка вероятности банкротства, для этих целей использовались шесть широко признанных моделей (таблица 2), в частности три модели Альтмана: 2-х факторная, 5-ти факторная и модифицированная модели; модель Стингейта, модель Лиса и модель Таффлера.

Таблица 2 – Результаты анализа вероятности банкротства предприятий

№	Модели оценки вероятности банкротства предприятий	Идентификатор предприятия				
		ТП1	ТП2	ТП3	ТП4	ТП5
1	2-х факторная модель Альтмана	Н	Н	Н	Н	Н
2	5-ти факторная модель Альтмана	Н	Н	В	Н	В
3	модифицированная модель Альтмана	Н	Н	Н	Н	Н
4	модель Стингейта	В	Н	В	Н	В
5	модель Лиса	В	Н	В	Н	В
6	модель Таффлера	В	Н	В	Н	В

Примечание: Н – низкая, С – средняя, В – высокая вероятность банкротства предприятия.

В связи с тем, что для комплексного оценивания выбрана шкала 1÷4, а категорий оценки вероятности три, то при взвешивании использовалось следующее правило – производится смешение оценок вероятности на один балл в сторону оценок, большего количества моделей, например, тестовые предприятия №3 и №5 имеют 2 низких оценки вероятности банкротства и четыре высоких, тогда оценке низкой вероятности банкротство в соответствие ставим балл – 2, а высокой – 4. Подобное взвешивание даст результат 3,33 (таблица 3).

В иллюстрируемом примере для оценки уровня доходности X_{Rr} использовались значения средневзвешенной стоимости капитала предприятия – $WACC \equiv Rr$ (табл. 3). При построении функции приведения к шкале комплексного оценивания X_{Rr} , принято допущение, что функция имеет линейный характер, левой границей взята безрисковая ставка, принятая по ставке доходности облигаций федерального займа на момент проведения эксперимента, в размере 6,32%, а правой границе двойное значение безрисковой ставки – 12,64%.

$$(1) \quad X_{Rr} = \max[\min[3 \cdot (Rr - 6,32) / (12,64 - 6,32) + 1; 4]; 1]$$

Особенность предлагаемого подхода к построению моделей предпочтений заключается в том, что матрицы свёртки, являющиеся прообразом предпочтений агента, не может убывать, в

связи с чем необходим переход от оценки «уровень риска» к противоположной оценке «уровень безопасности». Данный переход предлагается осуществлять, используя выражение:

$$(2) \quad S = R - 5.$$

Таблица 3 – Анкета для тестирования участников поведенческого эксперимента

Идентификатор предприятия	Ставка доходности, %	Уровень доходности, шкала МКО	Уровень риска, шкала МКО	Уровень безопасности, шкала МКО
Обозначение	Rr	X _{Rr}	R	S
ТП1	8,64	2,10	2,5	2,5
ТП2	8,75	2,15	1	4
ТП3	7,58	1,60	3,33	1,67
ТП4	1,57	1	1	4
ТП5	10,13	2,81	3,33	1,67

Таким образом, компании, показатели доходности и риска которых приведены к качественным шкалам: X_{Rr} – уровень доходности, S – уровень безопасности, могут быть представлены на области определения матрицы свёртки (рисунок 2а), являющихся способом формализации отношения экономического субъекта (агента) к безопасности вложения денежных средств и ожидаемой доходности. Респонденты дают свои ответы в виде списка компаний, которые на их взгляд, являются инвестиционно привлекательными для совершения сделки (рисунок 2б), где на рисунке черным цветом закрашены не привлекательные компании.

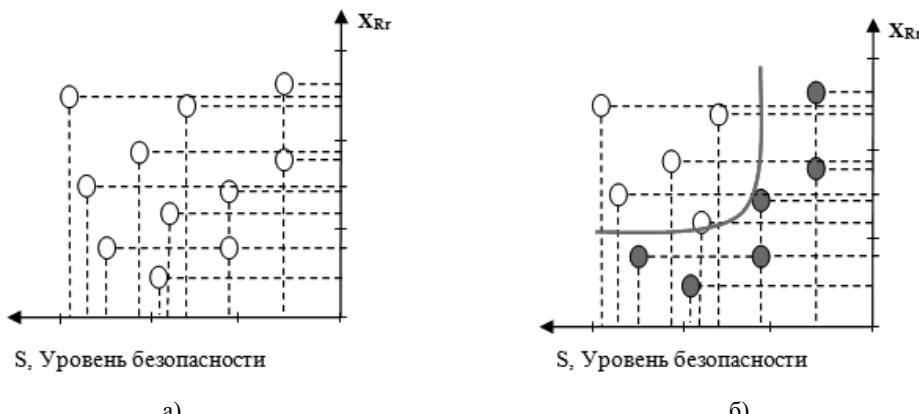


Рисунок 2– Пример расположения тестовых компаний на области определения матрицы свёртки,
(а) – пример тестовых компаний, (б) – пример ответов респондента

Вычислительный эксперимент проводится с помощью составленной модели предпочтений в виде дерева критериев и матриц свертки. Приведём пример для модели, описанной в [1, 5] (таблица 4). Комплексная оценка IA , отражающая инвестиционную привлекательность совершения сделки, вычисляется с помощью процедуры нечёткого комплексного оценивания [3], для этого оценки сворачиваемых параметров фазифицируются и результат представляется также в виде нечёткого числа (таблица 4). Для представления комплексной оценки, описывающей инвестиционную привлекательность альтернативы в виде числа, принадлежащего множеству действительных значений, использовалось выражение центра масс. Подобные вычисления можно произвести в программном комплексе[7].

Таблица 4—Пример вычислительного и поведенческого экспериментов

Иденти-фикатор предприятия	Уровень доходности, шкала МКО	Уровень риска, шкала МКО	Результат вычислительного эксперимента (уровень инвестиционной привлекательности), шкала МКО	Результат поведенческого эксперимента, да / нет
	X _{Rr}	R	I _A	Ответ респондента
ТП1	2,10	2,5	2,05	Да
ТП2	2,15	1	2,15	ДА
ТП3	1,60	3,33	1,4	Нет
ТП4	1	1	2	Да
ТП5	2,81	3,33	1,67	Нет

Из таблицы 4 видно, что модель предпочтений, приведённая в [1, 5] вполне может подойти для описания предпочтений выбранного респондента (см. последний столбец таблицы 4).

Заключение

В заключение следует отметить, что перспективным направлением является исследование зависимости достоверности выявления предпочтений экономических субъектов (агентов) от числа предложенных альтернатив для эксперимента.

Список литературы

- [1] Алексеев А.О., Алексеева И.Е. Математическое моделирование предпочтений экономических субъектов (агентов) // Управление экономическими системами: электронный научный журнал. – 2015. – № 4 (76). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://uecs.ru/index.php?option=com_flexicontent&view=items&id=3441 (дата обращения 14.04.2015 г.)
- [2] Алексеев А.О., Алексеева И.Е. Процедуры нечёткого комплексного оценивания // XII Всероссийское совещание по проблемам управления (ВСПУ – 2014). – М.: ИПУ РАН, 2014. – С. 7983-7993.
- [3] Алексеева И.Е. Верификация моделей предпочтений экономических субъектов (агентов) [Электронный ресурс]: [статья] // Прикладная математика, механика и процессы управления : III Всерос. науч.-техн. интернет-конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, 30 ноября – 5 декабря 2015 г. / Пермский национальный исследовательский политехнический ун-т. Пермь, 2015.
URL:http://pmmpu.pstu.ru/media/paper_pdf_2015/%D0%90%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%81%D0%B5%D0%B5%D0%98%D0%90%D0%95..pdf(дата обращения 28.02.2016 г.)
- [4] Свидетельство о регистрации базы данных для ЭВМ № 2015620710. База данных результатов поведенческих и вычислительных экспериментов по проверке адекватности моделей предпочтений экономических субъектов (агентов) [Текст]: заявка 2015620183 от 10.03.2015 / Алексеев А.О., Вычегжанин А.В. (РФ) – Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 29.04.2015 г. (РФ)
- [5] Алексеева И.Е. Алгоритмы интеллектуальной поддержки принятия решений в задаче оценки инвестиционной стоимости бизнеса при сделках слияния и поглощения [текст]: дис. ... канд. экон. наук: 08.00.13: защищена 13.10.2015 / Алексеева Ирина Евгеньевна. – Пермь, 2015. – 140 с.
- [6] Скачать программу для финансового анализа [Электронный ресурс] / ООО «Южная аналитическая компания», г. Краснодар – режим доступа: <http://1fin.ru/?id=124> (дата обращения 14.04.2015 г.)
- [7] Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ №2014660537. Автоматизированная система комплексного оценивания объектов с возможностью выбора процедуры нечеткого комплексного оценивания в соответствии со степенью неопределенности экспертной информации о параметрах их состояния [Текст]: заявка 2014618056 от 12.08.2014 / Алексеев А.О. Харитонов В.А., Шайдулин Р.Ф., Мелехин М.И. (РФ) – Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 09.10. 2014 г. (РФ).

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ОБОСНОВАНИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ УПРАВЛЕНИИ ТОРГОВО-РАЗВЛЕКАТЕЛЬНЫМИ КОМПЛЕКСАМИ

В.С. Спиррина, А.О. Алексеев

Пермский национальный исследовательский политехнический университет
614010, Пермь, ул. Куйбышева, 109, Россия

spirina@cems.pstu.ru, alekseev.real@gmail.com
тел: +7 (342) 2-198-409, факс: +7 (342) 219-81-68

Ключевые слова: коммерческая недвижимость, торгово-развлекательные комплексы, эффективность управленческих решений, функции чувствительности, механизм комплексного оценивания.

Abstract

Approach to search of optimum control of shopping mall, with application of intellectual technologies of modeling of consumer preferences and justifications of the made decisions is given in work. Approach is based on the analysis of efficiency of the decisions made at management of commercial real estate. Carrying out such analysis is possible with use of mechanisms of complex estimation with use of the tools offered for automation of procedure having functionality of the analysis of sensitivity of a complex assessment to change of private criteria.

Введение

В настоящее время торгово-развлекательные комплексы (ТРК) служат инфраструктурным местом для удовлетворения потребностей различных социально-экономических групп и являются сложными многофункциональными объектами управления. Управление коммерческой недвижимостью, и торгово-развлекательными комплексами в частности, является в России относительно новым видом профессиональной деятельности, который бурно развивается и претерпевает постоянные изменения. Это обстоятельство в свою очередь накладывает отпечаток и на то, что появились совершенно новые социально-экономические процессы, не все из которых хоть как-то были бы научно исследованы.

Как отмечается в работе [1] – «нельзя получить достаточно точные результаты для широкого класса объектов». В то же время задача управления ТРК отличается не только спецификой предметной области, но и высокой степенью неопределенности, источником которой является выбор потребителей о посещении того или иного объекта с целью удовлетворения собственных потребностей.

С научной точки зрения выделяют четыре основные вложенные функции [2]: описательная, объяснительная, прогностическая и нормативная. Приведем их интерпретацию, данную Новиковым Д.А. в интервью [1], – “Первая – описательная функция, феноменологическая, отвечает на вопрос «Как устроен мир?». Описание можно вести на количественном и качественном языке. Вторая – объяснительная функция научного познания, отвечает на вопрос «Почему мир устроен так, а не иначе?». Обоснование может быть качественным, а может быть математически формализованным. Третья – прогностическая, «А что будет с миром (в широком смысле), если мы уже знаем, как он устроен и поняли, почему он именно так устроен?». Наконец, четвертая – нормативная, «Что сделать, чтобы произошло именно то, что нам надо?» в мире, о котором мы уже знаем, как он устроен, почему он именно так устроен, и что может с ним произойти. Это нормативная функция познания, моделирования - управление”.

Выполнение нормативной функции применительно к коммерческой недвижимости в общем или торгово-развлекательным комплексам в частности, то есть их управление, не может

осуществляться эффективно без описания, объяснения и прогнозирования основных социально-экономических процессов. В серии работ авторов [3-5] был предложен подход к оцениванию потребительской привлекательности, математическому моделированию и прогнозированию посещаемости объектов коммерческой недвижимости, а в работе [6] были сформулированы содержательная и концептуальная постановки задачи управления объектом коммерческой недвижимости с учетом потребительских предпочтений. Учет потребительских предпочтений осуществлялся благодаря математическому моделированию предпочтений.

В работе [7] предлагается модель предпочтений субъекта, воспроизводящую поведение конкретного человека в задаче выбора, считать формой искусственного интеллекта. В данной работе вычисляется вероятность выбора потребителем того или иного торгово-развлекательного комплекса, в связи с чем предлагаемые технологии обоснования решений в задаче управления ТРК по праву можно называть интеллектуальными.

Значимость последствий неверно принятых управленческих решений выдвигает требование к разработке и внедрению в практику количественных методов прогнозирования и управления, обладающих свойствами высокой точности и надежности. Первая попытка анализа рисков неэффективного управления объекта коммерческой недвижимости, на примере реализации рекламной акции в торговом центре, сопровождающейся предоставлением скидок на определенные группы товаров, была предпринята в работе [4].

1 Постановка задачи управления торгово-развлекательным комплексом

Для прогнозирования посещаемости объекта коммерческой недвижимости может быть использована модифицированная модель Хаффа [5], позволяющая оценить потребительскую привлекательность торговой недвижимости. Основная идея модели – это определение привлекательности объекта (1), которая прямо пропорциональна качеству объекта и обратно пропорциональна расстоянию между покупателем и объектом.

$$(1) \quad A_{ij} = \alpha \cdot \frac{Q_j}{T_{ij}^\lambda},$$

где A_{ij} – привлекательность объекта j для покупателя i ; Q_j – качество j -го объекта коммерческой недвижимости; T_{ij} – время, потраченное покупателем i на путь до объекта j ; λ – параметр, отражающий эффект влияния разных типов объектов на воспринимаемые временные затраты.

Введенный параметр Q , описывающий качество объекта коммерческой недвижимости является функцией многих переменных, набор которых индивидуален для каждого типа коммерческой недвижимости. Качество объекта недвижимости Q зависит от множества характеристик x_i , являющихся гетерогенными по отношению друг другу, в связи с чем, оценка параметра $Q(x_1, \dots, x_n)$ возможна только с использованием механизмов комплексного оценивания [5, 8]. В работах [6, 8] исследовалась возможность применения матричных механизмов комплексного оценивания для решения рассматриваемой задачи и была показана их высокая эффективность.

На оценку потребительской привлекательности торгово-развлекательных комплексов существенное влияние оказывает время корреспонденции потребителей от места проживания до торгового объекта. В работе [9] были выделены три пешеходно-транспортные зоны относительно объектов коммерческой недвижимости и соответствующие им параметры λ . На пересечении этих зон, в зависимости от расположения исследуемых объектов коммерческой недвижимости, можно выделить несколько секторов (рисунок 1).

В каждом секторе на потребителей по-разному влияет время корреспонденции до конкретного объекта недвижимости, что выражается в различных значениях λ (таблица 1) и результирующей оценке потребительской привлекательности.

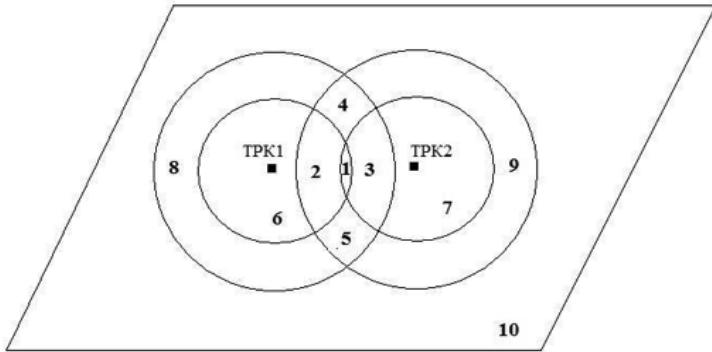


Рисунок 1 - Выделение секторов на примере двух торгово-развлекательных комплексов (ТРК)

Таблица 1 – Распределение параметров λ по секторам, на примере двух ТРК

№ сектора	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\lambda_{1\text{TPK}}$	0	0	0,5	0,5	0,5	0	1	0,5	1	1
$\lambda_{2\text{TPK}}$	0	0,5	0	0,5	0,5	1	0	1	0,5	1

Оценивание потребительской привлекательности объектов коммерческой недвижимости осуществляется для потребителей, проживающих в каждом секторе отдельно, используя выражение (1).

Вычислив привлекательность торгового объекта, а также привлекательности других торговых объектов, можно определить вероятность того, что покупатели могут быть привлечены в исследуемый торговый объект (2):

$$(2) \quad P_{ij} = \frac{A_{ij}}{\sum_{j=1}^J A_{ij}}.$$

Зная количество жителей в каждом секторе, можно вычислить количество ожидаемых посетителей в торгово-развлекательный комплекс по формуле:

$$(3) \quad n = \sum_{k=1}^K (P_{ij}^k \cdot N_k),$$

где P_{ij}^k – вероятность посещения i -м посетителем из k -го сектора j -й объект недвижимости; N_k – количество жителей k -того сектора, K – количество секторов, для рассматриваемого примера с двумя ТРК: $K=10$ (см. рисунок 2).

Определив ожидаемое количество посетителей, можно вычислить приблизительный объем выручки (TR) на основе среднего чека ТРК (AR):

$$(4) \quad TR = n \cdot AR,$$

и может быть определена совокупная прибыль торговых и развлекательных точек ТРК:

$$(5) \quad Pr = TR - TFC(x_l) - TVC(x_l),$$

где x_l – показатели, характеризующие состояние контролируемых параметров $l \in L$ объекта коммерческой недвижимости. Общие переменные затраты (TVC) определяют состояние объекта, то есть его качество $Q_j(x_l)$ и потребительскую привлекательность $A_{ij}(Q_j(x_l), T_{ij}, \lambda(k))$.

Показателями эффективности принимаемых управлеченческих решений могут быть качество объекта коммерческой недвижимости, его потребительская привлекательность, количество дополнительно привлеченных посетителей, выручка или прибыль торговых и развлекательных точек, критерием эффективности – максимизация указанных показателей.

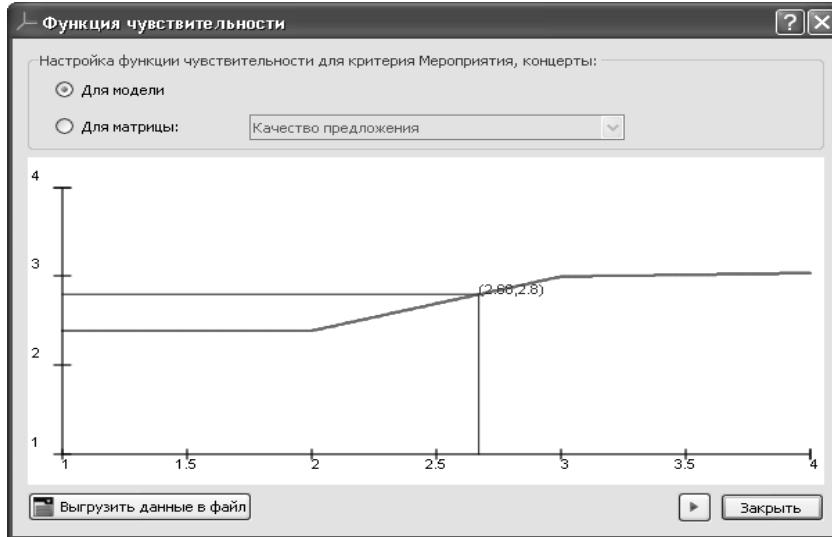


Рисунок 2 - Функция чувствительности «Качества ТРК» к изменению управляемого критерия

С экономической точки зрения эффективность управления коммерческой недвижимостью целесообразно рассматривать с позиции прибыли. Таким образом, задача управления j -м объектом коммерческой недвижимости может быть сформулирована как задача оптимизации с целевой функцией:

$$(6) \quad \Pr_j(x_{lj}) = \sum_{k=1}^K \left(\frac{\alpha \cdot \frac{Q_j(x_{lj})}{T_{ij}^{\lambda(k)}}}{\sum_{j=1}^J \alpha \cdot \frac{Q_j(x_{lj})}{T_{ij}^{\lambda(k)}}} \cdot N_k \right) \cdot AR - TFC(x_{lj}) - TVC(x_{lj}) \rightarrow \max,$$

с бюджетным ограничением на управление:

$$(7) \quad TFC(x_{lj}) - TVC(x_{lj}) \leq B_j,$$

и ограничением на множество допустимых значений контролируемых параметров $x_{lj} \in X^l \subset R^l$, что содержательно интерпретируется так – найти такое допустимое состояние контролируемых параметров x_{lj} объекта недвижимости, чтобы получить максимальную прибыль (6) при соблюдении бюджетного ограничения (7).

2 Решение задачи управления торгово-развлекательным комплексом

Поиск управления можно осуществить методом анализа чувствительности с помощью программного продукта [10], автоматизирующим процесс вычисления параметра «Качество ТРК». Необходимо исследовать чувствительность «Качества ТРК» к изменению управляемого критерия – качество мероприятий (X_8) (см. рисунок 2).

На рисунке 2 видно, что, повысив качество управляемого критерия, можно увеличить качество данного ТРК с потребительской точки зрения и, соответственно, потребительскую привлекательность. Следует отметить, что повышать данный критерий выше 3,5 – не целесообразно, т.к. это уже не приведет к существенному увеличению комплексной оценки.

Таким образом, исследуя функции чувствительности каждого параметра модели, можно оценить эффективность принимаемых решений при управлении объектом коммерческой недвижимости. Используя приведенный выше программный комплекс [10], возможен анализ

чувствительности только комплексной оценки «Качество ТРК», вычисляемой с помощью матричного механизма комплексного оценивания. Однако, в соответствии с постановкой задачи (6) требуется найти не только состояние доставляющее максимум качеству ТРК, а максимум прибыли. Для этого необходимо выполнить анализ чувствительности всех показателей, используемых в модели (1)-(5), к изменению контролируемых параметров. На рисунке 3 представлена зависимость совокупной прибыли торговых и развлекательных точек ТРК от изменения управляемого критерия - Качество мероприятий (X_8), вычисленного при следующих исходных данных: качество конкурирующего ТРК $Q_2=2,99$; количество жителей в секторах - в 1 секторе $N_1=5182$ человек, во 2 и 3 секторах $N_2=N_3=8292$ человек, в 4 и 5 секторах $N_4=N_5=6219$ человек, в 6 и 7 секторах $N_6=N_7=20729$ человек, в 8 и 9 секторах $N_8=N_9=31094$ человек и в 10 секторе $N_{10}=898619$ человек; значения критериев исследуемого ТРК – $x_1=3,13$, $x_2=2,83$, $x_3=3,62$, $x_4=3,47$, $x_5=2,39$, $x_6=3,2$, $x_7=3,16$, $x_8=2,68$; средний чек покупателя $Ar = 1500$ рублей; уравнение затратной функции (TVC) (8):

$$(8) \quad y = 0,2x^2 + 150,$$

где 150 [тыс. руб.] – значение постоянных затрат (TFC). Качество ТРК вычисляется с помощью модели, подробно описанной в работе [5].

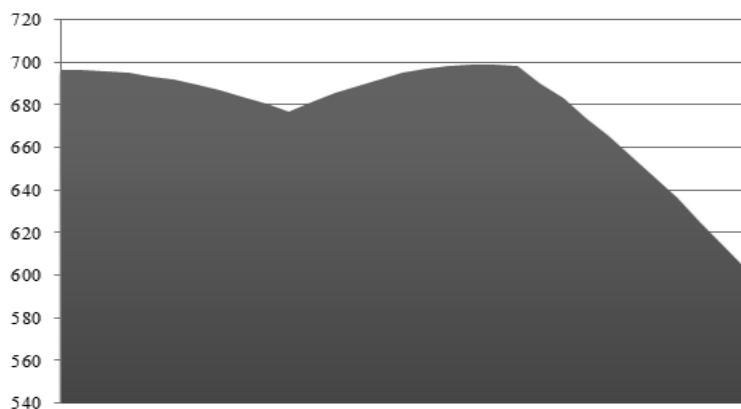


Рисунок 3 - Зависимость совокупной прибыли торговых и развлекательных точек ТРК от изменения управляемого критерия

Заключение

В заключение стоит отметить, что показанный в данной работе подход к поиску оптимального управления торгово-развлекательным комплексом, основанный на интеллектуальных технологиях моделирования предпочтений потребительских предпочтений, построен с двумя существенными допущениями, о которых не было сказано ранее. Во-первых, не учитывает того, что управляющая компания получает прибыль не от продажи товаров и услуг, а получает доход и прибыль от сбора арендных платежей, то есть на качество ТРК влияет не только управляющий, но и арендаторы торговых и развлекательных точек; во-вторых, данный подход не учитывает действий конкурентов. Таким образом, предложенная в данной работе задача управления торгово-развлекательным комплексом требует дополнительной теоретико-игровой постановки в условиях конфликта интересов всех участников данной мультиагентной системы. Перспективным направлением является исследование устойчивости механизмов принятия решений к стратегическому поведению агентов. Одним из возможных подходов к выполнению данного исследования является игровое имитационное моделирование с привлечение реальных людей и программных агентов.

Благодарности

Работа выполнена при частичной поддержке гранта Президента Российской Федерации МД-6075.2015.9.

Список литературы

- [1] Новиков Д.А. Управленческий принцип Гейзенберга // Эксперт. – 2013. – № 43. – 8 с.
- [2] Новиков Д.А. Методология управления. – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2012. – 128 с. (Умное управление)
- [3] Алексеев А.О., Спирина В.С., Кавиев М.И., Эрнст Н.А. Определение потребительской привлекательности объектов коммерческой недвижимости // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. – 2013. – № 1 (4). – С. 8–19.
- [4] Spirina V.S., Alekseev A.O. Forecasting the attendance of retail real estate based on estimation of its attractiveness to consumers // Актуальні проблеми економіки = Actual Problems of Economics. – 2014. – №10(160). – 513–526 pp.
- [5] Спирина В.С., Алексеев А.О. Моделирование и прогнозирование посещаемости коммерческой недвижимости на основе оценки ее потребительской привлекательности (на примере торгово-развлекательных комплексов) // Актуальные проблемы экономики и права. – 2015. – № 1 (33). – С. 209–217.
- [6] Спирина В.С. Постановка задачи управления объектами коммерческой недвижимости с учетом потребительских предпочтений // Проблемы управления. – 2015. – №1. – 81–87 стр.
- [7] Харитонов В.А. Концепция субъектно-ориентированного управления в социальных и экономических системах / В.А. Харитонов, А.О. Алексеев // Политехнический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2015. – №05(109). С. 690–706. – IDA [article ID]: 1091505043. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2015/05/pdf/43.pdf>.
- [8] Спирина В.С. Оценка потребительской привлекательности объектов коммерческой недвижимости с использованием матричных методов комплексного оценивания // Прикладная математика и вопросы управления. – 2015. – №1. – с. 129–140.
- [9] Спирина В.С. Эмпирическое определение коэффициента λ , описывающего степень влияния времени корреспонденции потребителей до торгового центра в формуле Д. Хаффа // Master's Journal. – 2013. – №1. – с. 243 – 251.
- [10] Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ №2014660537. Автоматизированная система комплексного оценивания объектов с возможностью выбора процедуры нечеткого комплексного оценивания в соответствии со степенью неопределенности экспертной информации о параметрах их состояния [Текст]: заявка 2014618056 от 12.08.2014 / Алексеев А.О. Харитонов В.А., Шайдулин Р.Ф., Мелехин М.И. (РФ) – Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 09.10. 2014 г. (РФ).

КОНЦЕПЦИЯ МЕХАНИЗМА СУБЪЕКТНО-ОРИЕНТИРОВАННОГО ЦЕНООБРАЗОВАНИЯ ДЛЯ ВЕНЧУРНЫХ ПРОЕКТОВ

Д. Н. Кривогина

Пермский национальный исследовательский политехнический университет
614010, г. Пермь, ул. Куйбышева, 109, к. 409
cems@pstu.ru
Тел./факс:+7 (342) 2-198-409

Ключевые слова: *ценообразование, рыночный механизм, венчурные проекты, единичная сделка, условия неопределенности.*

Abstract

Venture projects this class of projects other than potentially large impact, which depends on the unique, high-tech and competitiveness of such projects, therefore, in the modern world, their implementation is directed attention to the investment and construction activities of the companies. However, it should be noted that the pricing concerning venture projects occurs in a high uncertainty and is accompanied by a high degree of risk. For these projects, as a rule, there is not a sufficient legal framework and decisions are made in a combination of the huge potential of participating in decision-making entities and attribute inherent limitations. This is determined by the relevance of the concept and valid subject-oriented pricing mechanisms, thereby increasing the degree of validity and consistency of decisions.

Актуальность

Венчурные проекты (ВП) представляют особый интерес для инвесторов потенциально большей отдачей, выражаящейся в высокотехнологичности и конкурентоспособности их реализации. Поэтому в современном мире им уделяется повышенное внимание со стороны инвестиционно-строительных компаний. Однако следует отметить, что ценообразование в задачах управления венчурными проектами в силу их уникальности и существенного влияния человеческого фактора происходит в условиях большой неопределенности и, соответственно, сопровождается высокой степенью риска. Следовательно, к этим задачам следует подходить с позиции субъектно-ориентированного управления [6], которое, в частном случае, принимает своеобразную форму субъектно-ориентированного ценообразования. Для венчурных проектов, как правило, не существует достаточной нормативной базы, а решения принимаются в условиях сочетания высоких потенциальных возможностей участвующих в принятии решений субъектов и атрибутивно присущих им ограничениях. Отсюда вытекает востребованность разработки концепции субъектно-ориентированного ценообразования и соответствующих валидных механизмов, способствующей повышению степени обоснованности и согласованности принимаемых решений. Это составляет содержание и предмет обсуждения данной статьи.

Разработка положений концепции субъектно-ориентированного ценообразования

В качестве главной особенности разрабатываемой концепции принята необходимость более полного учета мнений основных участников ценообразования: заказчика и подрядчика, взаимодействие которых адекватно процедуре торга между продавцом и покупателем. Поведение игроков рынка определяется их предпочтениями, отличающимися сложной для понимания структурой и склонностью к манипулированию результатами торга. Эти трудности можно преодолеть, используя имитационное моделирование поведения участников ценообразования

в задачах выбора, результатом которого становится своеобразная форма искусственного интеллекта, препятствующая манипулированию [7].

Положение 1. Ценообразование для ВП целесообразно представить как процесс функционирования рыночного механизма, являющегося композицией моделей предпочтений основных игроков рынка с целью установления функций спроса и предложения, а также договорной цены в точке равновесия, исключающей появление того или иного выгодоприобретателя.

Моделирование предпочтений игроков рынка ВП предполагает учет множества существенных субъективных факторов (детерминантов), представляемых в объединенном фазовом пространстве $\Phi = \{x_1, x_2, x_3, \dots\} \cup \{y_1, y_2, y_3, \dots\}$ заказчика $\Phi_x \{x_1, x_2, x_3, \dots\}$ и подрядчика $\Phi_y \{y_1, y_2, y_3, \dots\}$ и оказывающих различное влияние на спрос $\hat{x} = f_x(x_1, x_2, x_3, \dots)$ и предложение $\hat{y} = f_y(y_1, y_2, y_3, \dots)$, интерпретируемые как количество приобретаемого или производимого продукта соответственно.

Современные подходы к решению этой многомерной задачи в силу ее чрезмерной сложности и неопределенности ограничиваются учетом двух основных факторов: цены $x_1 | y_1$ и объема $\hat{x}_1 | \hat{y}_1$ сделки, полагая неизменность прочих факторов. Отсюда следуют экспертино устанавливаемые функции спроса ($\hat{x} = f_x(x_1)_{x_{-1}=const}$) (1) и предложения ($\hat{y} = f_y(y_1)_{y_{-1}=const}$) (2), представленные на рисунке 1, а также поиск и анализ равновесных состояний рынка в этом предположении:

- (1) $\hat{x} = f_x(x_1, x_2, x_3, \dots) \rightarrow \hat{x} = f_x(x_1)_{x_{-1}=const},$
- (2) $\hat{y} = f_y(y_1, y_2, y_3, \dots) \rightarrow \hat{y} = f_y(y_1)_{y_{-1}=const}.$

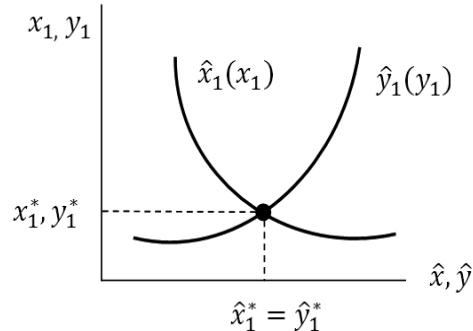


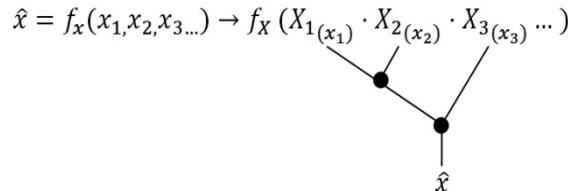
Рисунок 1. - Экспертно устанавливаемые функции спроса и предложения, а также равновесное состояние рынка при варьировании факторами x, y .

Очевидно, что подобный способ учета влияния человеческого фактора в задачах ценообразования является неполным, что делает актуальной разработку более эффективных подходов.

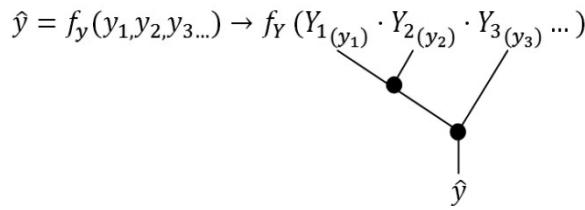
Положение 2. В механизме ценообразования предлагается использовать подход к моделированию предпочтений игроков рынка в соответствии с мерностью фазового пространства Φ , разработанный в рамках субъектно-ориентированного управления в социальных и экономических системах. [5]

Каждый из детерминантов по-своему влияет на выбор игроков рынка относительно параметров возможной сделки. Однако, установление вида математических отношений (1), (2) имеет принципиальное препятствие, связанное с различием в размерностях их аргументов.

Данное препятствие устраняется следующим образом: при моделировании предпочтений игроков рынка представление существенных характеристик объекта ценообразования (детерминантов) в фазовом пространстве Φ преобразуется в безразмерное представление в квалиметрическом пространстве Q (критерии объекта) с помощью специальных функций приведения, представленных на рисунке 2, к стандартной шкале комплексного оценивания (к интервалу [1,4], дискретное значение которого интерпретируется следующим образом: 1 – «неудовлетворительно», 2 – «удовлетворительно», 3 - «хорошо» и 4 – «отлично»)[3]. Только в квалиметрическом пространстве возможны свертки детерминантов, играющих роль аргументов в функциях спроса и предложения. На рисунке 2. иллюстрируется перевод детерминантов спроса и предложения в квалиметрическое пространство и их свертка в иерархическое бинарное дерево критериев. Для анализа рыночной ситуации в процессе ценообразования необходимо представить в фазовом пространстве функции спроса и предложения, которые вычислимые в квалиметрическом пространстве, но необходимые для этого их функции приведения могут быть построены только при наличии достаточной статистики результативных торгов рынка. Для решения этой проблемы в условиях отсутствия статистических данных необходимо изменить интерпретацию функций спроса и предложения, ввиду эксклюзивности венчурных проектов, что позволяет рыночные процессы, связанные с ценообразованием считать процессами рынков единичной (штучной) сделки.



a).



б).

Рисунок 3 - Иллюстрация перевода детерминантов спроса (а) и предложения (б) в квалиметрическое пространство и их свертка в виде иерархического бинарного дерева критериев

Положение 3. Ограничение на использование рассматриваемых рыночных процессов рамками единичной сделки меняет классическую интерпретацию функций спроса и предложения с «количества приобретаемого (производимого) продукта» на «уровень удовлетворенности» от сделки каждым из игроков, что не требует их представления в фазовом пространстве, а позволяет оперировать с двумя формами представления параметров исследуемого рынка, то есть полным представлением в пространстве $\Phi \cup Q$, допускающим изменение любых детерминантов, и анализом их влияния на модели спроса и предложения. В качестве примера уместно привести проекцию $\text{Пр}_{(x_1 \vee y_1), (\hat{X}, \hat{Y})}$ полного представления ($\Phi \cup Q$), компоненты которой отображают две шкалы – шкалу цен объекта в фазовом пространстве $[x_1, y_1]$ и шкалу комплексных оценок $[\hat{x}_1, \hat{y}_1]$, то есть «уровня удовлетворенности» участников возможной сделки.

Положение 4. Искомый результат «справедливого» ценообразования единичной сделки определяется параметрами равновесия по Дж. Нэшу, которое формируется в точке пересече-

ния кривых спроса и предложения в подпространстве $\text{Пр}(x_1 \vee y_1, (\hat{x} \wedge \hat{y}) (\Pi_p \cup Q))$, рисунок 3, где степени удовлетворённости от сделки приобретают максимальное в области допустимых сделок одинаковое значение.

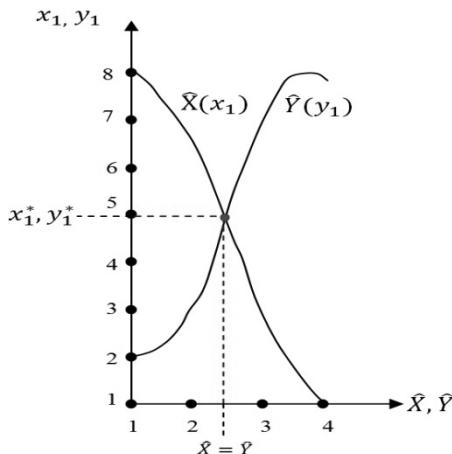


Рисунок 4 - Процедура ценообразования в шкалах цены ($x_1 = y_1$) объекта торга (ВП) и уровней $\hat{X}; \hat{Y}$ удовлетворенности участников сделки

Предложенная модель рынка, используемая в задаче ценообразования в ВП, предполагает возможность широкого разнообразия мотиваций игроков посредством замещения основного параметра $x_1 = y_1$ на любые другие параметры (x_{-1}) по общему согласию участников торга, то есть диверсификацию данного класса задач.

Рекомендуемые технологии моделирования индивидуальных предпочтений игроков рынка способных проявлять «как огромные потенциальные возможности субъекта, так и атрибутивно присущие им ограничения», связанные с высокой неопределенностью, наличием многих трудно сопоставимых критериев и неявных альтернатив, жесткого дефицита времени, высокой ответственности, помех разного типа». Возникает вопрос о валидности этих механизмов, уровень которой обеспечивается разработкой и использованием специальных эвристик: презентативности, доступности или корректировки и привязки. [4] Эффективными эвристиками презентативности могут служить процедуры обработки экспертной информации на основе активной неманипулируемой экспертизы [1], в том числе усовершенствованные наилучшим соблюдением интересов, обнаруживаемых в процессе обработки мнений экспертов коалиций, представленных на рисунке 5.

Положение 5. При повышении валидности моделей ценообразования привлечением к решению задач заказчика *группы экспертов* целесообразно использовать процедуры нахождения согласованных решений, строящихся на развитии принципов активной неманипулируемой экспертизы и обобщенной медианы и отличающихся наилучшим соблюдением интересов коалиций, участвующих в принятии решений.

Даже при соблюдении всех рассмотренных выше рекомендаций возможны исходы ценообразования, отличающиеся неудовлетворенностью заказчика достигнутым соотношением согласованной договорной цены и качества ВП, что оправдывает переход от одного рынка одного предложения к нескольким рынкам одного предложения.

Положение 6. Необходимо построить модель ценообразования, способную к восприятию рыночных ситуаций на нескольких рынках одного предложения с целью обеспечения заказчику возможности выбора наиболее предпочтительного варианта в соответствии с его стратегией. Проблема решается достаточно просто, на основе приведенной выше процедуры ценообра-

зования в шкалах цены ($x_1 = y_1$) объекта торга (ВП) и уровней $\hat{X}; \hat{Y}$ удовлетворенности участников сделки, представленных на рисунке 3, способной к одновременному размещению, анализу равновесия и влияния различных детерминантов представленных предложений.

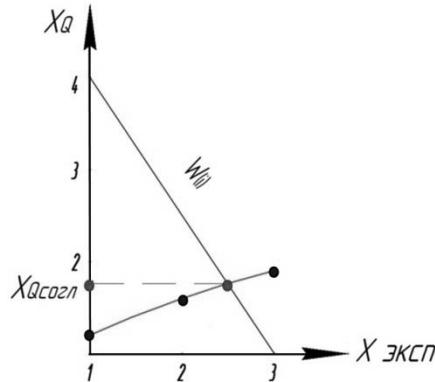


Рисунок 5 - Усовершенствование эвристики репрезентативности модели ценообразования с наилучшим соблюдением интересов обнаруживаемых в процессе обработки мнений экспертов коалиций

Ограничением на одновременный анализ нескольких рыночных ситуаций на различных рынках является обязательное совпадение всех частных моделей по основным детерминантам, вероятнее всего по цене, рисунок 6.

Не исключена неудовлетворенность качеством возможной сделки по принятию к реализации ВП даже при наличии возможности выбора среди нескольких представленных вариантов. Альтернативой вынужденному принятию не вполне удачного инвестиционного решения может быть назначение дополнительного конкурса, условиями которого являются четко обозначенные «узкие места» у ранее рассмотренных ВП, которые необходимо преодолеть для расширения возможностей выбора более удачного решения.

Положение 7. Функциональные возможности применяемого математического аппарата [3] позволяют перевести торговые переговоры по поводу качества венчурного проекта в сферу технических дискуссий по вопросам обоснования **перспективных направлений** совершенствования качественных параметров предмета торга (ВП).

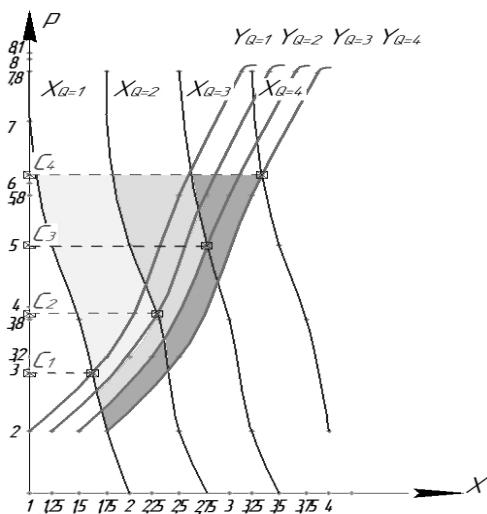


Рисунок 6 - Совпадение всех частных моделей по основным детерминантам

Вывод

Предложенная концепция может служить методологическим базисом эффективного ценообразования в рамках сложившейся стратегии достижения приемлемого соотношения между ценой и качеством ВП. Для реализации этой возможности необходимо совершенствование известных и создание новых механизмов поддержки принятия решений в соответствии с положениями 1-7.

Список литературы

- [1] Алексеев А.О., Коргин Н.А. О применении обобщённой медианной схемы для матричной активной экспертизы // Прикладная математика, механика и процессы управления. Материалы международной научно - практической конференции, 17–19 нояб. 2014 г. Москва: Ин-т проблем упр. им. В.А. Трапезникова Рос. акад. наук. 2014. С. 138-141
- [2] Асаул, А.Н. Состояние и перспективы инвестиционно-строительной деятельности в Российской Федерации / А.Н. Асаул // Экономическое возрождение России. – 2008. – №2(16). – С. 3–9.
- [3] Интеллектуальные технологии обоснования инновационных решений/ В.А.Харитонов; И.В.Ёлохова, В.И. Стаматин, А.А. Белых, Р.Ф. Шайдулин, А.О. Алексеев, М.В. Лыков, И.Р. Винокур, Е.А. Калошина, К.А. Гуреев; под науч. ред .В.А. Харитонова. - Пермь: Издательство Перм. гос. техн. ун-та, 2010. -342.
- [4] Павлова, Ю.Н. Современные перспективы развития системы ценообразования в строительстве // Современные тенденции в экономике и управлении: новый взгляд. – Новосибирск: ООО «Центр развития научного сотрудничества», 2010 - Вып. № 4-2. – С. 8-11.
- [5] Принятие решений в неопределенности. Правила и предубеждения [Текст] / Д. Канеман, П. Словик, А. Тверски / 2 изд., испр., перераб. / Пер. с англ. – Х.: Издательство «Гуманитарный центр» - 2014. – 544 с.
- [6] Харитонов В.А., Алексеев А.О. Концепция каузальности в управлении социально-экономическими системами. - Управление экономическими системами: электронный научный журнал. - 2012. - № 46 (10). - С. 7.
- [7] Харитонов В.А., Алексеев А.О., Кривогина Д.Н. Парадигма инженерной поддержки технологий субъектно-ориентированного управления. - Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета = Polythematic on line scientific journal of Kuban State Agrarian University.- 2015. - №08(112).- С. 208-229.

ДИНАМИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ КОНКУРЕНЦИИ ФИРМ С УЧЕТОМ ЭФФЕКТА ОБУЧЕНИЯ

О.В. Павлов

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева
443086, Самара, Московское шоссе, 34, Россия
pavlov@ssau.ru
тел: +7 (846) 335-64-07, факс: +7 (846) 335-64-07

Ключевые слова: эффект кривой обучения, динамическая игра, динамическое программирование, оптимальные объемы производства.

Abstract

In this paper is formulated a discrete dynamic game of two firms taking into account learning effect. As a solution the game is considered open loop Nash equilibrium. Numerical algorithm of finding open loop Nash equilibrium developed and implemented.

Введение

Рассматривается задача конкуренции фирм на рынке одного продукта в длительном периоде с учетом эффекта обучения. Эффект обучения заключается в том, что при увеличении кумулятивного выпуска продукции фирмой происходит динамическое снижение удельных затрат.

Эффект кривой обучения заключается в том, что затраты времени на выполнение много-кратно повторяющихся производственных операций снижаются. Этот эффект был замечен американским авиационным инженером Т. Райтом [1]. При каждом удвоении кумулятивного объема производства производительность труда работников увеличивается на 10-15 %. Под кумулятивным (суммарным) объемом производства понимается количество изделий, изготовленных с начала производства продукции нарастающим итогом. Описание математических моделей кривой обучения приводится в [2, 3]. Постановки и решения динамических задач планирования производственной деятельности фирм с учетом эффекта кривой обучения рассматривались автором в [4-8].

Две фирмы выходят на общий рынок, выпуская одинаковый продукт. По мере увеличения кумулятивного объема производства затраты на единицу продукции снижаются в соответствии с эффектом кривой обучения. Фирмам для того что бы продавать всё больший объем продукта необходимо вовлекать новых потребителей, уменьшая цену на продукт. Рыночная цена на продукт, складывающаяся на рынке, определяется в результате равенства спроса и предложения и зависит от кумулятивных выпусков продукта обоих фирм.

Стратегией фирмы является выбор объема производства продукта в каждый период времени с целью максимизации дисконтированной прибыли на длительном интервале времени. Для каждой фирмы существует своя оптимальная стратегия производства продукта и траектория кумулятивного объема производства, которая соответствует скорости обучения фирмы. Оптимальная траектория кумулятивного объема производства определяет оптимальную долю фирмы на рынке.

Прибыль фирмы зависит, как от собственного кумулятивного объема выпуска продукции, так и от рыночной цены продукта, зависящей от кумулятивного объема производства фирмы-конкурента. Следовательно, прибыль каждой фирмы зависит как от собственной стратегии, так и от стратегии конкурента.

Таким образом, рассматриваемая задача является динамической дискретной игрой двух лиц. В качестве решения игры рассматривается равновесие по Нэшу в программных стратегиях [9, 10]. Фирмы выбирают свои стратегии, как функции от времени и в ходе игры не корректируют их.

Данная работа является актуальной, так как существующие модели конкуренции являются статическими и не отражают реальные экономические процессы на длительных временных интервалах производственной деятельности фирм.

1 Постановка динамической игры для фирм с учетом эффекта обучения

Рассматривается производственная деятельность двух фирм, выпускающих одинаковый продукт на общий рынок.

Динамика производственного процесса i -ой фирмы описывается дискретным уравнением:

$$(1) \quad x_{it} = x_{it-1} + u_{it}, \quad i = 1, 2, t = 1, n,$$

где x_{it} – суммарный объём производства i -ой фирмы за t -ый временной период, t – номер временного периода, u_{it} – объём производства i -ой фирмы в периоде t , n – число периодов производственной деятельности фирм.

В начальный период известно количество продукции уже произведенное i -ой фирмой:

$$(2) \quad x_{i0} = X_{i0}, \quad i = 1, 2.$$

На объём производства i -ой фирмы в каждом периоде t наложены следующие ограничения:

$$(3) \quad Q_i^{\min} \leq u_{it} \leq Q_i^{\max}, \quad t = 1, n,$$

где Q_i^{\min} – минимальный объём производства i -ой фирмы с учётом технологических и логистических требований, Q_i^{\max} – максимальная производственная мощность оборудования i -ой фирмы.

Затраты i -ой фирмы в периоде t определяются как произведение удельных затрат c_{it} и объёма производства u_{it} :

$$(4) \quad C_{it} = c_{it} u_{it}.$$

Динамика изменения удельных затрат на производство продукции описывается степенной зависимостью [1]-[3] от суммарного объёма производства:

$$(5) \quad c_{it} = a_i x_{it-1}^{-b_i}$$

где a_i – затраты на производство первого изделия i -ой фирмы, b_i – скорость обучения i -ой фирмы.

Кривая, построенная на основе формулы (5) называется кривой обучения.

Подставляя выражение (5) в формулу (4), получим затраты i -ой фирмы на производство продукции на шаге t :

$$C_{it} = a_i x_{it-1}^{-b_i} u_{it}.$$

Каждая i -ая фирма стремится максимизировать свою суммарную дисконтированную прибыль:

$$(6) \quad \pi_i = \sum_{t=1}^n \frac{p_{t-1} u_{it} - a_i x_{it-1}^{-b_i} u_{it}}{(1+r_i)^t}.$$

Цена продукции p_{t-1} зависит от объёма производства обоих фирм в соответствии с законом спроса и предложения:

$$(7) \quad p_{t-1} = b - d(x_{1,t-1} + x_{2,t-1}),$$

где b, d – параметры кривой спроса и предложения.

Цена, по которой продаёт продукцию каждая фирма, зависит как от собственного кумулятивного объема производства, так от кумулятивного объема производства фирмы-конкурента.

Подставляя (7) в (6) получим выражение для целевой функции i -ой фирмы:

$$(8) \quad J_i = \sum_{t=1}^n \frac{[b - d(x_{1,t-1} + x_{2,t-1})]u_{it} - a_i x_{it-1}^{-b_i} u_{it}}{(1+r)^t}.$$

Целевые функции фирм зависят не только от собственного решения по выбору траектории кумулятивного объема производства, но и от решения конкурента.

Каждая фирма стремится выбрать оптимальную стратегию $u_{it}^{opt}, i = 1, 2, t = 1, n$ удовлетворяющую ограничению (3), которое осуществляет перевод производственного процесса (1) из начального состояния (2) с целью максимизации суммарной дисконтированной прибыли фирмы (8). Конечное состояние производственного процесса x_{in} для каждой фирмы не фиксируется.

Сформулированная задача (1)-(8) является динамической игрой двух лиц. В качестве принципа оптимальности игры рассматривается равновесие по Нэшу в программных стратегиях [9, 10]. Фирмы выбирают свои стратегии, зная начальное состояние, не предполагая изменять в будущем управления в зависимости от состояния.

Таким образом, для i -ой фирмы задача (1)-(8) является стандартной задачей оптимального управления при фиксированном программном управлении фирмы – конкурента $u_{jt}, j \neq i$. Для решения этой задачи применяется метод динамического программирования Беллмана [11, 12].

2 Численный алгоритм решения динамической игры для фирм с учетом эффекта обучения

Для нахождения равновесия по Нэшу в программных стратегиях разработан следующий численный алгоритм:

- 1) На первой итерации алгоритма $k = 1$ для каждой фирмы решается задача оптимального управления в предположении отсутствия на рынке конкурента. Полученные управление используются как начальные приближения фиксированного управления $u_{jt}^{fix}(k), j = 1, 2, t = 1, n$ для поиска реакции фирмы-конкурента.
- 2) Для первой фирмы, при фиксированном управлении второй фирмы $u_{2t}^{fix}(k), t = 1, n$ решается задача оптимального управления (1)-(8) методом динамического программирования Беллмана. В результате находится реакция первой фирмы – управление $u_{1,t}^{reac}(k), t = 1, n$.
- 3) Для второй фирмы, при фиксированном управлении первой фирмы $u_{1,t}^{fix}(k), t = 1, n$ решается задача оптимального управления (1)-(8) методом динамического программирования Беллмана. В результате находится реакция второй фирмы – управление $u_{2,t}^{reac}(k), t = 1, n$.
- 4) Для всех итераций алгоритма (исключая $k=1$), проверяется условие совпадения реакций первой и второй фирм на данной шаге k и предыдущем $k-1$: $u_k^{reac}(j, t) = u_{k-1}^{reac}(j, t), j = 1, 2, t = 1, n$. В случае совпадения реакций фирм на разных шагах действие алгоритма заканчивается. В противном случае, а так же на первой итерации, в качестве фиксированного управления фирмы-конкурента на следующей итерации алгоритма принимается реакция фирмы-конкурента на текущей итерации:

$u_{k+1}^{fix}(j,t) = u_k^{reac}(j,t)$, $j = 1, 2, \dots, n$, $t = 1, n$, увеличивается номер итерации $k=k+1$ и осуществляется переход к пункту 2 алгоритма.

Данный алгоритм реализован в электронной таблице Excel. Численное моделирование подтвердило работоспособность алгоритма.

Заключение

В настоящей работе сформулирована динамическая игра двух фирм с учётом эффекта обучения. В качестве принципа оптимальности игры рассматривается равновесие по Нэшу в программных стратегиях.

Предложен численный алгоритм нахождения равновесия по Нэшу в программных стратегиях. Результатом реализации численного алгоритма является определение равновесных стратегий двух конкурирующих фирм на рынке одного продукта на длительном интервале времени с учетом эффекта обучения.

Для нахождения равновесных стратегий в смысле Нэша применяется метод динамического программирования Беллмана. Численное моделирование с помощью электронной таблицы Excel подтвердило работоспособность алгоритма.

Список литературы

- [1] Wright T.P. Factors affecting the cost of airplanes // Journal of the aeronautical sciences. 1936. Vol. 3. № 4. P. 122-128.
- [2] Newell A. Rosenbloom P.S. Mechanisms of skill acquisition and the law of practice. In J.R. Anderson (Ed.), Cognitive Skills and their acquisition. Hillsdale, NJ: Erlbaum 1980. P. 1-51.
- [3] Ritter F.E., Schoeler L.J. The learning curve. In International Encyclopedia of the Social and Behavioral Sciences. Amsterdam: Pergamon. 2002. P 8602-8605.
- [4] Павлов О.В. Математические модели управления динамическими системами. Теория активных систем // Труды международной научно-практической конференции. Том II. Общая редакция - В.Н. Бурков, Д.А. Новиков. М.: ИПУ РАН, 2011 г. С. 79-86.
- [5] Павлов О.В. Динамические задачи планирования в управлении проектами // Сборник материалов конференции «Управление в технических, эргатических, организационных и сетевых системах». СПб.: ГНЦ РФ ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», 2012. С. 1055-1058.
- [6] Павлов О.В. Динамические модели планирования производства с учетом эффекта обучения // Проблемы управления и моделирования в сложных системах: Труды XVI международной конференции (30 июня-3 июля 2014 г., Самара, Россия). – Самара: Самарский НЦ РАН, 2014. - С. 369-375.
- [7] Павлов О.В. Динамическая оптимизация производственной деятельности предприятия с учетом эффекта кривой обучения // Вестник Самарского государственного экономического университета, 2015. № 3(125). С. 88-92.
- [8] Павлов О.В. Решение динамической задачи пропорционального стимулирования с учетом эффекта кривой обучения // Вестник Самарского государственного университета, 2015. № 9/2 (131). – С. 315-323.
- [9] Зенкевич Н.А. Петросян Л.А. Янг Д.В.К. Динамические игры и их приложения в менеджменте – СПб: Изд-во «Высшая школа менеджмента», 2009.- 415.
- [10] Basar T. Olsder G.J. Dynamic noncooperative game theory. 2 nd End. Academic Press. – London, 1995.
- [11] Беллман Р. Динамическое программирование. – М.: Издательство иностранной литературы, 1960.
- [12] Калихман И.Л., Войтенко М.А. Динамическое программирование в примерах и задачах. – М.: Высш. школа, 1979.

ПРОБЛЕМА ВКЛЮЧЕНИЯ МЕХАНИЗМОВ СОЗНАНИЯ ЧЕЛОВЕКА В СЛОЖНООРГАНИЗОВАННЫЕ ТЕХНОГЕННЫЕ СРЕДЫ

С.Ф. Сергеев¹, А.С. Сергеева²

¹Санкт-Петербургский государственный университет
199034, Санкт-Петербург, Университетская наб. д. 7-9, Россия
s.f.sergeev@spbu.ru
тел: +7(911)995-09-29

²Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет
информационных технологий, механики и оптики
197101, Санкт-Петербург, Кронверкский проспект, 49, Россия
an.se.sergeeva@gmail.com
тел: +7(812)457-18-36

Ключевые слова: аутопоэтические системы, действительность, реальность, редукция, сознание, спонтанность, субъективная реальность, техногенный мир.

Abstract

The purpose of this paper is to analyze the problems of human integration with electronic communication media focusing on postnonclassical view about functioning of the human psyche and communication systems.

Введение

Повышение сложности техногенной среды современной цивилизации ведет к появлению свойств тотальной связности всех включенных во взаимные отношения ее элементов и агентов. Это придает среде свойства макроскопического квази-квантово-механического объекта со всеми вытекающими из этого факта следствиями [1]. Прежде всего, можно говорить о возникновении феномена спонтанности состояний среды, проявлении процессов самоорганизации, развитии механизмов индукции и редукции в порождающих наблюдателя элементах социальной организации. Сложный мир требует нового взгляда на проектирование элементов техносреды, так как стандартные методы проектирования не учитывают возникающих эффектов самоорганизации среды и ее эволюции. Перестают работать привычные для классической социальной и инженерной психологии механизмы причинно-следственных связей, что ведет к проблемам в практике планирования и реализации сложных социальных и эрготехнических проектов. Особенно ярко проявляются проблемы тотального усложнения техносреды в механизмах глобальных электронных коммуникаций.

Развитие проектов компьютеризации общества воспринимается многими только как некоторая сложная, чисто инженерная, задача информационно-технологического обеспечения процессов обмена информацией между субъектами экономической и социальной деятельности. Однако это не совсем верно. В силу сложности возникающих в процессе интеграции межсистемных отношений появляется пласт эргономических проблем связанных с интеграцией человека с виртуальным миром электронных коммуникаций, который нельзя решить, используя только классические причинно-следственные представления о человеко-машинном взаимодействии [2]. Одна из них связана с учетом свойств человека-пользователя включенного (погруженного) в сложноорганизованную среду. Возникает множество задач связанных с обеспечением иммерсивности среды управления, включением психофизиологической и личностной структуры человека в отношения взаимной координации с искусственной средой. Часто проектировщики не учитывают особенности работы механизмов формирования субъек-

тивной реальности, осуществляющих селекцию полезной для человека информации и конструирования мира действительности, а не отражения и познания объективной реальности. Рассмотрим подробнее работу и свойства этих механизмов в рамках междисциплинарного дискурса, объединяющего взгляды на функционирование человека в организованных средах накопленные в когнитивных науках.

1 Философские и естественнонаучные взгляды на решение проблемы порождения субъективной реальности и сознания

В конструктах нашего сознания окружающая среда представлена как внешний по отношению к субъекту объективный феноменальный мир (действительность), наделенный свойствами физической реальности, в котором человек осуществляет свою жизнедеятельность. Однако при этом часто упускается из вида искусственная природа «объективности» субъективной реальности, ее качественная несводимость к физической реальности. По мнению философа, классика литературы викторианской эпохи Сэмюеля Батлера «реальность – не более чем иллюзия, однако иллюзия настолько сильная и универсальная, что никто не может ей сопротивляться» (Butler Samuel, 1873). Ему вторит писатель-фантаст Фрэнк Херберт, – «разум накладывает на всё некую форму, которую он называет реальностью. Эта произвольная форма совершенно не зависит от того, что подсказывают нам наши чувства» [3]. В завершенной, лаконичной форме идея тотального самопроектирования мира субъекта представлена у Эммануила Канта, считавшего что, «человек конструирует мир, конструируя себя» [4].

Наличие качественного различия между физической реальностью и ее моделью представленной в форме субъективного мира человека стало довольно общим местом во многих современных философских и естественнонаучных концепциях. Эти взгляды прослеживаются в радикально-эпистемологических (В.И. Аршинов, В.Г. Буданов, Ф. Варела, Д.И. Дубровский, Е.Н. Князева, С.П. Курдюмов, В.А. Лекторский, В.Е. Лепский, У. Матурана, Р. Метцингер, Г. Рот, В.С. Степин) и эволюционных теориях (Дж. Гибсон, А.Б. Казанский), в классических (А.А. Леонтьев, В.И. Панов) и постнеклассических (С.Ф. Сергеев, А.П. Супрун, В.Ф. Петренко) моделях психического.

Несмотря на различия в моделях об источниках субъективного можно сказать, что все они постулируют порождение в сознании человека некоторой виртуальной динамической модели, отражающей в феноменальной форме существование целостного системного образования, реализующего дихотомию «человек – мир» [5]. В этой модели мир природы ограничен от человека и противопоставлен ему, являясь источником потока событий, составляющего содержание его бытия. При этом в парадигме действующего научного знания постулируется единство человека и среды как категорий дополняющих условия и уровни существования и сосуществования друг с другом. Это отражено во взглядах Л.С. Выготского, Дж. Гибсона, М. Мерло-Понти, Тимо Ярвилехто и др. Граница, выстроенная в сознании, делит конструируемую реальность на внутренний и внешний миры. Они носят различную значимость для субъекта, определяют характер его деятельности. Наличие границы различий между мирами отражает факт существования отношений, конституирующих динамическую целостность субъекта и его мира, их взаимную обусловленность и связь [6].

Говоря о внешнем, «физическем мире» находящемся по ту сторону представленного субъекту мира субъективной реальности, большинство исследователей в неявном виде предполагают, что он также является предметным, объективным (состоящим из объектов) миром с эволюционирующими в пространстве и времени свойствами. По мнению К. Поппера реальность включает три компонента, три мира [7]:

- физический мир (мир физических вещей) являющийся для человека объектом познания;
- мир ментальных состояний и процессов (внутренний мир сознания, формирующий личностное субъективное знание);

- мир продуктов сознания (объективного колективного знания), трансцендентный по отношению к сознанию человека.

Выделенные миры не могут быть редуцированы, сведены друг к другу.

Колином К.К. предложена и обоснована модель структуры реальности в виде концепции «четырех миров». Суть концепции заключается в том, что «объективная реальность обладает свойством дуализма, так как она одновременно включает в себя как физическую, так и идеальную реальность, которые обладают свойством взаимного отражения» [8]. Все, без исключения, фрагменты, объекты, процессы и феномены реальности одновременно обладают как материальными, так и нематериальными свойствами. Эта двойственность, по мнению Колина, принципиально неустранима. Далее постулируется существование идеальной, независящей от деятельности сознания реальности, проявляющейся в феноменах информации. Однако данная концепция не решает проблем психофизиологического параллелизма и не объясняет качественного своеобразия субъективного мира человека.

Заметим также, что пространство и время в свою очередь возникают в мире субъекта в процессе наблюдения кausalных отношений, а не являются объективными свойствами физической реальности. Мы имеем дело непосредственно с субъективной физической реальностью (действительностью), которая возникает в результате осуществления механизмами сознания редукции состояния физической реальности [9–15] и существует в идеальной форме. В ней реализуются законы субъективного физического мира, действующие локально для субъекта. Это физический мир для субъекта. Заметим, что человек всегда имеет дело с моделируемым его мозгом субъективным миром, который он отождествляет с физическим миром, хотя это далеко не тождественные сущности. Субъективный мир имеет организованную трехмерную в пространстве и времени, отраженную в полимодальной форме в восприятиях человека структуру в виде самоорганизующегося конструкта, возникающего в результате функционирования аутопоэтической системы сознания [16]. Физическая же реальность выходит за пределы измерительных и интерпретативных свойств человеческого сознания и подчиняется законам квантовой механики.

Разделение мира на реальность и действительность, на феноменальный и трансфеноменальный мир, на мир сознания и мир по ту сторону сознания, по мнению немецкого когнитивного нейробиолога Герхарда Рота, отражает известную ограниченность представленной человеку картины мира. «Восприятия представляют собой гипотезы об окружающей среде. Человек же способен к очень быстрому производству достоверных гипотетических картин сильно флуктуирующего природного и социального окружения (включая также воспроизведимые данной системой типичные ошибочные эффекты)» [17, с. 270]. «Мозг производит гипотезы относительно последствий собственной деятельности и должен сам проверять, оказались ли эти гипотезы верными или нет» [18, с. 364].

Основная проблема субъективного в сознании человека связана с необходимостью объяснения наличия качественного разнообразия внутреннего феноменального мира и осознания его в непосредственной форме (проблема “qualia”). Наиболее проработанная концепция работы нейробиологических механизмов порождающих субъективную реальность, на наш взгляд, представлена В.Я. Сергиным [19, 20]. Концепция, построена на обосновании вторичного характера субъективной реальности циклически воспроизводимой механизмами мозга. В качестве ключевого механизма сознания В.Я. Сергиным предложена гипотеза автоотождествления, в соответствии с которой «осознается не входное возбуждение, а сенсорная категория, которая порождается нейронной структурой коры головного мозга в ответ на входное возбуждение» [20, с. 11]. «Сенсорные категории, – это внутренние данные, которые содержатся в памяти, а процесс автоотождествления является способом представления внутренних данных в явной форме. Это значит, что внешнее событие сначала должно быть воспринято, то есть представлено в сенсорных категориях, и только потом мозг сможет осознать его» [20]. Осознание оказывается формой вторичной обработки данных, а процессы неосознаваемого восприятия и

осознания оказываются разделенными по времени и функционально обособленными. Важно, что процессы автоотождествления происходят циклически и их частота определяет темп субъективного времени. В концепции В.Я. Сергина сенсорные категории отображаются выходным паттерном электрической активности коры. Отождествление паттерна категоризации с самим собой, посредством обратной связи и есть процесс автоотождествления. Итогом размышлений автора является мысль о том, что «сознание, которое выглядит как непостижимая данность, в действительности является хотя и глобальной, но все же постижимой системой оперирования данными, представленными в явной форме» [20. с. 32].

Способность структур мозга порождать простые субъективные характеристики сложных физических событий физического мира позволяет организму эффективно реагировать на опасные явления мира. Однако эти позитивные в простых ситуациях редуцирующие сложность мира свойства психики могут быть деструктивными при включении человека в сложные самоорганизующиеся среды техногенного мира, так как возникающие взаимоотношения в принципе не могут быть адекватно проинтерпретированы механизмами сознания оператора.

2 Двухступенчатая модель формирования субъективной реальности

Можно предположить существование и работу следующего механизма порождения субъектной среды (мира действительности). Перцептивные системы человека на первом этапе непрерывно осуществляют процесс редукции из физического мира некоторого конечного множества возможных аутопоэтических вариантов состояний субъективных реальностей, не противоречащих исторической реальности реализуемой субъектом. История субъекта, его опыт являются динамической системой ограничивающей разнообразие возможных, являющихся субъекту вариантов мира. Отобранные варианты существуют в имплицитной памяти субъекта в виде облака возможностей в потенциальной, вневременной форме. Каждый из вариантов может быть сконструирован, включен и воспроизведен во временной последовательности текущей действительности субъекта (в его субъективном времени и субъективной форме) отражаемой в сознании в зависимости от актуального состояния субъекта на основании маркеров, представленных в памяти редуцированных вариантов. В нашей памяти хранится не весь опыт, а лишь точки – маркеры, запускающие стандартные цепи биологических независимых гетерогенных генераторов составляющих нейрональный субстрат мозга [21]. Отметим, что функциональная независимость, стандартность поведения и топологическая организация генераторов способствуют поддержанию пространственно-временной и модальностной целостности и стабильности субъективной картины мира. Сознание, в соответствии с логикой его функционирования, выбирает из существующего в подсознании редуцированного множества возможных вариантов развития индивидуального мира самый нужный и близкий в данный момент вариант, который реализуется и используется для обеспечения самосохранения организма и написания истории мира и жизни субъекта. Таким образом, происходит двухступенчатая редукция физической реальности. На первом этапе создается база вариантов, не противоречащих условиям существования аутопоэтического процесса сознания и наблюдаемого мира (опыт субъекта), а на втором – реализуется, воспроизводится в осознаваемой форме один из его вариантов.

Отметим, что далеко не все состояния квантового физического мира могут быть использованы в элементах аутопоэтической самоорганизации сознания. Проявляется селективный характер психики. На втором этапе редукции идет организация доступных аутопоэтически непротиворечивых вариантов развития истории субъекта. Отметим, что субъект оценивает не только варианты своей судьбы, но и выбирает приемлемые варианты по критериям, отраженным в его личностной организации.

Таким образом, среда, воспринимаемая человеком, является организованным элементом субъективной реальности, конструируемым организмом в процессе анализа существенных отношений организма и физической реальности, что обеспечивает существование координи-

рующихся друг с другом аутопоэтических систем и включение организма и субъекта в нишу индивидуального существования. Она является сложноорганизованной эволюционирующей самоорганизующейся системой, включенной во взаимодействия и координацию с другими аутопоэтическими системами.

Приведем ряд определений понятия «среда» в рамках рассматриваемых нами представлений [12]:

- психическая среда – индуцированный в феноменальном виртуальном поле сознания поддерживаемый мозгом динамический самоорганизующийся системный конструкт, сопровождаемый переживаниями субъектом чувства присутствия и существования в объективном мире [9];
- социальная среда – коммуникационная самоорганизующаяся система аутопоэтического типа конституирующую человеческое общество;
- естественная среда – индуцированный в феноменальном виртуальном поле сознания под действием изменений физической реальности динамический конструкт в виде воспринимаемой субъектом объективной реальности в форме мира жизнедеятельности субъекта.

Заключение

Анализ транссистемных отношений, связанных с порождением субъективной реальности и включением человека в искусственные среды и миры высокой связности позволяет сделать вывод о конструктивном характере всех сред, с которыми он может иметь дело [22]. Иные среды не доступны восприятию человека и не включены в его действительность и деятельность. Поведение человека в техносреде зависит от сложной транссистемной координации самоорганизующихся процессов физической и психологической природы, многие из которых не наблюдаются и не входят в зону конструирующей активности сознания. Нарушение процессов формирования субъективной реальности и редуцирующие функции сознания ведут к неадекватному поведению человека в профессиональной деятельности. Проявляется противоречие между «сложным миром и простым сознанием» [23]. Имеющиеся подходы к проектированию, использующие эргономический подход в случае сложных техногенных сред малоэффективны в силу их ограниченности связанной с тем, что в них в терминах «адаптации под пользователя» отражается только личный опыт и культура профессионального сообщества. Используемые категории «удобно», «естественно», «логично» не работают в сложных системах, включающих человека (группы людей), так как они отражают интерпретации сознания разработчика, упрощающего отношения, возникающие в техногенной среде. Для защиты от деструктивного действия механизмов сознания целесообразно ограничивать вмешательство пользователя в критические режимы функционирования системы.

Благодарности

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

Работа выполнена в рамках поддержанного РГНФ проекта № 15-06-10640.

Список литературы

- [1] 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). – Самара: Самарский научный центр РАН, 2014. – С. 386–392.
- [2] Сергеев С.Ф. Психологические аспекты проблемы интерфейса в техногенном мире // Психологический журнал. – 2014. – Том. 35. – № 5. – С. 88–98.

- [3] Герберт Ф. Дюна. – АСТ, 2000.
- [4] Лекторский В.А. Кант, радикальный конструктивизм и конструктивный реализм в эпистемологии // Вопросы философии. – 2005. – № 8. – С. 11–21.
- [5] Metzinger Thomas. The Ego Tunnel: The Science of Mind and the Myth of the Self. – New York: Basic Books, 2009.
- [6] Князева Е.Н. Энактивизм: новая форма конструктивизма в эпистемологии. – Центр гуманитарных инициатив; “Университетская книга”; Москва, Санкт-Петербург, 2014.
- [7] Поппер К.Р. Знание и психофизическая проблема: В защиту взаимодействия. – М.: ЛКИ, 2008.
- [8] Колин К.К. Структура реальности и феномен информации // Открытое образование. – 2008. – № 5. – С. 56–61.
- [9] Сергеев С.Ф. Обучающие и профессиональные иммерсивные среды. – М.: Народное образование, 2009.
- [10] Сергеев С.Ф. Роль механизма редукции в обучении и образовании // Философия образования. – 2013. – № 1 (46). – С. 198–205.
- [11] Сергеев С.Ф. Проблема редукции в когнитивном механизме сознания // Проблема сознания в междисциплинарной перспективе / Под ред. В.А. Лекторского. – М.: “Канон+” РООИ “Реабилитация”, 2014. – С. 245–254.
- [12] Сергеев С.Ф. Генезис субъектной среды: постнеклассическая модель // 7-я Российской конференция по экологической психологии. Тезисы / отв. ред. М.О. Мдивани. – М.: ФГБНУ “Психологический институт РАО”; СПб.: Нестор-История, 2015. – С. 400–402.
- [13] Петренко В.Ф., Супрун А.П. Человек в предметном и ментальном мире. Существует ли “Объективная действительность”? Неоконченный спор Бора с Эйнштейном // Известия Иркутского государственного университета. Серия “Психология” – . 2013. – Т. 2. – № 2. – С. 62–82.
- [14] Янова Н.Г., Супрун А.П. Квантовые эффекты в психодиагностике личности // Известия Алтайского государственного университета. – 2006. – № 2. – С. 124–132.
- [15] Петренко В.Ф., Супрун А.П. Взаимосвязь квантовой физики и психологии сознания // Психологический журнал. – 2014. – № 6. – С. 69–86.
- [16] Князева Е.Н. Сознание как синергетический инструмент // Вестник международной академии наук (русская секция). – 2008. – № 2. – С. 55–59.
- [17] Roth G. Das Gehirn und seine Wirklichkeit. Kognitive Neurobiologie und ihre philosophischen Konsequenzen, Suhrkamp, Frankfurt am Main, 1997.
- [18] Roth G. "Die Konstitution von Bedeutung im Gehirn", in: S. Schmidt (Hrsg.), Gedächtnis, Suhrkamp, Frankfurt am Main, 1996.
- [19] Сергин В.Я. Природа осознания: нейронные механизмы и смысл / Открытое образование.– 2009. – № 2. – С. 33–47.
- [20] Сергин В.Я. Сознание и мышление: нейробиологические механизмы // Психологический журнал Международного университета природы, общества и человека “Дубна”. – 2011. – № 2. – С. 7–34.
- [21] Коштоянц Х. С. Белковые тела, обмен веществ и нервная регуляция // Труды Института морфологии животных им. А. Н. Северцова. – 1952. – № 6. – С. 7–18.
- [22] Сергеев С.Ф. Механизм тотальной аутопоэтичности человекоразмерных систем // Нейронаука в психологии, образовании, медицине: Сб. статей / Под науч. ред. Т.В. Черниговской, Ю.Е. Шелепина, В.М. Аллахвердова, С.Н. Костроминой, О.В. Заширинской. – СПб: Изд-во “ЛЕМА”, 2014. – С.134–140.
- [23] Сергеев С.Ф. Системно-психологические аспекты автоматизации и роботизации техногенных сред // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2015. – Т. 16. – № 11. – С. 751–756.

НАУКОМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ТРУДОВ НАУЧНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ «ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЯ В СЛОЖНЫХ СИСТЕМАХ»

Н.М. Боргест, С.В. Смирнов

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: библиографические данные, статистический анализ, наукометрия.

Abstract

This paper devoted to scientometric analysis of the Proceedings conference “Complex Systems: Control and Modeling Problems”. The results articulate constructive signals to the organizers and participants of the conference.

Введение

Начиная с 1999 года Институт проблем управления сложными системами РАН (ИПУСС РАН) при содействии различных научных, образовательных, промышленных организаций и органов власти ежегодно организует Международную научную конференцию «Проблемы управления и моделирования в сложных системах» (ПУМСС). Номинальным местом проведения конференции был и остается город Самара, но в 1999-2007 гг. конференция проводилась на борту теплоходов, следовавших по Волге и Каме.

Программный комитет конференции в 1999-2003 гг. возглавлял академик В.П. Мясников, а с 2004 г. работой Программного комитета руководит академик Е.А. Федосов [1]. Бессменным председателем Организационного комитета конференции является директор-основатель ИПУСС РАН профессор В.А. Виттих [2].

Конференция получила широкое признание как форум, где обсуждаются последние научные достижения и лучшие практики их применения в системном анализе, управлении сложными системами, обработке информации, измерении и диагностики в экстремальных условиях.

За прошедшие годы в конференции приняли участие учёные и специалисты из десятка стран Европы, США и Японии. Подлинным патриархом, непременным участником всех ПУМСС стал известный британский учёный и предприниматель профессор Г.А. Ржевский [3].

Всегда широко на ПУМСС были представлены ведущие научные организации, университеты, промышленные предприятия и властные структуры России. Например, в разные годы работе конференции участвовали такие именитые российские учёные как профессор С.П. Капица, член-корреспондент РАН, лётчик-космонавт СССР В.А. Соловьёв, академики С.Н. Васильев и Н.А. Кузнецов, члены-корреспонденты РАН Д.А. Новиков, Г.Г. Себряков, Е.Д. Теряев, Р.М. Юсупов.

Предметом исследования предлагаемой статьи стали 17 томов Трудов конференции ПУМСС, изданные в 1999-2003 гг. под редакцией В.П. Мясникова, Н.А. Кузнецова, В.А. Виттиха, и в 2004-2015 гг. под редакцией Е.А. Федосова, Н.А. Кузнецова, В.А. Виттиха. Каждый из указанных томов содержит от 70 до 100 статей. Полные тексты Трудов ПУМСС нескольких последних лет можно найти на сайте ИПУСС РАН [4]. Ведется работа по размещению на указанном сайте всех остальных томов, а также их поочередная (в обратном порядке) индексация в РИНЦ [5].

Основной целью научометрического анализа Трудов научной конференции ПУМСС являлось вскрытие трендов обобщенных характеристик этого научного, организационного и информационного проекта.

1 Сбор и организация исходных данных

Цель исследования и выделенные на него ресурсы определила порядок сбора и организации данных о Трудах ПУМСС: весьма *ограниченные задачи* в части препарирования полных текстов статей, но практически *всеобъемлющий сбор данных*, характеризующих каждый том как целое. Сбор таких данных существенно облегчали принятые в 1999 г. и с тех пор поддерживаемые практически в неизменном виде структура и форматы для статьи и тома анализируемого издания.

Информация об *отдельном* *тome* Трудов конференции фиксировалась в *двух* Excel-таблицах - «*Индекс авторов тома*» и «*Статьи тома*», - которые заполнялись в *несколько* «*проходов*» по тексту тома:

- 1) Сначала в таблицу «Индекс авторов тома» помещалась *вся* информация из *Индекса авторов*, находящегося в конце каждого тома Трудов конференции. Пример заполнения таблицы этими данными приведен на рисунке 1.

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U
1 Фамилия И.О.	Статьи автора																			
2	(номер первой страницы каждой статьи автора в томе)																			
3	1-я статья	2-я статья	3-я статья	4-я	5-я	6-я	7-я	8-я	9-я	10-я	1-й	2-й	3-й	1-я	2-я	3-я	1	2	3	4
4 Иванов А.А.	67	302																		
5 Петров Б.Б.	154	163	302	451	589															
6 Reiter V.	9																			

Рисунок 1 – Фиксация в таблице «Индекс авторов тома» данных из Индекса авторов

- 2) На основании *Содержания* тома производилось *первое заполнение* таблицы «Статьи тома» в графах «Номер первой страницы статьи в томе», «Фамилия И.О. авторов» и «Кол-во страниц». Количество страниц определялось по формуле:

«Номер 1-й страницы следующей статьи» - «Номер 1-й страницы данной статьи» + 1.

Уточнение результата требовалось только для *последних страниц разделов тома* (в Содержании нумерация статей каждого раздела начинается с «1»), т.к. начиная с 2005 г. (ПУМСС VII) разделы в томе начинаются специальным титульным листом. И, разумеется, специально устанавливалось количество страниц *последней статьи* в томе. Этот этап сбора данных иллюстрирует рисунок 2.

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O						
Номер первой страницы статьи в томе	Фамилия И.О. авторов														Кол-во самоссылок (самоцитирования), включая иностранные источники					
1																				
2	1-й автор	2-й автор	3-й автор	4-й	5-й	6-й	7-й	8-й	9-й	10-й										
3	9	Reiter V.													27					
4	67	Иванов А.А.													14					
5	302	Иванов А.А.	Петров Б.Б.												6					

Рисунок 2 – Фиксация в таблице «Статьи тома» данных из Содержания

- 3) Анализировалась *каждая отдельная* статья тома, и надлежащим образом заполнялись оставшиеся графы *обеих таблиц*.

На рисунке 3 показан пример дополнения таблицы «Индекс авторов тома» сведениями из обязательной составляющей каждого доклада, обозначаемой в Шаблоне ПУМСС-статьи как ««Организация/адреса/телефоны». Естественной считалась аффилияция автора (безразлично, в одной или в разных его статьях) не менее чем одному городу, одной стране и, возможно, различным видам учреждений.

Рисунок 4 демонстрирует дополнение таблицы «Статьи тома» детальными сведениями из необязательного раздела ПУМСС-статьи «Список литературы».

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U
1	Фамилия И.О.	Статьи автора										Представляемый город	Представляемая страна	Код вида учреждения, предприятия							
2		(номер первой страницы каждой статьи автора в томе)													(1-учебное, 2-научное, 3-бизнес, 4-власть)						
3		1-я статья	2-я статья	3-я статья	4-я	5-я	6-я	7-я	8-я	9-я	10-я	1-й	2-й	3-й	1-я	2-я	3-я	1	2	3	4
4	Иванов А.А.	67	302									Самара	Россия		x						
5	Петров Б.Б.	154	163	302	451	589						Тольятти	Россия		x	x					
6	Reiter V.	9										Dresden	Boston	Germany USA	x	x					

Рисунок 3 – Дополнение таблицы «Индекс авторов тома» данными об аффилиации авторов статей

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
Номер первой страницы статьи в томе	Фамилия И.О. авторов											Кол-во страниц	Кол-во источников	Кол-во иностранных источников	Кол-во самоссылок (самоцитирования), включая иностранные источники
1															
2	1-й автор	2-й автор	3-й автор	4-й	5-й	6-й	7-й	8-й	9-й	10-й					
3	9	Reiter V.										27	35	35	2
4	67	Иванов А.А.										14	18	11	0
5	302	Иванов А.А.	Петров Б.Б.									6	5	0	4

Рисунок 4 – Дополнение таблицы «Статьи тома» данными из Списка литературы каждой статьи

Разумеется, что очерченные содержание и организация исходных данных о Трудах ПУМСС имеют субъективный характер, задаваемый аксиологическими установками авторов при научометрии научных публикаций, т.е. характер, во многом предопределяющий результаты анализа. Вместе с тем, даже у такого «эконом» варианта базы данных, описывающей Труды ПУМСС, имеется значительный когнитивный потенциал, который, например, может быть реализован путём целенаправленного *концептуального шкалирования* [6] зафиксированных атрибутов исследуемых *объектов* предметной области – *авторов и статей* Трудов ПУМСС.

2 Результаты анализа

Приведём здесь лишь наиболее общие результаты научометрического анализа Трудов ПУМСС по всем томам, опубликованным в 1999-2015 гг.

На рисунках 5-11 представлено изменение количественных характеристик тома Трудов за рассматриваемый период (на временной оси - абсциссе графиков - указаны *номера томов*).

Во-первых, очевидна тенденция к увеличению количества опубликованных статей (рисунок 5) при росте количества авторов (и/или соавторов), представляемых ими городов и общем увеличении объёма тома как печатного издания (рисунки 6, 7 и 8 соответственно).

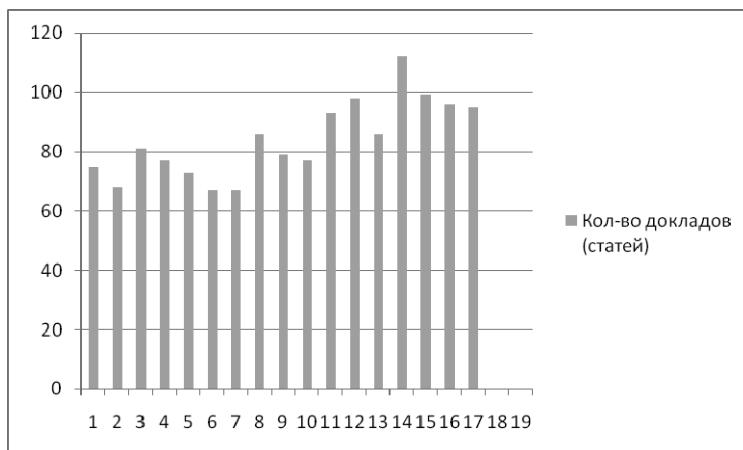


Рисунок 5 – Количество статей в томах Трудов конференции ПУМСС

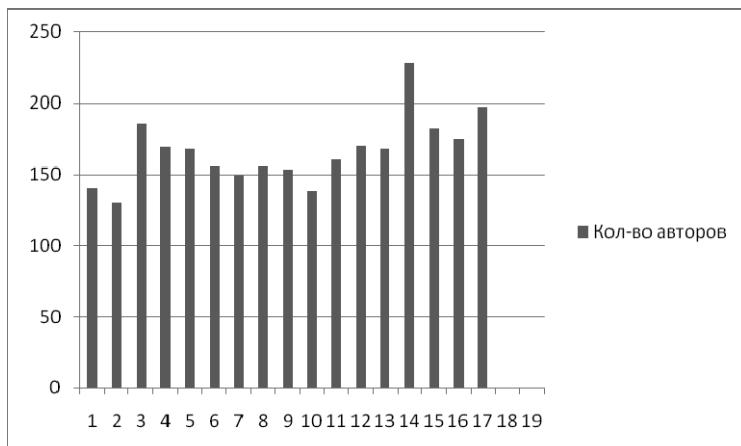


Рисунок 6 – Количество авторов (и/или соавторов) тома Трудов конференции ПУМСС

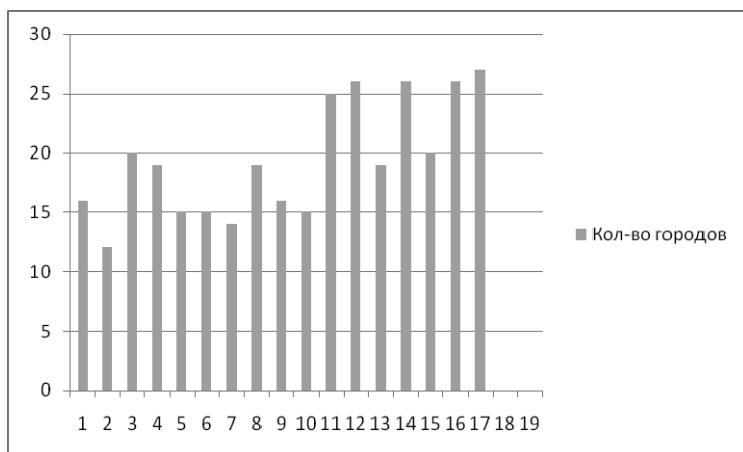


Рисунок 7 – Количество городов, представленных в томе Трудов конференции ПУМСС

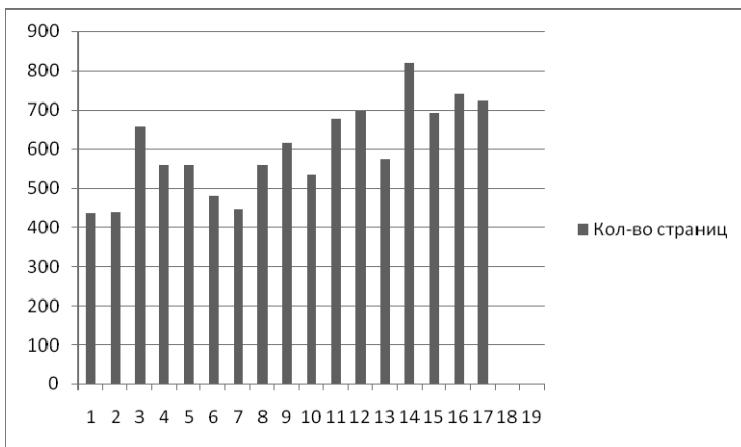


Рисунок 8 – Количество страниц тома Трудов конференции ПУМСС

Количество же представленных на конференции стран (рисунок 9) и организаций (рисунок 10) относительно стабильно (хотя при довольно значительном колебании год от года) и окружённо составляет в среднем 6 и 50 соответственно.

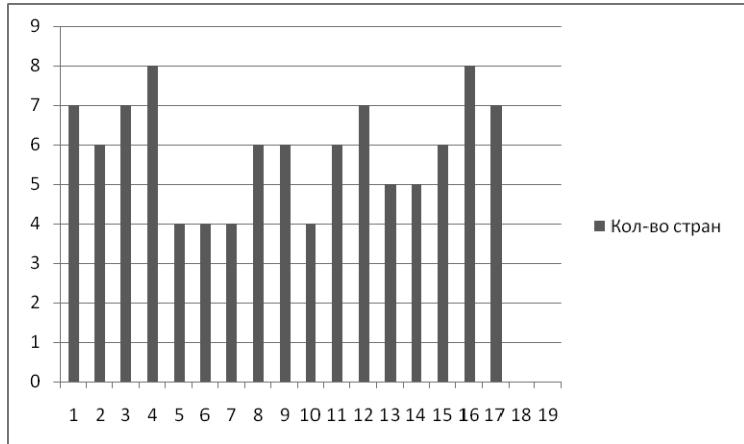


Рисунок 9 – Количество стран, представленных авторами тома Трудов конференции ПУМСС

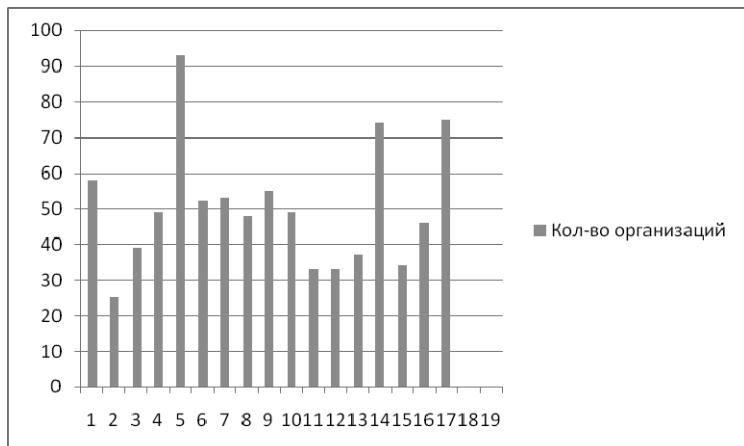


Рисунок 10 – Количество организаций, представленных авторами тома Трудов конференции ПУМСС

С годами в публикуемых материалах конференции заметен рост объема цитирования (рисунок 11). Однако в определённом смысле обнаруживается тенденция к ухудшению его «качества».

Действительно, во-первых, растёт общий объём самоцитирования (рисунок 12). Его доля в каждой статье сохраняется стабильно высокой (рисунок 13), составляя в среднем около 30 процентов. Это заметно выше норм сложившихся в ведущих периодических изданиях за рубежом и в России, где авторам статей рекомендуют ограничиваться по этому показателю уровнем в 10-20 процентов.

Далее в подтверждение высказанной гипотезы следует указать на относительную стабильность общего объема цитирования иностранных источников (рисунок 14). Это означает, что относительная доля цитируемых иностранных источников в каждой опубликованной статье снижается, что и подтверждает заметный тренд этого показателя, обнаруживаемый на рисунке 15.

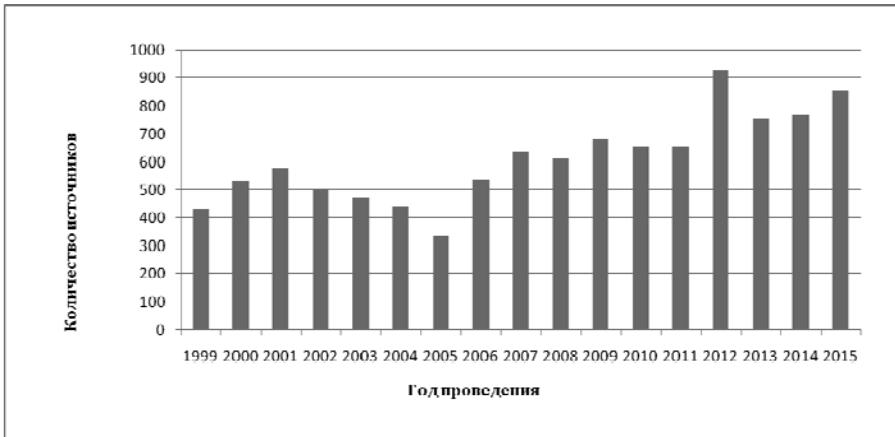


Рисунок 11 – Общий объем цитирования в томе Трудов конференции ПУМСС



Рисунок 12 – Общий объем самоцитирования в томе Трудов конференции ПУМСС



Рисунок 13 – Доля самоцитирования в статье Трудов конференции ПУМСС



Рисунок 14 – Общий объем цитирования иностранных источников в томе Трудов конференции ПУМСС

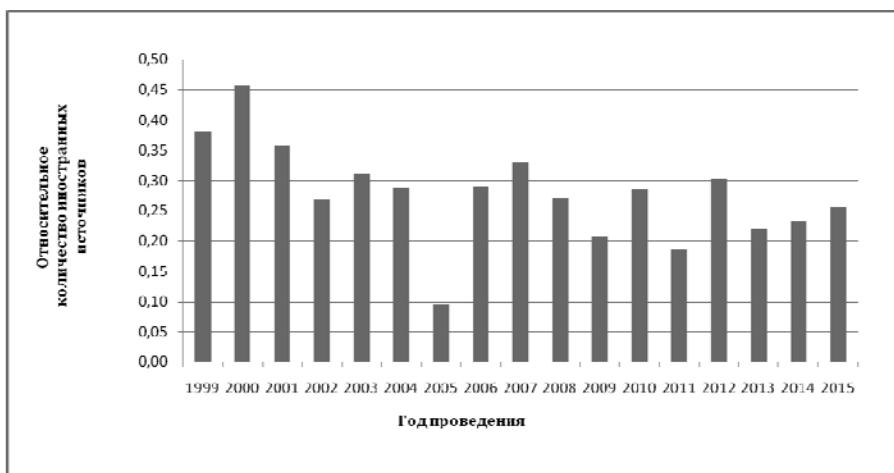


Рисунок 13 – Доля цитирования иностранных источников в статье Трудов конференции ПУМСС

Заключение

Наукометрический анализ Трудов научной конференции ПУМСС 1999-2015 гг. проведен на основе наиболее общих «внешних», сравнительно легко извлекаемых характеристик опубликованных материалов. Тем не менее, даже наиболее общие результаты этого анализа дают конструктивные сигналы организаторам конференции и, в конечном счете, её участникам и авторам докладов.

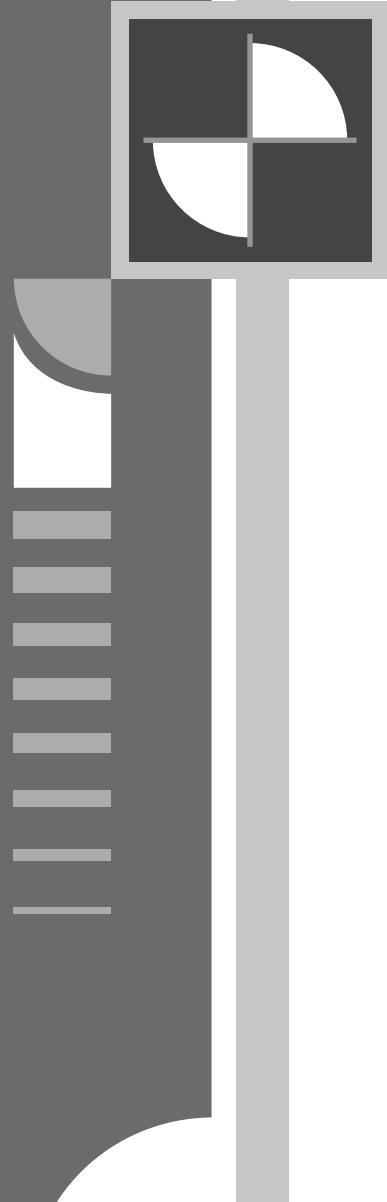
Проведенное исследование далеко не исчерпало интерпретационный потенциал сформированной базы данных о Трудах ПУМСС. В частности, решение задач углубленного анализа собранного материала, обнаружения скрытых связей между фигурирующими в нём сущностями авторы связывают с возможностями инструментов онтологического анализа данных [7]. Накопленные структурированные данные могут послужить основой и для построения прототипа ценного многофункционального информационного ресурса - онтологии и объектной модели научной конференции ПУМСС.

Благодарности

Выражаем признательность студентам группы 3315, обучающихся в Самарском национальном исследовательском университете имени академика С.П. Королёва по специальности «Авиастроение», которые приняли участие в сборе и организации экспериментального материала о Трудах ПУМСС при выполнении самостоятельной работы в рамках курса «История науки и техники».

Список литературы

- [1] Е.А. Федосов [Электронный ресурс]. - URL: <http://gosnias.ru/head-fedosov.html> (дата обращения 25.04.2016).
- [2] В.А. Виттих [Электронный ресурс]. - URL: <http://vittikh.ru/> (дата обращения 25.04.2016).
- [3] George Rzevski. A Personal Website [Электронный ресурс]. – URL: www.rzevski.net (дата обращения 25.04.2016).
- [4] Архив материалов конференций [Электронный ресурс]. - URL: http://www.iccs.ru/cscmp/cscmp_archive.html# (дата обращения 25.04.2016).
- [5] РИНЦ. Информация о публикации [Электронный ресурс]. - URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=25263271> (дата обращения 25.04.2016).
- [6] Ganter B., Wille R. Conceptual scaling // In: Applications of Combinatorics and Graph Theory to the Biological and Social Sciences. - Springer-Verlag New York; 1989. - P. 139-167.
- [7] Семенова В.А., Смирнов В.С., Смирнов С.В. OntoWorker: программная лаборатория для онтологического анализа данных // Проблемы управления и моделирования в сложных системах: Труды XVII международной конф. (22-25 июня 2015 г., Самара, Россия). – Самара: СамНЦ РАН, 2015. - С. 382-393.



Multi-Agent Technologies and Systems
Мультиагентные технологии и системы

КОНЦЕПЦИЯ СОЗДАНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПИЛОТИРУЕМЫМИ КОСМИЧЕСКИМИ ПОЛЕТАМИ НА ПРИНЦИПАХ СЕТЕЦЕНТРИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ, БАЗ ЗНАНИЙ И МУЛЬТИАГЕНТНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

В.А. Соловьев¹, В.Е. Любинский¹, П.О. Скобелев^{2,3}, О.И. Лахин^{2,4}

¹ ОАО «РКК «Энергия»

141070, Московская обл., Королёв, ул. Ленина, 4А, Россия

post@rsce.ru

тел: +7 (495) 513-80-20

² Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева
443086, Самара, Московское шоссе, 34, Россия
petr.skobelev@gmail.com

³ ООО «Группа компаний «Генезис знаний»

443013, Самара, ул. Московское шоссе, д. 17, офис 2201, Россия

⁴ ООО «НПК «Разумные решения»

443013, Самара, ул. Московское шоссе, д. 17, офис 1201, Россия
info@smart-solutions-123.ru
тел: +7 (846) 279-37-79

Ключевые слова: управление космическим полетом, Международная космическая станция, сетецентрический подход, онтологии, мультиагентные технологии.

Abstract

A new concept of the control of manned space flights based on the network-centric approach, ontologies and multi-agent technologies is given. The application of these technologies is designed for the increasing of intellectual level and integration degree of the elements of flight-control system and for ensuring of automation of manned flight-control of far missions in space in prospect.

Введение

Управление пилотируемыми космическими полетами – сложная междисциплинарная задача на переднем крае науки и техники, решаемая в условиях агрессивно-враждебной среды пребывания, априорной неопределенности и высокой динамики в принятия решений и т.д. [1].

Сложность этой задачи будет только возрастать в связи с планируемыми полетами на Луну и Марс [2, 3], что требует выявления проблемных моментов в существующих системах поддержки принятия решений и выработки предложений по их развитию и удовлетворению новых вызовов и требований, связанных с продвижением человечества в космос.

В работе предлагается видение основных направлений развития автоматизированной системы управления пилотируемыми космическими полетами (АСУ «Управление полетами»).

Ключевое направление – повышение уровня интеллектуализации подсистем, входящих в состав системы управления полетом и решающих отдельные её задачи, а также степени их интегрированности, с обеспечением эффективности применения уже имеющихся разработок и постепенного роста степени автономности этих подсистем в принятии решений; в перспективе – создание интеллектуальных систем управления пилотируемыми дальними миссиями в космосе, работающими без постоянной связи с Землей автономно и в диалоге с человеком на борту.

1 Задачи создания АСУ «Управление полетами»

Интеллектуализацию АСУ «Управление полетами» предлагается развивать за счет применения наиболее современных и перспективных информационных технологий, включая использование моделей, методов и средств Интернета вещей – как сети физических объектов, оснащённых встроенными технологиями для взаимодействия друг с другом или с внешней средой, сетевентрического подхода, позволяющего создавать «системы систем» на основе общей шины предприятия, баз знаний и семантического Интернета, мультиагентных технологий и технологий больших данных.

Отправной точкой настоящей концепции развития должно стать выявление проблемных зон автоматизации управления полетами и идентификация новых возможностей по более тесной интеграции систем автоматизированного выполнения компонент процесса управления полётом для повышения эффективности их применения.

Конечной целью настоящей концепции является создание автономных интеллектуальных систем (АИС) и систем на их основе («системы систем»), способных к самоорганизации и к интерактивному диалоговому взаимодействию как с пользователями, так и между самими системами для повышения качества и эффективности управления [4].

Предполагается, что автономные интеллектуальные системы, создаваемые для решения отдельных задач управления космическими полетами, могут также найти разнообразное применение для управления в бизнесе, робототехнике и других областях.

2 Предлагаемый подход для поддержки принятия решений

В отличие от задач корпоративного управления, в решении которых до сих пор доминируют устаревшие мало эффективные бюрократические, централизованные и иерархические структуры, при решении сложных задач управления полетами применяются сетевые подходы и «командный» стиль управления, где ценятся не должности, эполеты и регалии, а личные знания и умения, а также успешный опыт решения сложных задач.

В предлагаемом подходе ключевое значение придается «акторам» или «продуктивам» – компетентным специалистам, способным активно познавать и созидать, а также коммуницировать с использованием современных информационных технологий [5]. Каждый такой специалист – большая ценность для организации, поскольку вокруг него может формироваться множество временных групп (далее будем называть их «командами»), создаваемых для решения возникающих проблемных ситуаций, разработки новых продуктов, выращивания центров знаний и компетенций и т.д. При этом традиционная «пирамида» управления переворачивается, и традиционный административно-управленческий персонал разделяется на «мозговой центр» стратегического развития и обычные обслуживающие подразделения, предоставляющие лишь услуги, а главную власть в принятии решений и ключевые ресурсы получают в свое распоряжение профессиональные «команды», реализующие прорывные идеи и проекты или решающие проблемные ситуации.

В этой связи работа автоматизированных систем, решающих задачи управления полетами, должна изначально быть нацеленной на поддержку работы «команд» специалистов, что предполагает глубокое и тесное взаимодействие междисциплинарных «команд» экспертов и специалистов, отвечающих за различные сферы деятельности по управлению полетами.

2.1 Технологии компьютерной обработки знаний

Принятие решений в междисциплинарных «командах» специалистов основывается на постоянном приобретении и использовании знаний на стыках предметных областей.

Однако, в настоящее время, сами предметные знания, как правило, совершенно не formalizованы и по вечерам «уходят» домой в головах экспертов и специалистов, не интегрированы в общую смысловую картину для управления полетом, фрагментарно распределены в

самых различных формах и видах в учебниках, отчетах о НИР, компьютерных моделях, методах и средствах решения задач, патентах и инструкциях и т.д.

В настоящее время в рамках стремительно развивающегося направления семантического Интернета (Semantic Web) уже имеются разнообразные подходы, модели, методы и средства для формализации знаний предметных отраслей, в частности, на основе онтологий [6].

В указанных системах онтология может представляться семантической сетью классов понятий и отношений предметной области, на основе которой могут строиться онтологические модели сложных объектов, интегрирующих разнородные знания, а также модели ситуаций для анализа, выработки вариантов решений и их согласования.

Имеющиеся методы и средства создания онтологий уже сегодня могут быть использованы для создания баз знаний и интеллектуальных систем поддержки принятия решений [7].

2.2 Мультиагентные технологии

Мультиагентные технологии, активно развивающиеся с середины 80-х годов в связи с бурным развитием компьютерной техники, открывают новые возможности для распределенного решения плохо formalизованных и экстремально сложных задач, для которых классические математические модели и методы не работают вовсе или работают очень плохо [8].

В этом подходе решение любой сложной задачи строится не путем традиционного комбинаторного перебора возможных вариантов, что обычно дает экспоненциальный рост времени решения задачи, а путем разбиения задачи на подзадачи, параллельного и асинхронного независимого решения отдельных задач (что резко снижает размерность задачи), а затем выявления и разрешения конфликтов на границах областей для получения общего решения – это направление получило названия распределенного решения задач (Distributed Problem Solving).

При этом в мультиагентных технологиях решение любой сложной задачи может строиться путем самоорганизации из более простых, конкурирующих и кооперирующих решений частных задач, формирующихся в параллельном и асинхронном режиме. Таких задач может быть десятки и сотни тысяч, как это можно наблюдать в колонии муравьев или рое пчел, демонстрирующих феноменальный «коллективный интеллект» в окружающей живой природе [9].

Например, для решения задачи управления грузопотоком РС МКС были разработаны агенты МКС, полетов, транспортных кораблей, грузов (топлива, воды, продовольствия, оборудования и т.д.), бортовых систем, операций разгрузки и погрузки, утилизации и т.п. [10]. Каждый из указанных агентов при этом является простым, но самостоятельным (автономным) планировщиком-оптимизатором своих действий, стремящимся максимизировать свои собственные показатели, но при возникновении конфликтов готов идти на уступки путем переговоров в интересах объединяющего их целого. При этом должна быть разработана и применяться методика оперативной согласованной оценки удовлетворения интересов «общего целого» на любой момент времени, где видна динамика ее изменения в процессе переговоров и «торгов» - взаимных уступок между агентами при итерационном улучшении решения.

Таким образом решение любой сложной задачи формируется как динамический баланс (консенсус) интересов всех заинтересованных участников с учетом интересов и системы в целом, что дает более открытый к изменениям, гибкий и эффективный метод решения сложных задач управления в части распределения, планирования, оптимизации, согласования и контроля ресурсов различного типа.

Такой подход позволяет создавать более интеллектуальные, гибкие и эффективные, производительные, масштабируемые, надежные и живущие системы управления.

Рассматриваемый подход может быть применен не только для решения сложных задач планирования работ, но и в задачах распознавания образов, проектирования и многих других.

2.3 Виртуальный «круглый стол» для поддержки принятия междисциплинарных решений

При решении любых самых сложных проблемных ситуаций люди на практике всегда создают междисциплинарные «команды», работающие за круглым столом.

Это означает определенную культуру и дисциплину переговоров, в ходе которых осуществляется мозговой штурм, уточняющий суть проблемной ситуации и моделирующий ее развитие, а также помогающий выработать варианты возможных действий и оценить результаты и риски - при котором любому члену «команды» разрешается делать любые предложения, но запрещается прерывать и критиковать друг друга, отбрасывать варианты развития событий без аргументов и т.д.

В своих лучших примерах многие члены «команды» сходятся во мнении, что «командой» сообща предложено решение, которое эксперты никогда бы не смогли получить поодиночке.

Наблюдения за работой экспертов такого «круглого стола» помогают предложить возможную логическую архитектуру системы, которая может использоваться для поддержки вспыхивающего «командного интеллекта» (называемого также «эмерджентным интеллектом»).

В этом случае для разрешения проблемных ситуаций, возникающих в ходе управления полетом, предлагается дополнить существующие системы, входящие в состав общей системы управления полётом и решающие отдельные её задачи, оперативно формируемым виртуальным «круглым столом», обеспечивающим поддержку взаимодействия специалистов для выработки, принятия и согласования решений.

И если на первом этапе такие системы должны поддерживать принятие решений специалистами пусть в самых простых вариантах, то в дальнейшем от лица каждого специалиста и по его поручению могут начать работать программные агенты, имеющие доступ к соответствующим базам знаний, которые смогут предлагать предварительно согласованные варианты решений для окончательного принятия пользователям, являющимся лицами, принимающими решения (рисунок 1).

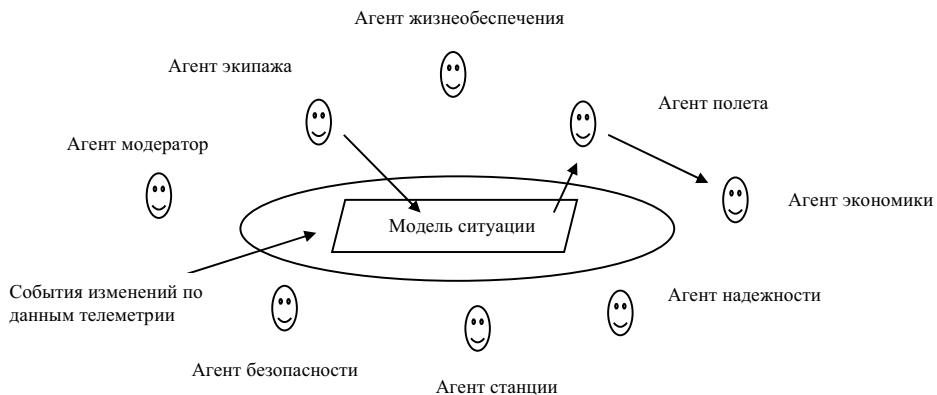


Рисунок 1 – Модель работы виртуального «круглого стола»

В ходе работы таких систем должна начать строиться и уточняться модель проблемной ситуации, должен начать формироваться расширяемый по мере необходимости круг специалистов, которые должны быть привлечены к процессу принятия решений, создано единое информационное пространство для взаимодействия и интегрированы данные, имеющие отношение к модели ситуации (включая данные телеметрии, записи видео обсуждений, «е-майлы», результаты расчетов и испытаний, отчеты и т.д.). На основе анализа модели проблемной ситуации рассматриваемые системы должны помогать вырабатывать варианты сценариев действий с оценкой их степени эффективности, прогнозом возможных рисков и т.д. Оценка сцена-

риев может проходить путем моделирования вариантов развития событий и раскраски результатов по различным критериям (например, максимально повысить эффективность при заданном уровне безопасности и надежности). Выбираемые сценарии далее должны запускаться в работу и контролироваться с точки зрения исполнения и достижения результата с получением постоянной обратной связи от объекта управления и пользователей.

Могут быть предложены различные методы поддержки принятия решений в рамках модели виртуального «круглого стола», например, с последовательным обходом и опросом агентов «команд» «слева-направо» с уточнением или модификацией модели ситуации на каждом шаге, или асинхронным и параллельным взаимодействием агентов с возвратом к выявленному «узкому звену» и т.д.

Перед глазами руководителя полетов и специалистов на экранах всех уровней (включая защищенные планшеты и сотовые телефоны) должны быть постоянно активные «бизнес-радары» с понятной «розой ветров» по основным показателям, показывающие не только текущее состояние управляемого объекта в «мире вещей» на основе данных телеметрии на текущий момент времени, но и «ментальный мир», содержащий планы действий специалистов и ожидаемые результаты, оценку показателей безопасности и надежности, экономики, техники и т.д.

В случае, если в пилотируемом полете все идет по плану и модель ситуации полностью соответствует норме, специалисты контролируют параметры управления, а в оставшееся время – могут и должны работать над приобретением знаний, позволяющих улучшать модели, методы и алгоритмы, и их формализацией в базах знаний, а также над совершенствованием процессов управления и их адаптацией для решения возникающих и прогнозируемых задач.

Очевидно, что такой подход может разворачиваться далее и на уровень любого отдельного подразделения, что позволит создавать указанные системы как самоподобные рекурсивные структуры, построенные из однородных типовых элементов на любом уровне («планировщики планировщиков»).

2.4 Сетецентрическая архитектура

Представленная выше логическая организация систем виртуального «круглого стола» может быть реализована на основе сетецентрической архитектуры, позволяющей строить «системы систем».

Ключевой принцип сетецентризма: «Solve problems as local as possible and as global as required», то есть проблемы должны решаться так локально, как это только возможно, и так глобально, как этого требует задача.

Например, сложная мультиагентная система планирования (далее – планировщик) крупного подразделения, имеющего в своем составе 20-30 «команд», при этом может состоять из планировщиков отдельных групп, взаимодействующих между собой так же, как ранее взаимодействовали отдельные агенты внутри одного такого планировщика, но только теперь целый «край» взаимодействует с «роем».

На практике это означает, что внезапное возникновение любого события в одном из планировщиков любой «команды» будет по возможности сразу же обработано и учтено в планах этого планировщика, но если это не получается и решение задевает планы других планировщиков – то начнется процесс взаимодействия и, возможно, возникнет волна переговоров для разрешения возникшего конфликта, что в случае разрешения и урегулирования этого конфликта позволяет такой сети планировщиков непрерывно поддерживать актуальность взаимосвязанных планов даже при любых турбулентных изменениях в окружающей среде.

Вместе с тем, следует рассматривать данный подход как принципиально новую основу построения «умного» Интернета вещей и людей, создающего предпосылки появления так называемых Industry 5.0 – полностью автономных интеллектуальных систем управления предприятием.

Наконец, реализация разработанных программных агентов в виде чипов в устройствах нового поколения позволит переходить к полноценным кибер-физическим системам.

3 Архитектура АСУ «Управление полетами»

Архитектура предлагаемой АСУ «Управление полетами» будет включать ранее разработанные и успешно внедренные системы в основном контуре управления полетами, а также предполагается разработка и внедрение новых систем в интересах различных подразделений, принимающих участие в управлении полетом.

Предлагается выделить следующие системы или модули, конфигурация которых зависит от потребностей компонент процесса управления полётом (рисунок 2):

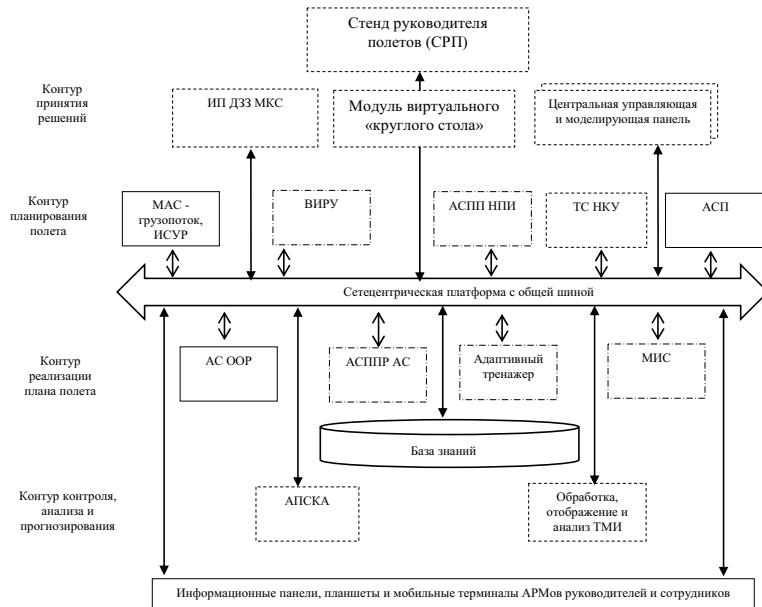


Рисунок 2 – Архитектура АСУ «Управление полетом»

- Стенд руководителя полетов (СРП), включающий центральную управляющую и моделирующую панель – позволяет отображать текущее состояние и принимаемые решения по управлению полетом.
- Интеллектуальный Интернет портал для предоставления услуг ДЗЗ на базе РС МКС (ИП ДЗЗ МКС).
- Интерактивная мультиагентная система построения программы полета, грузопотока и расчета ресурсов РС МКС (МАС Грузопоток).
- Информационная система управления ресурсами РС МКС (ИСУР).
- Автоматизированное рабочее место разработки трехмерных моделей и виртуальных устройств в рамках эксперимента «ВИРУ» (ВИРУ) – предназначено для разработки трехмерных моделей и виртуальных устройств.
- Автоматизированная система поддержки процесса формирования и выполнения программ научно-прикладных исследований на РС МКС (АСПП НПИ).
- Автоматизированная система задействования технических средств наземного комплекса управления и каналов связи Российского сегмента Международной космической станции (ТС НКУ).

- Автоматизированная система планирования и мультиагентный модуль адаптивного планирования полетных операций (АСПП).
- Автоматизированная система организации оперативных работ смен ГОГУ (АС ООР).
- Автоматизированная система поддержки принятия решений в аварийных ситуациях АСППР АС (АСППР АС).
- Адаптивный тренажер для формирования и восстановления навыков ситуационной поддержки принятия решений сменным руководителем полетов и специалистами ГОГУ (АТ).
- Многофункциональная информационная система (МИС).
- Интеллектуальная система анализа и прогнозирования состояния систем космических аппаратов (АПСКА).
- Обработка и контроль ТМИ.
- Корпоративная база знаний предприятия, включает онтологию предметной области.
- Сетецентрическая платформа для поддержки процессов распределенного управления «системой систем» с поддержкой общей шины предприятия для согласования решений.
- Модуль виртуального «круглого стола» для поддержки взаимодействия и в дальнейшем моделирования работы специалистов при решении нештатных проблемных ситуаций.
- АРМы на базе информационных панелей, планшетов и мобильных терминалов для руководителей и сотрудников предприятия.

Главной особенностью и важным преимуществом подхода в использовании и доработке указанных систем является адаптивное планирование по событиям, поступающим в реальном времени, вплоть до уровня отдельных специалистов и космонавтов.

4 Интерфейсы пользователя

Общую информацию о состоянии управляемого космического аппарата, выполняемых работах и планах деятельности, загрузке и использовании ресурсов на текущий момент времени можно будет всегда увидеть на Стенде руководителя полетов (СРП), представленном на рисунке 3.



Рисунок 3 – Общий вид Стенда руководителя полетов

Здесь руководители и сотрудники могут увидеть следующие изменяющиеся массивы данных, объединенные и представленные в порядке следования следующих трех вертикальных экранов:

- 1) *входные данные* для непрерывного адаптивного планирования и контроля исполнения задач, включая ресурсы подразделений, текущие заявки, журнал важных событий (как внешних, так и внутренних) и список проблемных ситуаций с оценкой рисков;
- 2) *текущее состояние* РС МКС, включая модель физического мира (например, кибер-физическую 3D-модель МКС с местами возникновения НШС и заявок на обслуживание бортовых систем), модель мира ментального (покажет распределение заявок и работ по исполнителям), а также текущие планы как специалистов на Земле, так и экипажа на заданный горизонт времени;
- 3) *выходные результаты* работы системы, включая журнал принятых решений по распределению ресурсов, целевые показатели всех участников, изменения показателей работы МКС в целом и его отдельных бортовых систем, прогнозирование состояния систем, а также другие данные, специфичные для управления полетом.

Такая панель может быть размещена как в кабинетах у руководителей всех уровней, так и на открытом пространстве ЦУП или мобильном планшете любого специалиста.

Заключение

Создание автоматизированной системы управления пилотируемыми космическими полетами на основе применения новых управляемых технологий для развития «командного» подхода, сетевентрической архитектуры, баз знаний и мультиагентных технологий обеспечит повышение уровня интеллектуализации подсистем, входящих в состав системы управления полётом, а также в перспективе автоматизированная система управления полетами обеспечит управление пилотируемыми дальними миссиями в космосе без постоянной связи с Землей и в диалоге с человеком на борту.

Реализация предлагаемого подхода приведет к созданию новой модели управления полетами в «команде» специалистов, повышению оперативности, качества и эффективности принятия решений по управлению полетом, сведению в базу знаний плохо формализованных, разнородных и разрозненных знаний, снижению трудоемкости и зависимости от персоналий в принятии решений, созданию платформы для построения автономных интеллектуальных систем управления полетами.

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ.

Список литературы

- [1] Соловьев В. А., Лысенко Л. Н., Любинский В. Е. Управление космическими полетами: учебное пособие. Под редакцией Л.Н. Лысенко. – М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2009 (ч. 1). – 476 с.
- [2] Соловьев В. А., Лысенко Л. Н., Любинский В. Е. Управление космическими полетами: учебное пособие. Под редакцией Л.Н. Лысенко. – М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2010 (ч. 2). – 426 с.
- [3] Paul T. Grogan, Afreen Siddiqi, Olivier L. de Weck. Matrix Methods for Optimal Manifesting of Multinode Space Exploration Systems // Journal of Spacecraft and Rockets. - 2011. - Vol. 48, No. 4. - pp. 679-690.
- [4] Скобелев П. О. Мультиагентные технологии в промышленных применениях: к 20-летию основания Самарской научной школы мультиагентных систем // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2010. – №12. – С. 33-46.
- [5] Виттих В.А. Введение в теорию интерсубъективного управления. – Самара: Самарский научный центр РАН, 2013. - 64 с.
- [6] Скобелев П.О. Онтологии деятельности для ситуационного управления предприятием в реальном времени // Онтология проектирования. – 2012 - №1(3). - С.26–48.

- [7] Коршиков Д.Н., Лахин О.И., Носкова А.И., Юрьгина Ю.С. Методы представления знаний для решения задач моделирования // Материалы V Международной научно-технической конференции «Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем» Open Semantic Technologies for Intelligent Systems, 19 – 21 февраля 2015 г. – Минск: БГУИР, 2015. – С. 425-428.
- [8] Wooldridge M.. An Introduction to Multiagent Systems. John Wiley and Sons Ltd, February 2002, Chichester, England - 340 pp.
- [9] Bonabeau E., Theraulaz G. Swarm Smarts. What computers are learning from them? // Scientific American. – 2000. - Vol. 282. - N 3. – P. 54-61.
- [10] Лахин О.И., Майоров И.В. Метод адаптивного планирования грузопотока РС МКС на основе мультиагентных технологий // Мехатроника, автоматизация, управление. - 2015. - Т.16, №12. - С 487-852.

РАЗРАБОТКА КОНЦЕПЦИИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО ИНТЕРНЕТ-ПОРТАЛА ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ИННОВАЦИЯМИ МИНИСТЕРСТВА ОБОРОНЫ РОССИИ

А.Н. Антонов¹, П.Н. Голобородько¹, О.И. Лахин^{2,3}, Ю.С. Юрьгина³, А.Е. Харичев³, А.В. Чехов³

¹АО «Полигон»

630083, Новосибирск, ул. Большевистская, 173Б, Россия

oaoomc@mail.ru

тел: +7 (383) 269-55-56

² Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева

443086, Самара, Московское шоссе, 34, Россия

lakhin@smartsolutions-123.ru

тел: +7 (846) 279-37-79

³ Группа компаний «Генезис знаний»

443013, Самара, ул. Московское шоссе, д.17, офис 2201, Россия

info@kg.ru

тел: +7 (846) 279-37-74

Ключевые слова: жизненный цикл, интернет-портал, семантическая сеть.

Abstract

The industry topical problem is increase efficiency innovations based on modern information technology. The novelty consists in using domain ontology (Semantic Web) and “multi-agent internet” as an intellectual base for knowledge management of rocket and space enterprises and the whole industry.

Введение

Задача повышения эффективности инноваций – одна из ключевых как для Министерства обороны России, так и многих других министерств и ведомств [1].

Для решения этой задачи в настоящей работе предлагается концепция интеллектуального Интернет-портала для управления жизненным циклом развития каждой инновации: от начальной формулировки новой идеи, формирования творческой команды участников проекта и его соисполнителей для подготовки первого предложения – до поиска заказчиков, источников финансирования и промышленной реализации новой продукции.

Пользователями портала смогут стать подразделения МО России, высшие учебные заведения и учреждения академии наук, крупные, средние и малые инновационных технологические компании, венчурные фонды, фонды перспективных исследований, банки, страховые компании и т.д.

В качестве методической основы создания портала, который должен удовлетворять перспективному видению Industry 5.0 (на основе умного Интернета людей и вещей), предлагается выбрать новую теорию сложных систем, сетецентрический подход, базы знаний и мультиагентные технологии для использования фундаментальных принципов самоорганизации и эволюции при управлении инновациями [2].

Напомним, что перспективное видение Industry 5.0 все более тесно увязывается с функциональными возможностями сменяющих друг друга технологий сети Интернет:

- **Интернет 1.0** – хранение большого количества информации и создание средств поиска в этом объеме информации;

- **Интернет 2.0** – поддержка коммуникации людей, что особенно ярко проявилось в создании различных социальных сетей;
- **Интернет 3.0 (семантический)** – Интернет страницы будут понимать свое содержание и уметь отвечать на вопросы;
- **Интернет 4.0 (агенты)** – программные агенты, работающие от лица и в интересах своих пользователей, и способные к взаимодействию;
- **Интернет 5.0 (организации)** – виртуальные организации на базе семантического Интернета самоорганизующихся сообществ агентов людей и вещей.

Планируется поэтапно использовать рассматриваемые технологии с самого начала разработки функциональных возможностей указанного портала.

1 Основные подсистемы портала

Выделяются следующие основные подсистемы (модули) портала:

- 1) **Модуль «Идея»** – позволяет на основе онтологии предметной области сформировать семантический дескриптор новой идеи, проводя категоризацию темы и предмета разработки. Созданный дескриптор будет использоваться агентом идеи для дальнейшего продвижения по фазам жизненного цикла, а также для прохождения предварительной экспертизы специалистами;
- 2) **Модуль «Люди»** – позволяет специалистам создавать свои собственные семантические дескрипторы, которые описывают их потребности и возможности, проводя категоризацию знаний и умений, компетенций, опыта выполнения проектов. Агент пользователя на основе такого профиля далее будет искать интересные для конкретного человека идеи, команды и проекты, публикации, новости и мероприятия и т.д.
- 3) **Модуль «Публикации»** – позволяет создать семантический дескриптор любой публикации (статья, патент, отчет и др.), кратко описывающий объект, новизну и отличия решения и т.д. Это позволяет сделать возможным для агента публикации смысловой поиск идей, команд и проектов, а также других публикаций (для кластеризации).
- 4) **Модуль «Команда»** – помогает формированию команды (организаций), которые могут быть заинтересованы в развитии идеи, и созданию проектов ее реализации. В этом модуле поддерживается постоянная работы биржи специалистов, в которой агенты идей ищут агентов специалистов, рассматривая их компетенции, знания и опыт в приложении к требованиям идеи.
- 5) **Модуль «Проект»** – созданная под новую идею команда специалистов имеет возможность создать в системе проект, который предполагает наличие пояснительной записи и технического задания, плана проекта, программы и результатов приемочных испытаний, сметы расходов. При этом семантическая спецификация проекта до уровня задач, их требований и связей между ними позволит агентам задач находить нужных экспертов или специалистов под заданные требования в ходе подготовки или реализации проекта.
- 6) **Модуль «Организации»** – аналогичен модулю «Люди», но применяется для организаций. Позволяет задать потребности и возможности организации и использовать эти профили для матчинга с людьми, публикациями и т.д.
- 7) **Модуль «Заказчик»** – позволяет заказчику (министерству или любым другим) формировать тактико-технические требования к продукции, публиковать запросы и видеть прогресс по каждой идее в ответ на свой запрос от ее зарождения – до выхода на проект и получения финансирования.
- 8) **Модуль «Финансы»** – позволяет агентам проектов, представленным в плане проекта до уровня задач, находить финансирование как со стороны заказчика, так и во внешних источниках, включая фонды перспективных исследований, инвестиционные фонды и т.д.

- 9) **Модуль «Результаты»** – витрина для рекламы результатов проектов, показывающая также наилучшие достижения как образцы лучшей практики, которые могут быть использованы в качестве ближайших аналогов всеми участниками формирующихся проектов.
- 10) **Модуль «Мероприятия»** – позволяет задать семантические дескрипторы мероприятий, которые будут использованы агентами мероприятий для приглашения гостей, регистрации заинтересованных лиц и организаций, планирования мероприятий и т.п.
- 11) **Модуль «Новости»** – задает семантические дескрипторы для новостей, что позволяет фильтровать их по профилям пользователей.
- 12) **Модуль «Реклама»** – позволяет сторонним организациям адресно рекламировать свои услуги в портале, используя агентов и семантические дескрипторы для матчинга потребностей и возможностей.

2 Предлагаемый подход

Как следует из представленного описания работы модулей, основой разрабатываемого портала должна стать база знаний на основе онтологий, развиваемых в настоящее время для семантизации Интернета. Классы понятий и отношений, задаваемых онтологией, используются далее для построения семантических дескрипторов идей, людей, задач проектов и т.д. Эти дескрипторы необходимы для работы агентов идей, людей, публикаций и прочих, которые находят близкие себе сущности других классов и устанавливают связи между ними, действуя на виртуальном рынке портала. Пользователи реагируют на результаты работы агентов, принимая и оценивая полученные предложения. Успешно принятые предложения набирают определенную виртуальную «валюту» (подобно «лайкам»), но теперь играющую роль «энергии», необходимой не только для формирования рейтингов, но и для установления связей, выработки решений о перепланировании своих позиций, выхода на новых пользователей и т.д.

В результате, с приходом новых участников и размещением новых материалов (идей, публикаций и т.д.) будет непрерывно строиться и постоянно развиваться и перестраиваться самоорганизующаяся семантическая «нейронная сеть» инноваций (Рисунок 1), которая постоянно (24/7) адресно связывает идеи, людей и проекты и т.д.

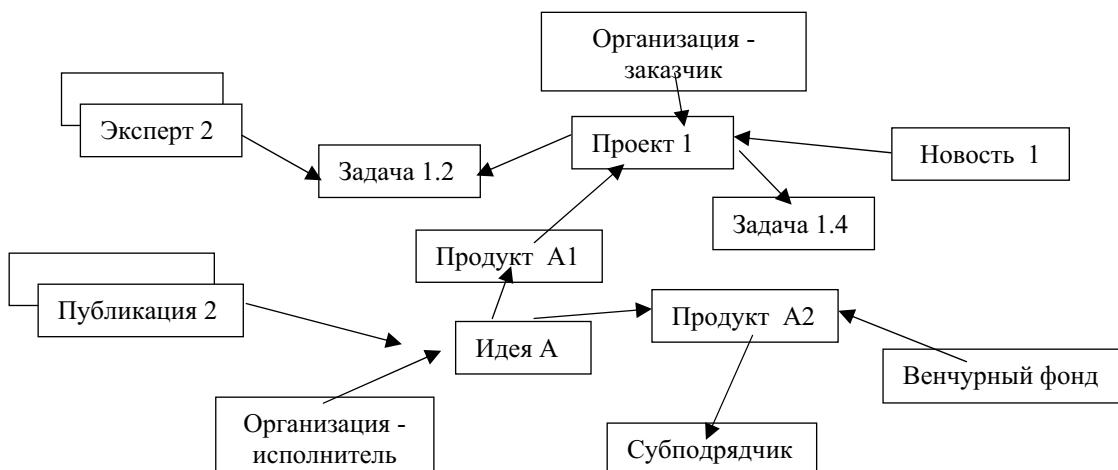


Рисунок 1 – Пример фрагмента семантической сети для конкретной инновационной идеи

Здесь для примера показано (стрелкой), кто кого нашел в ходе матчинга потребностей и возможностей для конкретной идеи инноваций, и кто согласился на предложение по установ-

лению связей, что привело к самоорганизации идеи в план проекта с привлечением экспертов, публикаций, финансов, субподрядчиков и т.д.

В результате, даже самая небольшая инновационная технологическая компания сможет зарегистрироваться в портале, описать свои потребности и возможности и получить своего агента, который будет приносить различные сведения по профилю компании, а также, возможно, предложения принять участие в работах по различным проектам. С другой стороны, компания сможет выложить свои идеи и предложения, которые смогут найти поддержку экспертов и специалистов и инициировать процесс формирования команды для разработки предложений по проекту. Данный процесс будет видимым как для компании, так и для заказчика, который в любой момент времени сможет поддержать процесс самоорганизации проекта. Видимость этого процесса покажет «узкие места» в идеи проекта, которые могут быть доработаны в ходе взаимодействий. Таким образом, интеллектуальность портала будет выражаться в проведении работы по связыванию различных участников проектов и подсказках для пользователей, направленных на катализацию и развитие инновационных идей, а также сокращение периода их «созревания» до уровня финансируемых проектов.

Таким образом, семантизация предметной области и «агентизация» жизненного цикла инноваций поможет сделать личный кабинет и работу пользователей в портале не «пассивными», а «активными» для поддержки адресного взаимодействия, что позволит катализировать и повысить эффективность инноваций. В этом случае управление инновацией заказчиком может рассматриваться и как катализация определенных тем или идей путем точечного придания соответствующим агентам большей активности за счет «инвестиций» виртуальной валюты.

3 Ожидаемые результаты

На первом этапе разработки предполагается реализация следующих возможностей для пользователей:

- создавать онтологию предметной области как основу базы знаний министерства об инновационных идеях и проектах, людях, командах и т.д.;
- формализованным образом строить семантические дескрипторы и описывать потребности и возможности специалистов, предприятий и организаций;
- активировать агентов для решения задач поддержки жизненного цикла инноваций;
- обеспечивать автоматический поиск соответствия (матчинг) агентов на виртуальном рынке портала для построения сетей потребностей и возможностей;
- устанавливать и поддерживать связи между участниками с учетом их изменяющихся интересов;
- пересматривать связи по событиям изменений с учетом интересов участников;
- обеспечивать доступ к информационным ресурсам на основе семантических запросов, учитывающих отношения между словами в отличие от поиска по ключевым словам;
- вести мониторинг активностей в портале, строить рейтинги идей, проектов, команд специалистов и материалов;
- получать обратную связь от потребителей.

В качестве технологической основы разработки рассматривается возможность использования компьютерной сети изобретательства и рационализации (КСИРИН), разрабатываемой в настоящее время для ГК «Роскосмос» [3].

Развитие структуры сервисов и функциональных возможностей подсистем портала предполагается осуществлять по этапам, с экспериментальной апробацией новых технологий и решений на прототипах до начала массового внедрения, постепенно наращивая содержание подсистем и их взаимодействие.

Заключение

В дальнейшей перспективе предполагается автоматизация процессов построения семантических дескрипторов за счет применения технологий понимания текстов и обработки больших данных для выявления кластеров растущих новых тем и идей разработок, активных групп разработчиков и т.д.

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ.

Список литературы

- [1] <http://scientificrussia.ru/articles/novye-grani-sotrudnichestva>
- [2] Rzevski G., Skobelev P. Managing Complexity. – WITPress, London, 2014- 198 pp.
- [3] Н.Н. Стратилатова, В.К. Скирмунт, А.С. Егоров, Ю.С. Юрьгина, А.С. Анисимов, О.И. Лахин, А.В. Чехов. Создание системы управления интеллектуальной собственностью на основе использования баз знаний (онтологий) и мультиагентных технологий // Труды международной научно-технической конференции «Перспективные информационные технологии (ПИТ-2016)», Самара, 26-28 апреля 2016 г. – Самара: Издательство Самарского научного центра РАН, 2016. – С. 374-377.

ПРОМЫШЛЕННЫЕ ПРИМЕНЕНИЯ МНОГОАГЕНТНЫХ СИСТЕМ: ПРОГНОЗЫ И РЕАЛИИ

В.И. Городецкий¹, П.О. Скobelев², О.Л. Бухвалов¹, И.В. Майоров^{2,3}

¹ Санкт-Петербургский ин-т информатики и автоматизации РАН
199178, Санкт-Петербург, 14-я лин. В.О., 39, Россия
vladim.gorodetsky@gmail.com

² Самара, ИПУСС РАН
443020, Самара, ул. Садовая, 61, Россия
PetrSkobelev@gmail.com

³ ООО «НПК «Разумные решения»
443013, Самара, ул. Московское шоссе, д. 17, офис 2201, Россия
imayorov@smartsolutions-123.ru
тел: + 7 (846) 279-37-74

Ключевые слова: мультиагентные технологии, многоагентные системы, методология MAC, стандарты FIPA, инструменты разработки MAC.

Abstract

The paper presents overview of industrial applications on multi-agent systems. The initial future forecast and real applications are compared. The discovered difficulties are analyzed. Recommendations for future developments and perspective application domains are given.

Введение

В обзоре Гартнер, вышедшем в свет в октябре 2015 года, многоагентные системы (MAC) и технологии (MAC-технологии) включены в список наиболее перспективных информационных технологий (ИТ) следующего десятилетия [1]. Такой точки зрения придерживаются и многие специалисты в области информационных технологий.

Однако несколько неожиданным является тот факт, что ИТ-индустрия не спешит с использованием многоагентной технологии, хотя последняя и в среде специалистов числится в списке перспективных уже давно. Естественно встает вопрос о том, почему многочисленные и уверенные предсказания относительно радужных перспектив технологии MAC пока не оправдываются и когда можно ожидать ее успехов на индустриальном уровне.

В настоящей работе дается краткое описание истории развития этого направления, анализируются проблемы, которые существенно тормозят внедрение MAC в практику, и что необходимо сделать, по мнению авторов, для полноправного выхода MAC-технологий на рынок индустриальных внедрений.

Структура работы включает краткий обзор истории развития MAC, а далее в разделе 1 даются краткие сведения о ключевых свойствах MAC и технологий, а также уточняются задачи данной работы. В разделе 2 анализируется состояние и оцениваются перспективы прикладных разработок в области MAC на 2005 г. [3] с прогнозом их динамики на период (2005-2015+) гг. В разделе 3 на основании фактического материала работ [4, 7] и других источников информации дается характеристика современного состояния разработок в области прикладных MAC различного уровня зрелости и приводится сравнение достигнутых результатов с их прогнозом на 2015+ гг., приведенным в [3]. В разделе 4 анализируются негативные тенденции в области теории и практики MAC, а также причины, которые, по мнению авторов данной работы, привели к определенному кризису в области индустриальных приложений MAC и техно-

логий. В разделе 5 намечаются возможные варианты преодоления этого кризиса, которые могли бы способствовать скорейшему и более эффективному использованию практически неограниченного потенциала МАС и как парадигмы концептуализации, и как методологии разработки, и как технологии программирования самых сложных распределенных интеллектуальных систем. В этом же разделе приводятся также примеры удачных разработок МАС-приложений, выполненных под руководством и при участии авторов данной работы и формулируются особенности использованных моделей и технологий, которые сделали возможным практическую реализацию потенциала многоагентных систем и технологий. В заключении резюмируются основные результаты работы.

1 Кратко об истории развития МАС

Концепция МАС была впервые предложена в середине 1980-х годов. Она сразу была высоко оценена как научным, так и индустриальным сообществами. В исследования и разработки в области МАС и технологий в 1990-е годы были вовлечены достаточно большие научные силы ведущих университетов и ИТ-компаний мира. В результате уже за первые два десятилетия были построены базовые теоретические основы МАС, начались активные разработки в области технологии и инструментальных средств ее поддержки. К началу 2000-х годов было разработано несколько хорошо продуманных методологий создания МАС, началась разработка инструментальных программных средств их поддержки. В 1996 г. была создана общественная организация FIPA (от англ. *Foundation for Intelligent Physical Agents*), главной задачей которой было научное обоснование стандартов в области агентов и МАС, а уже в 2005 г. она стала одним из комитетов IEEE по стандартизации. В это время ожидалось, что МАС и соответствующая технология готовы занять место лидирующей принципиально новой парадигмы проектирования и технологии разработки современных распределенных интеллектуальных систем индустриального уровня практической любой сложности, причем для самого широкого спектра приложений.

Тогда казалось, что оснований для такой точки зрения вполне достаточно. Действительно, эта концепция выглядела очень привлекательной и естественной для понимания и применения. С самого начала она позиционировалась как парадигма создания сложных систем, построенная на биологических принципах (англ. *bio-inspired* – вдохновляемая биологией, живыми системами), которая предлагает строить системы и решать задачи в том же стиле, в каком они решаются в живой природе и человеческом сообществе, в частности, путем взаимодействий, лежащих в основе самоорганизации. Основной принцип создания концептуальной модели МАС-приложений использует разбиение сложной задачи с множеством взаимодействующих сущностей на относительно простые законченные подзадачи, понятные специалисту. Решение этих задач поручается программными агентам, которые разрабатываются и программируются практически автономно, работают асинхронно и параллельно, и взаимодействуют с помощью простой техники обмена сообщениями на языке, близком к естественному, т.е. аналогично тому, как это делается при решении задач в сообществе живых существ, в частности, в человеческом сообществе. Это взаимодействие, реализуемое с помощью диалогов и протоколов, может быть достаточно разнообразным. При этом агенты могут генерировать события и посыпать сообщения другим агентам, вырабатывать и согласовывать варианты решений, передавать входные и выходные данные, оценивать результаты решения своих подзадач, формировать задания для других агентов, поддерживать синхронизацию коллективных действий, передавать сигналы обратной связи и т.п. Эта концепция представляется естественной для приложений, в которых участвует много разных участников с собственными интересами или любых других относительно автономных сущностей. Например, это относится к задачам транспортной логистики, где объектами планирования являются отдельные заказы и грузы, а исполнителями плана являются транспортные средства, водители, станции ремонта и т.п. То же самое

относится и к производственной логистике, аналогичными объектами которой являются (на нижнем уровне) заказы, отдельные технологические производственные операции, рабочие и станки, выполняющие эти операции, материалы и т.д.

Особенно привлекательными для МАС-технологий были и остаются до настоящего времени задачи индивидуальной и коллективной робототехники. Специалистам в области робототехники эта концепция с самого начала представлялась идеальной для моделирования коллективного поведения автономных роботов в различных миссиях [2]. Можно указать и ряд других классов приложений, для которых МАС-парадигма вплоть до настоящего времени воспринимается как наилучший, а иногда и просто единственно возможный вариант концептуализации, моделирования и программной реализации. Это, прежде всего, касается приложений, управляющих сложными крупноразмерными объектами сетевой структуры, а приложений подобного рода на практике становится с каждым днем все больше не только в транспорте и производстве, но и в энергетике, здравоохранении, военном деле и многих других приложениях. Наступающая эра Интернета вещей, в приложениях которой центральным аспектом является именно взаимодействие распределенных автономных сущностей (как “вещей” и их удаленных пользователей, так и «вещей» между собой для более сложных запросов) порождает новый широкий класс приложений, для которых МАС-технология представляется приоритетной технологией.

Одной из самых привлекательных сторон МАС-парадигмы является ее способность естественно и эффективно решать самую трудную задачу разработки сложных программ, а именно программирование взаимодействий множества компонент программы. В концепции и технологии МАС, по существу, эта задача отделяется от программирования агентов и реализуется с помощью диалогов и протоколов их взаимодействия. Важно отметить, что в своей базовой формулировке парадигма МАС особо акцентирует внимание на этом факте: она формулируется как парадигма - вычислений на основе взаимодействий (англ. *computation as interactions*) [3]. Концепция обмена сообщениями с использованием диалогов и протоколов для реализации взаимодействий оказалась очень привлекательной и продуктивной на практике. Не случайно она в последующем получила широкое распространение и в других архитектурах и технологиях разработки сложных интеллектуальных систем.

Убедительным показателем уровня зрелости разработок в области теории и практики МАС был проект *Agentlink III* Европейской комиссии FP-6 (2004-2005), основным результатом которого стала дорожная карта *RoadMap: “Agent Technology: Computing as Interaction.”* [3]. Этот документ фактически подвел краткие итоги двадцатилетнего развития парадигмы, модели и технологий МАС, дал оценку практических перспектив МАС и, что самое важное, дал весьма оптимистический прогноз перспектив индустриальных применений МАС до 2015+ г.

Однако уже в начале 2000-х годов в развитии теории и технологии МАС что-то пошло не так, как ожидалось. Например, в программе Европейской комиссии FP5 исследования, посвященные непосредственно развитию теории и инструментальных средств технологической поддержки разработки МАС почти не финансировались. В [4] по этому поводу отмечается, что с середины 2000-х годов публичное восприятие работ в области МАС стало менее значимым. Финансирование проектов по программам FP5 и FP7 Европейской комиссии по направлению ICT (англ. *Information and Communication Technologies*) было сфокусировано на других направлениях, таких как сервис - ориентированные вычисления, ГРИД - вычисления, автономные вычисления и др. Удачные разработки (англ. *success stories*) этого времени в области интеллектуальных приложений, которые были выполнены в этот период ведущими ИТ – компаниями мира, в частности, Apple, Facebook, Google, SAP, совсем не были связаны с МАС или с МАС - технологиями, по крайней мере, в общественном восприятии. В программах FP5 и FP7 поддерживались отдельные проекты, в которых присутствовали компоненты, реализованные с использованием МАС - архитектур и технологий, но проекты в целом не ассоциировались с исследованиями в интересах развития теории и практики агентов или МАС. На конфе-

ренции AAMAS 2007 в приглашенном докладе вице-президента и директора автономной лаборатории компании Моторола Дж. Стресснера (John Strassner) одной из ключевых тем был анализ состояния индустриальных разработок в области многоагентных приложений. Автор этого доклада с удивлением говорил, что он обнаружил не более шести MAC –приложений, разработанных за 20-летнюю историю MAC, которые, хотя и приближенно, но могли бы квалифицироваться как индустриальные [5].

Скотт Делоч (Scott A. DeLoach), профессор Канзасского университета, один из ведущих ученых в области MAC-технологий, под руководством которого разработаны методология O-MaSE и инструментальное средство *agentTool*, в работе [6] явно обозначил отсутствие прогресса в широком промышленном применении MAC. По его мнению, несмотря на более чем 20-летние усилия по разработке агентских технологий, сама область все еще находится на ранней стадии развития и не достигла достаточной зрелости, например, зрелости объектно-ориентированного подхода (ООП) в программировании, который появился в конце 1960-х годов (*Simula* в 1967) и в начале 90-х годов стал общепринятым. В [6] выделяется также ряд существенных недоработок в области теории и технологии MAC, которые, по его мнению, требуют уточнения. Они обсуждаются далее в разделе 4 данной работы. Автор [6] считает, что разработчики MAC, в первую очередь, должны продемонстрировать способность MAC-концепции и технологии создавать сложные адаптивные и самоорганизующиеся распределенные системы промышленного уровня, и именно это для MAC остается главным исследовательским вопросом до сих пор.

В 2013 году была опубликована заметная работа [4], в которой авторы тщательно проанализировали реальное состояние прикладных разработок в области MAC на тот момент. Общая идея этой весьма своевременной, а, возможно, даже несколько запоздавшей работы, сформулирована авторами уже в ее первых строках: *“В то время, как имеются убедительные свидетельства важности MAC и технологий как исследовательской области, остается неясным, какой практический эффект от нее имеется к настоящему времени.”*

Эта работа интересна в нескольких аспектах. Во-первых, она дает детальный обзор прикладных MAC, которые были разработаны к 2012-2013 гг., что позволяет оценить качество прогноза, данного на этот же срок в работе [3]. Во-вторых, в ней имеется интересная статистика, которая позволяет более глубоко проанализировать реальное состояние MAC-разработок различного уровня зрелости на это совсем недавнее время, а также выявить некоторые причины неудовлетворительного состояния таких разработок.

Обобщая сказанное выше о современном состоянии и ближайших перспективах в области индустриальных применений MAC и технологий, можно утверждать, что в этой области в настоящее время имеются негативные тенденции, тормозящие использование больших потенциальных возможностей MAC. По этой причине представляется важным выявить и проанализировать эти тенденции, а также оценить реальные перспективы MAC как информационной технологии индустриального уровня в ближайшем будущем.

2 Многоагентные системы как парадигма вычислений на основе взаимодействий

Агентом принято называть автономную компьютерную программу (систему), которая способна к целенаправленному поведению в динамической, непредсказуемо изменяющейся внешней среде. В этом определении агента в качестве его ключевых свойств выделяются *автономность* и *целенаправленность поведения*. Автономность агента понимается как его способность функционировать в интересах достижения поставленной цели *без вмешательства* человека или других систем и при этом осуществлять самоконтроль над своими действиями и внутренним состоянием.

Многоагентная система определяется как *сеть слабо связанных решателей частных проблем (агентов)*, которые существуют в общей среде и взаимодействуют между собой для

достижения тех или иных целей системы. Взаимодействие может осуществляться агентами либо прямым образом, путем *обмена сообщениями*, либо некоторым косвенным образом, когда одни агенты воспринимают присутствие других агентов через изменения во внешней среде, с которой они взаимодействуют. МАС может содержать несколько однотипных или разнотипных агентов, которые могут иметь общие и/или различные цели, могут быть распределенными по компьютерной сети, могут быть написаны на различных языках программирования и работать на различных операционных платформах. Существуют различные взгляды на то, какими свойствами должны обладать агенты и существуют различные их классификации. Однако для целей данной работы вполне достаточно введенных описаний агентов и МАС. Отметим, что именно так сформулированы понятия агентской программы и МАС в базовом документе [3].

Взаимодействие рассматривается в МАС как основной способ вычислений и координации поведения множества автономных программных или физических агентов. В соответствии с существующими стандартами агенты взаимодействуют между собой на языке высокого уровня, используя протоколы. Взаимодействие агентов, а значит, и их результирующее совместное поведение, может иметь различные цели. Агенты МАС могут взаимодействовать с целью *кооперативного решения* некоторой общей сложной или крупномасштабной задачи. В этом случае задача разбивается, например, пользователем на более простые относительно автономные задачи, которые поручаются разным агентам. В таком варианте взаимодействие агентов имеет целью координацию локальных решений для достижения некоторого требуемого качества решения задачи в целом. Эта координация может достигаться либо в полностью распределенном варианте, либо с той или иной степенью централизации, реализуемого агентом, специально выделенным для этих целей. Качество решения исходной большой задачи обычно оценивается с помощью некоторой глобальной функции полезности (англ. *global utility function*), значение которой зависит от локальных решений агентов.

Другой характер взаимодействия агентов реализуется в случае, когда каждый агент имеет свои цели, однако он по каким-либо причинам не в состоянии решить задачу самостоятельно, а потому вынужден прибегать к помощи других агентов. Это взаимодействие агентов тоже имеет цель коопeração, однако, в отличие от предыдущего случая, в этой ситуации агенту в коопeration может быть *отказано*, что определяется дополнительными соглашениями между агентами, которые принято называть *взаимными обязательствами* агентов (англ. *commitments*).

Если взаимные обязательства агентов относительно слабы, и они "помогают" друг другу не в ущерб собственным интересам, то такое объединение агентов в МАС называется *альянсом*. Если агенты объединяются в группы с достаточно сильными взаимными обязательствами, как правило, с тем, чтобы помочь друг другу выстоять в конкурентной борьбе с другими агентами и/или их группами, то такое объединение агентов принято называть *коалицией*. Агенты коалиции всегда имеют четко оговоренные условия, определяющие, в каких условиях и каким образом они помогают друг другу. Условия, при которых агенты коалиции прекращают помогать друг другу, также обычно четко оговариваются, и эти условия называются *соглашениями* (англ. *conventions*). Если группа агентов решает общую задачу и при этом она действует как один агент, то такое объединение агентов называется *командой*, и в случае такого объединения локальные цели агентов, формируемые динамически, всегда должны быть направлены на достижение общей цели команды.

Еще один тип взаимодействия агентов имеет место тогда, когда агенты не кооперируют-ся, а, наоборот, *конкурируют* друг с другом. В этом случае каждый агент имеет собственную цель и является, как принято говорить, *самозаинтересованным* (от англ. *self-interested*), или эгоистичным. Примеры таких моделей МАС дает электронная коммерция, процессы создания и функционирования виртуальных предприятий и др. При определенных условиях агенты могут как конкурировать, так и кооперироваться друг с другом, при этом они могут легко пере-

ходить от конкуренции к кооперации, и наоборот, что называется отношением *коопетиции* (coopetition - от англ. *cooperation + competition*).

Например, сотрудники виртуальной организации могут конкурировать за мелкие заказы, но сразу же объединяться, если появляется сложный заказ, который не может быть выполнен ни одним из них поодиночке.

МАС как одно из направлений в современных информационных технологиях формирует область исследований и разработок, в которой, с прагматической точки зрения, принято различать три основных направления с общей теоретической основой (рис. 1) [3]:

- агенты и МАС как *метафора концептуального проектирования* (с акцентом на модульность);
- агенты и МАС как *источник технологий* (с акцентом на взаимодействия как принцип вычислений и принятия согласованных решений);
- агенты и МАС как *средство имитационного моделирования* (с акцентом на *автономное поведение компонент, взаимодействующих на основе протоколов*).

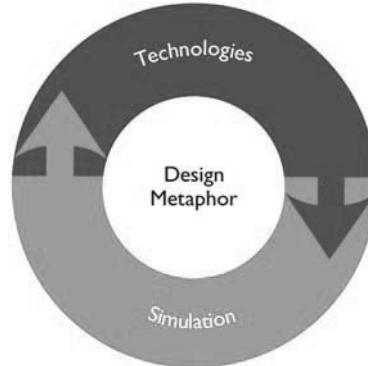


Рисунок 1 – Прагматика использования понятий агентов и МАС ([3])

Что касается теоретической основы этих трех направлений, то к настоящему времени предложены различные теории агентов и МАС, и каждая из них обладает своими выразительными возможностями, определяет сложность концептуальной модели агента и МАС. Обычно каждая теория агентов требует разработки специализированной технологии и инструментов для поддержки процессов проектирования приложений и их программирования. К числу наиболее распространенных моделей агентов и МАС относятся реактивные модели, логические модели, *BDI*-модели (от англ. *Belief-Desire-Intension*), поведенческие, биоинспирированные, самоорганизующиеся и другие модели. Естественно, что каждая из них имеет свои достоинства и недостатки, а самое главное – свою область приложений. Как хорошо известно, адекватный выбор модели по отношению к конкретному классу приложений является основным фактором, определяющим потенциальную успешность конкретной прикладной разработки¹. В разделе 4, посвященном анализу причин негативных тенденций в области индустриальных применений агентов и МАС, этот аспект обсуждается более предметно и детально.

3 2005 г.: Состояние прикладных разработок в области МАС и прогноз на 10+ лет

Предваряя анализ прикладных разработок в области МАС и технологий, авторы [3] пишут, что исследования и разработки в этой области к 2005 г. еще не достигли уровня зрелости, необходимого для их использования в индустриальных разработках (возраст примерно 20 лет

¹ Это естественное и как будто совершенно тривиальное утверждение, тем не менее, как показывает многолетний опыт, постоянно нуждается в напоминании.

на 2005 г.). В качестве аргумента они сравнивают возраст МАС-технологий и ООП, которое приобрело практическую значимость более чем через 30 лет. Например, ООП язык *C++* был создан через 32 года, а *JAVA* – через 39 лет после первых работ по ООП. Авторы также сетуют на слабость методологий для проектирования МАС, разработанных к тому времени, хотя с этим трудно согласиться.

Действительно, к этому времени было создано и уже достаточно длительно тестирулось несколько глубоко проработанных методологий МАС, например, *Gaia* [8], *Tropos* [9], *MaSE* [10], *ADELFE* [11], *MESSAGE* [12], *Prometheus* [13] и ряд других.

Другое дело, что на то время они еще не были поддержаны адекватными инструментальными средствами. Заметим, что отсутствие таких средств было не случайным: оно было следствием ряда принципиальных ошибок (об этом позже), допущенных в области теории агентов и МАС, о которых документ [3] ничего не говорит. Обратим внимание на то, что перечисленные методологии, относятся к числу самых ранних разработок в этой области (все они были созданы до 2003 г.). Следует заметить, что активность разработок в области методологий разработки агентов и МАС, а также инструментальных средств для поддержки их проектирования и программной реализации была достаточно высокой до 2005 года и в последующие несколько лет, когда было выполнено более десятка новых разработок. Однако большинство из них к настоящему времени постигла одинаковая участь: их разработки и тестирование прекращены, и только небольшое число методологий и инструментов демонстрирует свою жизнеспособность и в настоящее время (в списке выше они не указаны), но о них речь пойдет позже и особо.

В Таблице 1 приведены данные динамики прогноза разработок промышленных образцов МАС на период до 2015+ по различным прикладным областям [3]. Из данных этой таблицы видно, что в качестве наиболее перспективных областей использования МАС в то время рассматривались телекоммуникационные системы и сети, производственные системы, транспорт, здравоохранение, финансовая сфера, программное обеспечение и т.п. Общее число МАС промышленного уровня к концу периода прогнозировалось в количестве около 250 экземпляров.

Таблица 1 – Прогноз количества индустриальных разработок прикладных МАС на период до 2015+

	Наименование области приложения	Прогноз числа разработанных приложений по годам		
		2010	2015	2015+
1	Телекоммуникационные системы и сети	17	28	35
2	Производственные системы	15	27	35
3	Транспортная логистика	15	25	32
4	Здравоохранение	12	25	34
5	Электричество, газ, вода	10	17	25
6	Программное обеспечение	8	17	24
7	Финансы, страхование, недвижимость	10	17	24
8	Административные системы	6	12	21
9	Аппаратное обеспечение	3	9	12
10	Строительство	1	6	11

Однако, хотя в период после 2005 г. активность исследований и разработок в области МАС-технологий и средств их инструментальной поддержки не снижалась, практика показала, что этот прогноз оказался слишком оптимистичным. Реальные достижения в этой области оказались намного скромнее.

4 Прогноз и реальность на 2015+

В литературе можно найти сведения о нескольких сотнях МАС-приложений, разработанных в период 2005–2015 гг. в различных прикладных областях. Анализ состояния исследова-

ний и разработок в области индустриальных и других применений МАС и технологий с акцентом на тенденции в этой области проведен в ряде работ, среди которых наиболее заметными являются обзоры [4] и [7]. Далее используются, в основном, сведения и мнения, приведенные в первом из этих обзоров.

Работа [4] анализирует 152 различных приложения, сведения о которых получить автору. Сведения о них были либо предоставлены авторами разработок, либо почерпнуты из научной литературы. Важно отметить, что более половины проанализированных разработок в последующем, к сожалению, не были подтверждены авторами, так что их практическое использование или продолжение их разработок остается под вопросом [4].

Наиболее заметные и удачные разработки МАС-приложений разного уровня зрелости при различном соотношении автоматической генерации кода и ручного программирования были выполнены в областях управления производством, транспортной логистики, аэрокосмических приложений и в энергетике.

Сведения о некоторых из них приведены в Табл. 2, 3 и 4, соответственно [4, 7].

Анализ уровня зрелости этих и других разработок этого периода показал, что прогноз 2005 г. оказался излишне оптимистичным, причем нескольких аспектах. В нем, прежде всего, сильно переоценено общее число созданных промышленных образцов МАС, прогнозируемых к 2015 г.

По-иному распределились эти разработки и в зависимости от областей приложений, что, однако, неудивительно, поскольку после 2005 г. появились новые классы актуальных приложений, например, мобильные приложения и мобильные сервисы. Но, наверное, самым неожиданным оказалось то, что темпы появления новых разработок МАС-приложений стали постепенно замедляться. Этот факт отражает реальное падение интереса индустриальных компаний к МАС-технологии. Практика показала, что многие приложения, для которых МАС рассматривались как наиболее перспективная технология программной реализации [3], к 2013 г. были успешно реализованы с помощью других технологий. Среди них наиболее конкурентоспособными оказались сервис-ориентированные технологии, ГРИД-вычисления, автономные, повсеместные, облачные, туманные вычисления и др. Следует заметить, что эти технологии появились значительно позже, однако смогли быстро потеснить МАС – технологии.

Работа [4], в которой впервые явно прозвучали тревожные ноты относительно перспектив МАС-технологий в конкуренции с другими современными интеллектуальными информационными технологиями, появилась очень своевременно. Она, хотя и в излишне мягкой форме, отражала реальное отношение индустриального сообщества к перспективам МАС-технологий, и это отношение было в 2013 г. и остается сейчас явно не в пользу МАС. Заметим, что работа [4] отражает позицию специалиста в области МАС, который понимает, что к этому времени потенциал МАС пока не используется в полной мере. Но если бы она отражала позицию индустриальных разработчиков, то критика перспектив МАС-технологий была бы, скорее всего, гораздо более жесткой.

Таблица 2 – Примеры МАС разного уровня зрелости для управления производством

Назначение/Заказчик	Разработчик	Предметная область	Уровень зрелости
Production 2000+	Daimler Chrysler, Schneider	Управление производством	Промышленный образец
Car body painting	Daimler-Benz	Управление производством	Программный прототип
BHP Billiton	Rockwell	Управление технологическим процессом	Промышленный образец
Chilled Water System	Rockwell	Распределенное управление	Программный прототип

Cambridge packing cell	U. Cambridge	Управление производством	Лабораторный стенд
FABMAS	Technical U. of Ilmenau	Управление производством	Промышленный образец
PS-Bikes	Universita de Genova	Управление производством	Программный прототип
Axion-Holding	СПИИРАН-НПК «Разумные решения»	Планирование производства	Промышленный образец
Shop Modelarna Liaz	Certicon, Gerstner Laboratory	Планирование производства	Промышленный образец
SkodaAuto	Gedas, Certicon, Gerstner Lab.	Планирование производства	Промышленный образец
Agent Steel System	Saarstahl AG, DFKI Gmbh	Планирование производства	Промышленный образец
SDM Laboratory	Yokogawa	Управление оборудованием	Лабораторный стенд
NovaFlex	Uninova	Управление производством	Лабораторный стенд
ADACOR	Polytechnic Institute of Braganca	Управление производством	Лабораторный стенд
ABAS	Tampere U. of Technology, Schneider Electric	Управление производством	Лабораторный стенд
OntoReA	TU Wien, Rockwell Automation, COPA-DATA	Управление производством	Лабораторный стенд

Излишняя мягкость оценок перспектив МАС-технологий в работе [4] обусловлена еще и тем, что основными источниками информации о разработанных и развернутых МАС-приложениях были сами авторы этих разработок. Таких было 103 из 202 приложений, данные о которых рассматривались в качестве исходного материала для анализа в [4], хотя, понятно, что в реальности авторы, в силу субъективизма, всегда склонны несколько переоценивать качество и уровень собственных разработок.

Кроме того, нельзя не отметить, что ряд научных разработок в литературе был заявлен авторами как полноценные промышленные системы, хотя на деле они представлял собой всего лишь первые пилоты или исследовательские прототипы.

Таблица 3 – Примеры МАС разного уровня зрелости, созданные для управления логистикой

Назначение / Заказчик	Исполнитель	Предметная область	Применение
Air Liquide America	NuTech	Оптимизация логистики	Промышленный образец
Tankers International	Magenta	Планирование логистики	Промышленный образец
Airport ground service operations	Airbus, EADS, Cologne University of Applied Sciences, Группа компаний «Генезис знаний»	Управление работой наземных служб аэропорта, служб питания на борту, расписанием полетов авиакомпаний в реальном времени с использованием RFID	Программный прототип и лабораторный стенд
Taxi scheduling / Addison Lee	Magenta	Планирование в реальном времени	Промышленный образец

Rent-a-car scheduling and optimization / Avis	Magenta	Планирование и оптимизация в реальном времени	Промышленный образец
Transportation orders consolidation, routing and scheduling / GIST	Magenta	Консолидация, маршрутизация и планирование паллет в реальном времени	Промышленный образец
Trucks scheduling/Prologics	НПК «Разумные решения»	Планирование грузоперевозок с полной загрузкой (в реальном времени)	Промышленный образец
Southwest Airlines	BiosGroup	Оптимизация работы наземных служб	Промышленный образец
ABX Logistics	Whitestein	Транспортная логистика в реальном времени	Промышленный образец
MAST	Rockwell	Динамическая маршрутизация товаров	Моделирование, Лабораторный стенд
MAS-RFiD	U. of Castilla-La Mancha	Управление логистикой	Моделирование
MASDIMА	TAP, LIACC	Адаптация работы авиалиний	Лабораторный стенд

Таблица 4 – Примеры МАС для аэрокосмической отрасли и энергетики

Назначение / клиент	Разработчики	Предметная область	Применение
NASA airspace satellites	NASA	Управление запросами спутников	Промышленный образец
PKK "Энергия"	НПК «Разумные решения»	Динамическое перепланирование полетов и грузопотока МКС, поддержка принятия решений по управлению сменами ГОГУ, нештатным и аварийным ситуациям, программам научных экспериментов	Промышленные образцы
Aerogility	LostWax	Интеллектуальная поддержка принятия решений	Моделирование
Turkey energy forecast	KKK Per. Bsk.	Прогнозирование потребности в энергии	Моделирование
California Energy Commission	AESC, Acronymics	Координирование и планирование	Промышленный образец
Large urban area	Rockwell	Обработка воды	Моделирование

Обратимся к результатам анализа прикладных разработок в области МАС, приведенным в [4]. После предварительного изучения исходного множества МАС-приложений, информация о которых была предоставлена разработчиками или найдена авторами работы [4] в научной литературе, для анализа было отобрано 152 разработки. Эти разработки анализировались с различных точек зрения. Рассмотрим некоторые из них.

- 1) *Зрелость разработки.* По этому свойству все разработки разделены на 3 группы:
 - промышленные системы или близкие к ним (их оказалось 46 из 152);
 - исследовательские *программные прототипы промышленного уровня*, которые тестировались на реальных данных, но не были использованы в реальной работе (55 из 152), а также

- лабораторные исследовательские прототипы (*пилоты*), которые использовались в учебных исследовательских, и других аналогичных целях (46 из 152).
Про остальные 5 разработок достоверная информация у авторов [4] отсутствовала.
- 2) *Тип коллектива разработчиков*. По этому свойству все разработки разделены также на 3 группы:
- индустриальные компании (43 из 152, из них 26 разработок отвечают промышленному уровню зрелости),
 - университетское сообщество (37 из 152, из них только 4 разработанные системы отвечают промышленному уровню зрелости) и
 - смешанные коллективы, когда в разработках принимали участие одновременно сотрудники обоих сообществ, названных выше (58 из 152, из которых 16 разработок соответствуют промышленному уровню зрелости).
- Про остальные 14 разработок достоверная информация у авторов [4] отсутствует.
- 3) *Тип агентского приложения*. По этому свойству выделено 3 типа разработок:
- МАС (таких 125 из 152),
 - автономные агенты (14 из 152),
 - интерфейсные агенты (11 из 152).

Для двух разработок тип агентского приложения авторам [4] неизвестен.

Результаты анализа, приведенные в [4], показывают, что активность использования МАС-технологий в реальной жизни оказалась намного ниже прогноза, данного в [3]. Действительно, вместо ожидаемых примерно 200-250 приложений промышленного уровня, к 2015 г. в реальности было разработано всего лишь 46, и при этом по некоторым из них информация о том, что они практически используются после 2013 г., не была подтверждена публикациями. Индустриальное сообщество формирует меньше трети общего интереса к МАС-приложениям (43 из 152 приложений), а основная активность в этой части формируется научным сообществом, т.е. специалистами в области многоагентных систем, субъективно заинтересованными в расширении области применимости МАС-технологий.

Важным показателем тенденций этого периода является активное использование в это время методологий и инструментальных средств разработки МАС-приложений. Примерно в 72% случаев авторы разработок использовали ту или иную методологию и/или программный инструментарий. Это косвенно отражает тот факт, что МАС-приложения в этот период разрабатывались, главным образом, для тестирования методологий и инструментальных программных систем, и, скорее всего, не были инициированы потребностями индустриальных разработчиков. Это подтверждается тем фактом, что в большинстве случаев разработкой методологии и разработкой приложений с использованием соответствующих методологий занимались одни и те же научные коллективы. Это как раз отражает активность исследований и разработок в области методологий МАС и инструментальных программных систем в период 2005-2015 гг., что уже отмечалось в начале данного раздела.

Что касается предпочтительных языков программирования, то в 82% случаев в качестве базового языка программирования использовались такие стандартные языки как *Java* (55%), *C/C++/C#* (15,6%), *PHP* (7,3%) и *Python* (4,1%).

Среди стран, которые вели и ведут наиболее активные исследования и практические разработки промышленных МАС, лидерами являются США (12 приложений промышленного уровня из 46), Великобритания (6), Испания (5), Германия (4), Италия (4), Чехия (3), Австралия (2), Россия (2), Швеция (2), Швейцария (2), Франция (1), Голландия (1), остальные страны (2). Важно, однако, заметить, что разработчики США, Австралии и России, на которых приходится треть всех успешных индустриальных разработок МАС (они находятся в активной эксплуатации вплоть до настоящего времени), не используют модели, методологии и программные инструменты, воспринимаемые мировым научным сообществом как наиболее передовые и перспективные. Они используют самые простые модели, например, реактивные и поведен-

ческие, не используют стандартный достаточно сложный *ACL*-язык коммуникаций агентов, принятый FIPA [14], не используют стандартную FIPA-архитектуру агентской платформы [15], а также опираются на собственные механизмы принятия решений агентами.

Интересно отметить, что прогноз по типам приложений, которые по мнению авторов документа [3] будут представлять наибольший интерес для разработчиков приложений, в целом оправдался. Как и предсказывалось, лидером в области использования МАС-приложений индустриального уровня остаются транспортная и производственная логистика (9 разработанных приложений), телекоммуникации (9 приложений), электронная коммерция (4), аэрокосмические (4) и военные приложения (3), энергетика (2) и управление бизнес-процессами (2). Неожиданными аутсайдерами в этом аспекте оказались системы в области здравоохранения (2), робототехники (2), в финансовой сфере (0), в области административного управления (0), и в ряде других классов приложений, которым в [3] предсказывались гораздо лучшие перспективы.

Основные выводы, которые можно сделать из материалов данного раздела, состоят в следующем:

1. МАС - технологии развиваются гораздо сложнее, медленнее и труднее, чем это хотелось бы научному сообществу, и чем это необходимо индустриальному сообществу. Немало способствует этому и сложившаяся система финансирования научных грантов в Европе, которая требует от исследователей не "стоять" долго в области конкретных технологий, но развивать новые направления и решать конкретные прикладные задачи общеевропейского масштаба. Поэтому одинаково конкурентными оказываются как технологии широкого применения, например, МАС, нейросети (англ. *neuronets*), повсеместные вычисления (англ. *ubiquitous computing*), туманные вычисления (англ. *fog computing*) интеллектуальное окружение (англ. *ambient intelligence*) и т.п., так и весьма частные технологии типа нечеткой логики (англ. *fuzzy logic*), генетических алгоритмов (англ. *genetic algorithms*), муравьиных алгоритмов (*ant colony*) и т.п.

2. Основные исследования и разработки ведутся, в основном, в научном сообществе. Индустриальные компании, которые на начальном этапе были, по сути, инициаторами МАС-разработок и ранее играли ведущую роль в стимулировании и финансировании разработок в области МАС, в настоящее время, фактически полностью ушли от поддержки этих разработок. К ним относятся Motorola, Siemens и др. компании. Некоторые компании, например, IBM, Daimler, NASA, Google активно используют агентов как часть своих разработок, но не называют их агентскими и не акцентируют внимание на агентских компонентах своих разработок. Ряд компаний (British Telecom, например) снизил объемы агентских разработок [4]. Вместе с тем, на рынке появляются новые промышленные компании (Rockwell, DHL и др.), которые пытаются активно использовать МАС-технологии.

3. Интерес индустриального сообщества к использованию МАС и МАС-технологий к настоящему времени значительно снизился. При этом наблюдается высокая скрытая турбулентность, перегруппировка и перестройка зарождающегося рынка интеллектуальных информационных систем и технологий. На этом рынке МАС и МАС-технологии реально имеют много конкурентов, и эти конкуренты активно предлагают свои решения для приложений, которые изначально относились к компетенции МАС, вытесняя тем самым последних с этого рынка или не давая им быстро захватить новые сегменты.

Очевидно, что в настоящее время МАС и технологии во многом еще пока проигрывают своим конкурентам а рынке интеллектуальных информационных технологий индустриального уровня. Но, с другой стороны, очевидно также и то, что в последние годы постоянно расширяется *число новых ниш и новых классов приложений*, в которых имеются большие перспективы для агентов и МАС. Поэтому представляется важным выяснить причины, которые в настоящее время тормозят практическое использование огромного потенциала, которыми МАС и МАС-технологии, бесспорно, обладают. Это вопрос рассматривается в следующем разделе.

5 Что мешает практическому использованию огромного потенциала МАС?

Наверное, самое ценное, что в настоящее время реально предложила теория и практика МАС, это концептуализация сложных систем и задач, которые ими решаются. Именно естественная и понятная концептуализация модели и архитектуры программной реализации систем практически любой сложности привлекает внимание и исследователей, и разработчиков приложений. Если проанализировать литературу по многоагентным системам, а также тематику докладов на ведущих конференциях по МАС, то можно видеть, что подавляющая часть их посвящена концептуальным моделям приложений и архитектур их программной реализации. Следует заметить, что эта тенденция наблюдается и в настоящее время, хотя и не так очевидно, как это было примерно до 2010 г. На этом этапе разработки приложений МАС предлагают понятный и привлекательный вариант проектирования и здесь все смотрится весьма перспективно.

Однако уже на следующем этапе, когда на основании концептуальной модели нужно построить формальную модель агента, построить архитектуру программно – коммуникационной среды, с помощью которой взаимодействуют агенты, а также описать язык общения агентов, все оказывается, мягко говоря, несколько сложнее, и причины этого нельзя назвать объективными. Сложность шага формализации модели и архитектуры МАС многократно возрастает. Решения, которые были предложены² для этого этапа специалистами в области формальных моделей, практически отторгаются теми, кто заинтересован в их практическом использовании.

Рассмотрим этот и другие аспекты теории МАС аспект несколько подробнее.

5.1. Отсутствие общепринятого понимания ключевых понятий МАС. На это указано еще в работе [6]. Отсутствие четких определений и соглашений по основным понятиям в области МАС сильно затрудняет взаимопонимание между исследователями и разработчиками. Например, большинство профессионалов в области компьютерных технологий согласны с определениями основных концепций ООП, такими как классы, объекты, наследование, инкапсуляция. Они легко оперируют этими понятиями на практике. В то же время специалисты в области МАС имеют различное понимание таких понятий, как агент, роль, переговоры, план, возможность и другие. Реальная проблема в области МАС состоит в том, что необходимо уточнить содержание этих базовых понятий и согласовать их взаимоотношения со сходными концепциями ООП, которые также используются в области программирования агентов и МАС.

5.2. Отсутствие общепринятой нотации для представления моделей МАС и их компонент. Поскольку еще не сформулировано даже содержание общепринятых определений агентских понятий и их взаимосвязей [6], то отсутствие общей нотации для их описания и описания отношений на их множестве не позволяет исследовать различные модели МАС на практике. Например, после перевода в общую нотацию, удалось найти много схожих свойств в методологиях *O-MasE* [16] и *Prometheus* [13]. Стандартизация моделей и способов их представления очень желательны, поскольку при отсутствии согласованных концепций существует опасность неадекватных оценок новых многообещающих подходов в области МАС-технологий.

5.3. Концептуальная и вычислительная сложность логической формализации BDI-модели агента и МАС на основе этой модели. Почти два десятилетия основные усилия исследователей в области теории МАС были направлены на разработку моделей интеллектуальных агентов. Уже в самом начале этих исследований был сформулирован ряд свойств, которыми должен обладать агент. В этом контексте каждый отдельный агент рассматривался как интеллектуальная сущность с собственной развитой базой знаний, или, по крайней мере, моделью знаний, средствами целеполагания и механизмами планирования целенаправленного поведения в неизвестной внешней среде. Эта точка зрения достаточно активно пропагандировалась в течение многих лет. Можно сказать, что специалисты в области описания формальных моделей, “соревновались” в том, чтобы обеспечить агента все новыми и новыми интеллектуальны-

² Возможно, правильнее было бы сказать, что эти решения были навязаны прикладникам.

ми возможностями в части автономного поведения вплоть до способности определять намерения других агентов. Естественно, что простыми средствами столь мощные интеллектуальные возможности агента описать и реализовать невозможно, что приводило к постоянному усложнению формальной модели агента и MAC.

С самого начала развития теории агентов и MAC в качестве базовой формальной модели интеллектуального агента была выбрана *BDI*-модель (*BDI* от англ. *Belief–Desire–Intention*, *Убеждение–Желание–Намерение*) [17], в которой знания, убеждения, намерения и механизмы рассуждений описываются в терминах исчисления предикатов, расширенного модальными и темпоральными операторами.

Большинство специалистов и в настоящее придерживаются понятий *BDI*-модели агента в MAC и их логической формализации. Однако эта модель, с одной стороны, определенно сложна для понимания и является существенным барьером в интерпретации базовых понятий MAC [6], включая понимание самого термина *BDI*. По мнению автора работы [6] необходимо сосредоточиться на интерпретации тех понятий MAC, которые акцентируют внимание не на способах формального представления модели агента и MAC, а на понятиях, существенных для описания агентов и MAC как средств концептуализации и технологии разработки распределенных систем, использующих принципы самоорганизации. Такими понятиями для *BDI*-архитектуры являются, например, поведенческие и мотивационные свойства агентов.

Важно отметить, что сама по себе *концептуальная основа BDI*-модели достаточно естественна и убедительна. Суть ее состоит в том, что эта концепция оперирует двумя типами понятий: *ментальными* и *поведенческими*. К *ментальным* понятиям относятся *события*, *убеждения*, *цели* и *взаимные убеждения*. *События* отражают (представляют формально) то, что происходит в реальном времени с агентами или объектами внешнего мира. Они имеют в качестве атрибутов *тип события* и *имя агента*, генерирующего событие, или агента, с которым событие ассоциировано. *Убеждения* – это знания агента о *внешнем мире*, а именно утверждения, в истинности которых агент убежден в текущий момент времени. Но они, во-первых, могут изменяться во времени и, во-вторых, могут быть неверными с самого начала или стать таковыми в некоторый момент времени. В этом их отличие от знаний. *Цели* – это некоторые состояния агента, которые он стремится достичь. Эти состояния называются целевыми состояниями агентов. Поскольку агенты могут обмениваться знаниями и часто должны координировать свое поведение, то важным понятием рассматриваемой модели является понятие *взаимных убеждений* агентов. *Взаимные убеждения* агентов складываются из убеждений группы агентов. Поскольку разные агенты могут иметь различные убеждения, то *взаимные* их убеждения – это та часть индивидуальных убеждений, в которых сходятся все агенты группы.

К поведенческим понятиям *BDI*-модели агента относятся *индивидуальные обязательства* и *соглашения* агента, его *индивидуальные намерения*, а также *общие* (коллективные) *обязательства* и *намерения* команды агентов. *Индивидуальные обязательства* агента – это цели (состояния, подцели дерева целей), которые он должен достигнуть в соответствии теми задачами из общего множества задач агентов, которые агент взял на себя. *Индивидуальное намерение* (англ. *intention*) агента – это, обычно, конкретное *действие*, которое он собирается выполнить для достижения индивидуальной цели. *Соглашениями* называются условия, при выполнении которых агент может отказаться от своих индивидуальных обязательств. В зависимости от типа кооперации (альянс, коалиция или команда), эти соглашения могут быть более жесткими или менее жесткими. Например, если MAC является командой агентов, то эти соглашения определяются однозначно и являются достаточно жесткими [18]. Перечисленные понятия могут быть положены в основу верхнего (предметно-независимого) уровня онтологии MAC. Один из примеров онтологии поведенческих понятий *BDI*-модели агента и MAC можно найти в работе [19].

Если обратиться к истории развития искусственного интеллекта, то можно вспомнить, что в нем в течение достаточно долгого периода господствовали логические языки представ-

ления знаний и логический вывод в качестве механизма рассуждений³. Можно легко увидеть большую аналогию этой истории с тем, что происходило и, к сожалению, все еще происходит в настоящее время в области теории агентов и MAC.

Действительно, были попытки использовать логическую формализацию понятий, представляющих *BDI*-концепцию агента и MAC, т.е. описать ментальные понятия агента и модель их распределенного взаимодействия в терминах исчисления предикатов первого порядка (ИП-1). Однако достаточно быстро было обнаружено, что выразительные возможности ИП-1 недостаточны, для описания моделей ментальных понятий агентов. Приведем простой пример.

Пусть выражение $[q / p]\varphi$ означает, что формула $[q / p]\varphi$ получена из формулы φ путем подстановки в нее подформулы q вместо подформулы p (в каком-то числе случаев ее вхождения в формулу φ), и при этом подформулы P и q имеют одинаковые истинностные значения во всех интерпретациях. В классической логике всегда будет справедливо

$$|= (p \leftrightarrow q) \rightarrow \varphi \leftrightarrow [q / p]\varphi,$$

где символ $=$ трактуется как отношение, сохраняющее истинностное значение. Это свойство принято называть экстенсиональностью⁴. Содержательно оно означает, что истинность формулы φ не изменится при использовании любого количества подстановок подформулы q вместо подформулы P , если обе они имеют одно и то же истинностное значение. Однако это свойство делает невозможным адекватное описание свойств ментальных понятий и их взаимосвязей. Покажем это на простом примере из области футбола роботов [20].

Пусть в убеждениях агента истинны такие факты:

1. P : "мяч находится у своего игрока",
2. C : "мячом владеет своя команда" и
3. q : "у меня мяча нет".

Очевидно, что истинной является также формула " C поскольку P ", где бинарный предикат "поскольку" является одним из конструктивов, который может использоваться в схемах рассуждений с ментальными понятиями. Если в последней формуле использовать подстановку истинной подформулы q вместо истинной подформулы P , то в результате получается формула " C поскольку q " ("мячом владеет своя команда" поскольку "у меня мяча нет"), про истинность которой уже ничего определенного утверждать нельзя. Таким образом, предикат "поскольку" не является экстенсиональным, а потому не может быть представлен в языке классической логики. Таких примеров можно привести много [20]. Заметим, что описываемая проблема имеет семантический характер.

Слабые выразительные возможности ИП-1 были преодолены за счет его обогащения модальными и темпоральными операторами. А далее все получилось по аналогии с продвижением логической модели в области искусственного интеллекта. Аналогия эта состоит в активном продвижении логической модели, обогашенной модальными и темпоральными операторами в качестве базовой модели агента и MAC. Именно эта модель и получила название *BDI*-модели.

Но эта модель даже теоретически намного сложнее ИП-1, и надеяться на ее практическую приемлемую эффективность вряд ли можно. Заметим, что в модели *BDI*-агента взаимодействие агентов предполагается, в основном, на уровне простых диалогов. Это означает, что аген-

³ Одним из примеров является печально знаменитый японский проект вычислительных машин пятого поколения, который опирался на логический язык Пролог, и который полностью провалился уже в 1980-е годы.

⁴ Термин происходит от английского слова *extension*, который переводится как *расширение*. Здесь он применяется в смысле расширяемости логики за счет использования подстановок указываемого далее типа.

ты должны быть настолько “интеллектуальными”, чтобы самостоятельно строить модели других агентов и модель внешней среды для принятия решений, что на практике оказалось невозможным. Кроме того, такой подход означает отказ от сути многоагентной парадигмы, которая формулируется как вычисления на основе взаимодействий.

В итоге результат активного продвижения логической формализации *BDI*-модели получился ожидаемым: как и логическая модель искусственного интеллекта, она породила много новых математических проблем и интересных задач в области неклассических логических исчислений, что сильно способствовало развитию соответствующих разделов математики. Но это совсем не способствовало созданию практически реализуемых моделей и технологий в области МАС. Более того, это затормозило практическое использование МАС технологий на десятилетие, как минимум. Действительно, в настоящее время имеется глубоко разработанная логическая теория *BDI*-модели агента, которая теоретически позволяет строить агентов высокого уровня интеллектуальности, способных к планированию целенаправленного поведения и автономному принятию решений, к распределенной координации поведения в достаточно сложных ситуациях. Но эти возможности отвечают уровню теорем существования в математике, так что при попытках практического использования логической модели *BDI*-агента уже для относительно простых приложений возникают серьезные проблемы, главным образом, проблемы вычислительной сложности. Даже для простых МАС-приложений модели знаний агентов получаются чрезвычайно громоздкими, а механизмы рассуждений, использующие вывод в логических исчислениях с модальными и темпоральными операторами, – совершенно неподъемными. Ярким примером подобной ситуации являются *BDI*-модели коллективного поведения роботов, которые активно финансировались DARPA в течение почти десятилетия. В конце 1990-х годов они рассматривались сообществом специалистов в области многоагентных систем как самые значительные (англ. *influential*) достижения [21, 22]. Эти работы достаточно детально проанализированы в [23]. Однако на практике эти результаты демонстрировались авторами на очень простых примерах. В начале 2000-х оба эти проекта были закрыты. Можно сказать, что хорошую модель коллективного поведения агентов в автономной миссии погубила модель *BDI*-агента с использованием модальных и темпоральных операторов.

Однако в это время, хотя и на вторых ролях, развивались и другие модели агентов (о них речь пойдет позже). И именно эти модели, главным образом, были использованы в большей части тех приложений, которые рассматриваются как успешные в [4], [7] и в ряде других обзоров по практическому использованию МАС и соответствующих технологий. Два таких примера приводятся в конце раздела 5.

5.4. Стандарты FIPA (англ. Foundation for Intelligent Physical Agents). Поскольку парадигма и технология МАС выросли из научного направления, которое называлось распределенный искусственный интеллект и которое имело целью решение практических задач, то вопрос о стандартах стал темой исследований еще в середине 1990-х годов, когда была создана общественная организация FIPA. В задачи этой организации входило научное обоснование стандартов в области МАС-технологий. Но поскольку FIPA была создана тем же научным сообществом, которое продвигало в практику логическую модель *BDI*-агента и МАС, то эта же модель рассматривалась FIPA в качестве базовой модели МАС и при разработке стандартов.

Например, язык коммуникации агентов *ACL* (англ. *Agent Communication Language*) [14] в этом стандарте использует весьма сложный язык для описания содержания сообщений, которыми обмениваются агенты. Предшественником этого языка был язык *KQML* (*Knowledge Query and Manipulation Language*). Разработка этого языка началась еще в 1970-е годы, когда он позиционировался как язык представления знаний в системах искусственного интеллекта с исчислением предикатов в своей основе. Современная его версия, получившая название *ACL*, представляет собой достаточно мощный и выразительный язык интерпретирующего типа, который манипулирует понятиями онтологии и способен представлять содержание сообщений, которыми обмениваются агенты, на языке, близком к естественному языку. Но он привносит в

стандарт все черты логической модели *BDI*-агента со всеми вытекающими отсюда последствиями из-за проблем вычислительной сложности и большой загрузки каналов связи. С другой стороны, он труден для понимания и использования разработчиками приложений, а свобода, которую язык *ACL* предоставляет разработчикам в модификации компонент синтаксической оболочки этого языка (так называемых перформативов), используется, главным образом, в исследовательском сообществе специалистов.

На практике же в большинстве случаев оказывается возможным обойтись значительно более простыми специализированными языками. Примером специализированного языка является язык обмена сообщениями, принятый в сервере RoboCup [24]. Он использует только необходимые и достаточные средства общения агентов и поэтому достаточно эффективен. Например, для двух команд симуляционного футбола по 11 агентов каждая оказывается достаточным обычного персонального компьютера выпуска 2004 года для того, чтобы реализовать интенсивный обмен сообщениями между агентами команд в режиме реального времени. Совсем другой, более простой и прагматичный язык используется в модели MAC, предложенной сначала в инструментах компании *Magenta*, а затем развитый (теми же разработчиками) в инструментах Группы компаний «Генезис знаний» и НПК "Разумные решения" [25, 26], где для представления текущих знаний активно используется понятие *сцены (модели ситуации)* как хранилища сведений о сети потребностей и возможностей (ПВ-сети) в окружающем мире.

Иная модель обмена сообщениями по сравнению со стандартом FIPA используется также в программном инструментарии *Cougaar* [27], который разработан в США по проекту DARPA для его использования в военных приложениях. В нем обмен сообщениями поддерживается архитектурой доски объявлений, на которой агенты предлагают свои сервисы (доступные другим агентам как подключаемые модули) и ищут необходимые им сервисы по мере необходимости. При этом доска объявлений значительно расширяет множество доступных сервисов за счет доступности веб-сервисов в соответствии с *UDDI*-протоколом [28]. Эта возможность реализуется специальной компонентой доски объявлений, которая называется *сервлет*. Она поддерживает коммуникации с объектами Интернет по *http*-протоколу. Этот сервис доступен для использования всеми подключаемыми модулями узла. Отметим, что сервлет может возвращать данные в форматах *HTML*, *XML*, серии *Java*-объектов и бинарных данных.

Важно подчеркнуть, что модели агентов и MAC, предложенные в инструментах компаний *Magenta* и *Cougaar*, оказались наиболее успешными в части индустриальных разработок. Можно также заметить, что все перечисленные инструменты не используют стандартную платформу FIPA.

К большому недостатку FIPA-стандартов следует отнести также и то, что спецификации FIPA вообще не рассматривают проблемы *параллельного программирования*, хотя MAC – это концепция, изначально ориентированная на параллельные вычисления.

5.5. Отсутствие гибких промышленных методов и технологий для разработки MAC-приложений. В работе [6] отмечается, что разработчики промышленных многоагентных систем сталкиваются с множеством агентских методологий и в большинстве случаев с отсутствием программных инструментов их поддержки. Это, возможно, связано с тем, что новые методологии являются недостаточно гибкими и трудными для распространения на широкие области применений. В большинстве инструментов агенты служат только для дополнительной переупаковки объектов при помощи ООП, что дает некоторые преимущества, но значительно снижает возможности агентского подхода. Поэтому насущной задачей является интеграция существующих методологий разработки и инструментов их поддержки в единую хорошо определенную технологию.

Одной из причин современного кризиса в области MAC и технологий является ошибочная стратегия в области методологий и средств разработки MAC. С самого начала исследователи в области MAC придавали большое значение созданию методологий проектирования и программной реализации MAC, причем в период 2005-2010 гг. эти исследования и разработки

велись наиболее активно. В этот период общее мнение состояло в том, что хорошая методология разработки и мощное средство инструментальной поддержки ее программной реализации позволяют в значительной степени автоматизировать процесс создания прикладных МАС промышленного уровня, так что их создание можно будет поставить на поток.

В период до 2010 г. было разработано более десяти методологий проектирования и разработки МАС, если не считать большого количества других менее значимых разработок в области методологий, которые привнесли мало нового. К числу наиболее перспективных и наиболее обоснованных методологий следует отнести такие методологии как *Gaia* [8], *Tropos* [9], *MaSE* [10], *ADELFE* [11], *MESSAGE* [12], *Prometheus* [13], *SADDE* [29] и ряд других. Большинство разработок в области методологий МАС сопровождалось также созданием инструментальных программных средств их поддержки (см., например, [30]). Эти средства использовали либо авторскую методологию разработки, либо одну из списка приведенного выше, которые в сообществе специалистов считались передовыми. Например, к этому времени были разработаны такие средства как *agentTool* [31], *Zeus* [32], *agentBuilder* [33], *PASSI* [34], *MASDK* [35] и ряд других.

Все эти инструменты для своей разработки потребовали длительных усилий больших коллективов высокопрофессиональных исследователей, разработчиков, программистов и тестеров. Обычно на разработку и тестирование методологии и поддерживающего ее программного инструментария уходило не менее 10 лет.

Как правило, передовые методологии этого периода использовали концепцию разработки, управляемую моделью (англ. *model-driven engineering*). В методологиях такого типа концептуальная модель прикладной МАС, формальные модели ее стандартных компонент (модели агентов, онтологии, протоколов, сообщений и пр.), а также модели взаимодействия компонент и архитектура целевого программного продукта описывались на некотором формальном языке, при этом предпочтение отдавалось графическим языкам.

Такой формальный язык должен был автоматически поддерживать непротиворечивость моделей компонент системы разного уровня абстракции и генерацию протоколов взаимодействия агентов системы. Предполагалось, что формальная модель приложения, построенная таким способом, далее будет компилироваться в код программы на языке высокого уровня (например, в код C++, Java или в код другого языка аналогичного уровня). После этого система должна была дополняться компонентами, для которых код может быть написан только вручную (это касалось "не агентских" компонент). Полученный высокоуровневый код должен был после этого компилироваться в исполняемый код.

Нетрудно видеть, что инструментальная поддержка подобной методологии проектирования и программной реализации МАС-приложений оказывалась достаточно "тяжелой" и сложной, особенно в тех случаях, когда использовалась логическая модель *BDI*-агента и МАС. Как правило, методологии и инструментальные средства опирались на стандарты FIPA. По этой, а также по ряду других причин добиться желаемой эффективности методологии разработки и программной реализации приложения, так же, как и вычислительной эффективности целевого приложения, не удавалось. В итоге такой методологический и инструментальный подход, за некоторыми редкими исключениями, себя не оправдал. Только отдельные программные прототипы удавалось с его помощью довести до экспериментальных образцов.

Эта стратегия разработки прикладных МАС активно пропагандировалась и практически использовалась в период (2005-2015+) гг. В литературе можно найти сведения о нескольких сотнях МАС-приложений, разработанных в этот период в различных прикладных областях (см. также табл. 2-4 в разделе 3 данной работы). Но среди этих разработок большинство не получило последующего развития и применения на практике, и их разработка была прекращена. Та же судьба к настоящему времени постигла и большинство методологий и поддерживающих их инструментальных программных средств: разработка и поддержка большей части из них в настоящее время прекращена, поскольку эти разработки не привели к прорыву в об-

ласти индустриальных применений МАС и технологий. Повторим, что основной причиной этого, наряду с рядом других причин, является неверный выбор базовой модели агента и МАС, который был поддержан "тяжелыми" стандартами FIPA.

5.6. Позиционирование МАС и МАС-технологий в прикладных областях. Как уже отмечалось ранее, существует много классов приложений, которые ранее позиционировались как приложения, для которых модель, архитектура и технология МАС являются наиболее перспективными по сравнению с другими технологиями. Однако практика показала, что многие из них уже давно имеют удачную программную реализацию индустриального уровня с помощью других технологий, в то время как их многоагентные реализации, либо явно проигрывают таким реализациям, если они имеются, либо эти приложения к настоящему времени вообще не имеют агентской реализации. Причиной такой ситуации является то, что с самого начала МАС рассматривалась как достаточно универсальная ИТ-парадигма и технология, однако практика показала, что это явно не так.

К настоящему времени область применений МАС и технологий, в которых они имеют неоспоримые преимущества, фактически не определена и еще только складывается. Перечисление классов потенциальных приложений в [3] базировалось, в основном, на поверхностных ассоциациях и потому было неубедительно. В этом документе, скорее, перечисляются те прикладные области, в которых агентские технологии могут быть использованы, причем наряду с другими областями. В результате более зрелые технологии оказались в ряде случаев более успешными, что способствовало утверждению негативных мнений о МАС-технологиях и снижению интереса индустриального сообщества относительно их возможностей.

Вместе с тем, можно привести много различных прикладных задач в самых разных областях, в которых МАС-технологии являются единственным вариантом технологии разработки на множестве всех существующих технологий. К ним относятся задачи, которые решаются в распределенном варианте с применением методов распределенного решения задач на базе принципов самоорганизации и эволюции. В таких задачах классические модели, методы и средства оптимизации быстро "захлебываются" в переборе вариантов, а МАС-технологии оказываются способными строить хотя бы допустимые решения. И эту область приложений следует очертить заранее.

Примером такой задачи, например, в производственной логистике может быть построение согласованных производственных планов и сменно-суточных заданий рабочих в десятках цехов крупного машиностроительного предприятия с миллионами сборочных операций в день. Аналогичной задачей является составление железнодорожных расписаний на участках интенсивного движения сотен поездов. К такому же классу относятся задачи управления цепочками поставок для тысяч наименований товаров, движущихся с разной скоростью, и т.д. Примеры этих и других подобных промышленных приложений МАС с измеримыми результатами в части повышения эффективности работы предприятий подробно описаны в [35, 36]. Заметим, что формальные модели, используемые в них, свободны от большинства недостатков, перечисленных в данном разделе.

Можно утверждать, что для МАС-технологий пришла пора извлекать уроки и сузить возможный спектр применения от общесистемного применения в распределенных системах - к созданию действительно сложных адаптивных систем, реализуемых на основе принципов самоорганизации, для решения сложных, многокритериальных, плохо формализованных и вычислительно трудоемких задач в реальном времени, как например, управление ресурсами, распознавание образов, извлечение знаний и т.д. [38-41].

6 Перспективы развития индустриальных МАС - технологий

Несмотря на описанные негативные аспекты истории развития теории и технологии МАС, она вполне укладывается в классическую схему зарождения и выхода новой технологии

из лабораторий в промышленные применения, а этот процесс на практике никогда не бывает линейным. В начале своего развития в 1990-е годы на стыке объектного программирования, параллельных вычислений, телекоммуникаций и искусственного интеллекта (вспомним синие экраны Norton Commander в DOS и первые Интернет-модемы в то время) MAC стали вызовом в программировании и потребовали больших усилий выдающихся ученых и программистов для первых успешных разработок.

Несложно предсказать, что процесс развития любой технологии, тем более такой революционной по своей сути, как MAC-технология, будет и в дальнейшем весьма нелинейным. В этом процессе потребуется сделать еще много попыток его трансформации, успешных и безуспешных, прежде чем удастся сделать MAC-технологию продуктивной и коммерческой.

Помимо рассмотренных выше концептуальных и алгоритмических проблем, разработчики MAC часто встречаются и с не менее значимыми специфическими технологическими проблемами, которые свойственны системам, использующим *локальные механизмы* самоорганизации и эволюционные вычисления. Заметим, что именно эти механизмы являются базовыми при поиске решений в крупномасштабных задачах с оптимизацией управления объектами сетевой структуры, т.е. в той прикладной области, которая является для MAC-технологий наиболее перспективной. Так, в работах [38, 39] отмечается, что при создании MAC, решающих задачи распределения, планирования, оптимизации и контроля использования ресурсов на множестве объектов, формирующих сеть, зачастую возникают специфические эффекты и проблемы, затрудняющие поиск решения, которые перечисляются ниже:

- В условиях постоянных модификаций управления динамическим объектом, работающим в реальном времени, бывает очень трудно оценить, насколько текущее решение далеко от динамически изменяющегося "оптимального" решения, так что алгоритм управления обычно пытается лишь "догнать" этот оптимум и всегда опаздывает.
- Решение зависит от предыстории, например, от порядка наступления тех или иных событий, что обычно обусловлено динамикой объекта управления и нелинейностью как самого управляемого объекта, так и нелинейностью управления ("чувствительностью ко времени").
- За частую появляется "эффект бабочки", при котором малые изменения на входе системы приводят к неожиданным для наблюдателя большим изменениям на выходе, что обычно связано с переходом самоорганизующейся системы из одного локального оптимума (устойчивого состояния) в другой.
- Реакция системы может непредвиденно замедляться для наблюдателя в случае возникновения длинной цепочки изменений, вносимых в управление объектом; это обычно бывает обусловлено большим числом вариантов и экспоненциальным характером роста сложности вычислений на локальном участке или неконтролируемым расширением волны переговоров в зависимости от длины цепочки агентов, затрагиваемых изменениями.
- При повторном запуске системы с теми же самыми входными данными решение может оказаться другим; это обычно бывает обусловлено недетерминизмом параллельных асинхронных процессов и малыми флуктуациями решений или наличием в алгоритмах работы системы случайных механизмов выбора в эвристиках, используемых в процессе поиска "наилучшего" решения, что приводит к тому, что разные компоненты программы в разных реализациях получают иные входные данные.
- В силу динамики объекта управления решение, полученное с помощью эволюционного подхода, невозможно "откатить" назад, поскольку ситуация, как правило, при такой попытке будет уже иной.
- При попытках доработки управления вручную, например, при попытках изменить ручным способом расписание использования ресурсов, случаются непредвиденные для пользователя существенные изменения расписания как в калейдоскопе и т.д.

По возникновении каждой такой проблемы разработчикам на практике приходиться искать собственные решения, во многом зависящие от предметной области.

Наконец, как отмечается в [26, 40, 41], разработчиков МАС подстерегают и серьезные проблемы организационного, коммерческого и тому подобного характера, обусловленные конкуренцией на рынке информационных технологий:

- Разработки МАС в сфере управления часто вторгаются в самую "запретную" область принятия решений, критическую для бизнеса, где "все уже занято" (хотя в наличии обычно только учетные системы) или процессы принятия решений не formalизованы.
- Процесс поиска решений в МАС является распределенным, причем с акцентом на самоорганизацию, что на практике противоречит традициям иерархического управления и, что немаловажно, традициям проектирования систем по принципу "сверху–вниз", поскольку самоорганизующиеся системы разрабатываются по принципу "снизу–вверх" [42].
- Продажа инновационных разработок МАС требует глубокого участия предметных специалистов, а не только разработчиков, и занимает много времени (от 3 до 24 месяцев).
- Разработка МАС приложений, важных для бизнеса (по опыту крупных проектов), требует затрат сил и времени примерно в 3-5 раза больше, чем ожидается вначале.
- Объем разработки многоагентной системы управления ("движка") занимает не более 25% общего времени, в то время как все остальное время тратится на другие вопросы, связанные с учетом, базами данных, интерфейсом пользователя, интеграцией и т.д.
- Разработка первой версии многоагентной системы наиболее трудоемка и занимает от 3 до 6 месяцев (минимум) даже при наличии опыта использовании МАС-технологии.
- Внедрение МАС часто занимает больше времени, чем сама разработка, поскольку требует выявления и отработки правил принятия и согласования решений, а также ее интеграции с уже существующими информационными системами заказчика.
- Примерное соотношение затрат труда (%) по основным фазам проекта МАС разработки: проектирование — 10, разработка — 20, тестирование — 15, поставка, внедрение и обучение — 35, поддержка — 20.
- Разработанная система должна "выживать" в условиях постоянных ошибок пользователей, наличия неполных данных для проектирования, поступления неточных данных и т.д.
- Пользователи должны быть мотивированы на внедрение системы и в идеале премироваться как по результатам внедрения, так и по величине достигаемого повышения эффективности в работе, чтобы работать на одну цель с разработчиками.
- Пользователи должны иметь возможность вручную дорабатывать расписания, поскольку всегда остаются факторы, которые не представляется возможным учесть при автоматическом принятии решений в системе, и т.п.

Преодоление указанных проблем, безусловно, требует значительных усилий, но в случае успеха результаты окупают все вложения, обеспечивая следующие преимущества МАС:

- Позволяют создавать интеллектуальные системы нового класса для решения сложных проблем и дают результаты, сопоставимые с результатами работы специалистов.
- Повышают эффективность использования ресурсов, качество обслуживания, снижают затраты денег и времени, риски и штрафы в экономике реального времени.
- Решают сложные задачи и предлагают рациональные, пригодные на практике решения за счет перехода от полного перебора - к поиску конфликтов и их разрешению путем достижения компромиссов.
- Поддерживают работу в реальном времени с быстрой и гибкой реакцией на события.
- Обеспечивают индивидуальный подход для каждого участника процесса использования МАС, включая заказчиков продукции и услуг, исполнителей, субподрядчиков и т.д.;
- Помогают снизить зависимость от персоналий в принятии решений.

- Снижают затраты на разработку за счет повторного использования кода при переходе к новым сферам применений и усложнении решения.
- Дают возможность моделирования типа «Если-то» для оптимизации и прогнозирования развития ситуации.
- Создают надежную и масштабируемую платформу для роста сложности решаемых задач и развития бизнеса без роста численности управленческого персонала.

Можно утверждать, что в настоящее время в области МАС идет активная работа над первыми ошибками и преодоление недостатков, что станет залогом новых достижений.

Вместе с тем, полноценный выход МАС на плато продуктивности на уровне отраслевых стандартов на наш взгляд можно ожидать не ранее 2020-2030 гг.

К числу наиболее перспективных областей использования МАС-технологий относятся такие *новые* прикладные области, как

- *Аэрокосмическая отрасль* – коллективное самоорганизующееся поведение беспилотных космических и летательных аппаратов (БПКА и БПЛА), управление группировками малых спутников, тренажеры для летчиков и авиадиспетчеров, космическая логистика и др.
- *B2B сети производственных и транспортных* предприятий, стратегическое планирование и оперативное управление производством, сетевая логистика (транспортная и др.) – это одна из основных областей, где уже активно используются агентские решения и технологии, и где все еще остается большое поле для использования сетевых МАС-технологий [43].
- *Военные приложения* – имеется много косвенных признаков и свидетельств активности индустриальных разработок в этой области за рубежом, однако, по большей части эта информация закрыта.
- *Коллективная робототехника, автономные миссии роботов* – пока находится в стадии изучения возможностей, однако специалистами всего мира рассматривается как одна из самых перспективных областей для многоагентных приложений.
- *Смарт грид, виртуальные электростанции* и другие приложения в области энергетики. Эти разработки уже начаты 4–5 лет тому назад, и перспективы МАС в этой области подтверждаются ростом активности соответствующих разработок.
- *Здравоохранение* – решения в области окружающей среды для поддержки здоровья населения (англ. *ambient assisted living, personal healthcare* и др.).
- Распределенные системы *наблюдения и обеспечения безопасности*, сенсорные сети, интеллектуальные пространства, и туманные вычисления (англ. *fog computing*), например, в интересах задач Интернета вещей [44, 45].
- *Мобильные приложения* – это совсем новая область МАС-приложений, задачи которой по большей части только формулируются.

Важно отметить, что по оценкам компании Gartner до 40% будущих мобильных приложений в течение ближайших 10 лет будут построены на основе многоагентных технологий.

Заключение

Чрезмерно высокая оптимистичность прогнозов по широкому промышленному внедрению МАС была обусловлена различными причинами. МАС-технология с самого начала своего становления рассматривалась как достаточно универсальная интеллектуальная информационная технология, способная успешно конкурировать с другими технологиями в широком классе приложений. Однако это позиция оказалась не вполне оправданной. В результате в значительном числе прикладных задач более зрелые технологии оказались более успешными, что подорвало доверие к МАС-технологиям в глазах индустриального сообщества и, соответственно, интерес к их использованию и финансированию.

Большие негативные последствия для авторитета МАС-технологий обусловлены также существенной недооценкой сложности разработки МАС-приложений, которая в ее современной форме требует от разработчиков не только высокой алгоритмической квалификации и хороших навыков объектного программирования, но также и навыков программирования параллельных и асинхронных вычислений, привлечения моделей искусственного интеллекта и активного включения в процесс разработки достижений в области телекоммуникаций, включая мобильные планшеты и сотовые телефоны.

Серьезным внутренним препятствием для развития МАС стала ориентация базовой модели агента и многоагентной системы на использование логического языка, дополненного моральными и темпоральными операторами, для формального описания *BDI*-модели поведения агентов. Эта модель казалась весьма привлекательной из-за ее богатых выразительных возможностей и математической корректности. Но на деле она оказалась совершенно бесполезной для создания промышленных систем. Особенности грантовой системы финансирования современной науки за рубежом и в России также оказались на результатах, в особенности, для тех исследователей, кто торопился сделать МАС своим новым "маркетинговым флагманом".

Не менее важными факторами охлаждения первого "горячего" интереса к МАС в индустриальном сообществе стали значительные трудности промышленных внедрений, связанные со сложностью инструментальных программных средств для поддержки технологии МАС, с высокой стоимостью критических для бизнеса разработок и необходимостью решения множества других системных задач, не связанных напрямую с МАС-технологиями.

Вместе с тем, число успешных промышленных применений МАС продолжает неуклонно расти и захватывает все новые области. И хотя темпы этого роста пока слишком далеки от желаемых, а также от тех прогнозов, которые делались в этом отношении в начале 2000-х годов, агентские модели и технологии по-прежнему остаются перспективными для большого количества новых и будущих приложений, в частности, для тех приложений, которые характеризуются сетевой структурой автономных сущностей, высокой неопределенностью и динамикой поведения, большой размерностью, а также используют принципы самоорганизации в качестве базовых принципов управления и решения сложных задач.

Можно утверждать, что многоагентные технологии – это новый перспективный технологический базис для обеспечения "Grand Future Vision" для многих "сдвигов парадигм" в современных отраслях промышленности, в частности, в таких как

- управление предприятиями: реформирование больших, централизованных, монолитных организаций в сети бизнес-центров и центров знаний, работающих на виртуальном рынке, вплоть до "организаций" отдельных сотрудников;
- авиация и космос: самоорганизующиеся группировки дешевых малых космических аппаратов и беспилотных летательных аппаратов как альтернатива большим и дорогостоящим спутникам, и аналогичным летательным аппаратам;
- энергетика: переход от больших централизованных электростанций к распределенным сетям малых электростанций и других генераторов электроэнергии на местах, более дешевых и учитывающих индивидуальные нужды потребителей и т.д.

Очевидно, что новое поколение систем такого рода следует изначально ориентировать на Интернет вещей, где каждая вещь рано или поздно должна стать "умной". Она должна обладать не только датчиками и устройствами воздействия на объекты внешнего мира и коммуникации, но и принимать решения, причем, по возможности, согласованно с другими вещами. И тут МАС-технологии, без сомнения, помогут интеллектуализации как самих приложений, так и их взаимодействия и кооперации.

Вместе с тем, для продуктивного развития МАС становится необходимой смена базовой парадигмы формализации модели агента и информационно-коммуникационной инфраструктуры, обеспечивающей поддержание его жизненного цикла, взаимодействия его с внешней средой и облачными сервисами для того, чтобы добиться вычислительной эффективности этой

модели в режиме реального времени. В новой парадигме формализации МАС рационально строить как множество простых агентов с богатой компонентой взаимодействия и широким использованием принципов самоорганизации и эволюции, присущих живым системам.

Потребуются новые усилия ученых и специалистов-практиков для осознания этих новых принципов и для разработки качественно новых инструментов создания МАС в парадигме, основанной на самоорганизующейся поведенческой модели агентов и их взаимодействии.

Результаты этих разработок будут востребованы для решения многих сложных задач и создания нового поколения интеллектуальных систем в парадигме Интернета вещей, более открытых, гибких и эффективных для ежедневного использования потребителями.

Список литературы

- [1] Gartner. Top Strategic Predictions for 2016 and Beyond: The Future Is a Digital Thing. <https://www.gartner.com/doc/3142020?refval=&pcp=mpe> (по состоянию на 19 января 2016 г.).
- [2] Kaminka Gal. Robots Are Agents, Too! // Keynote Lecture. International Conference on Autonomous Agents and Multi-agent Systems (AAMAS 2007), Honolulu, Hawaii, May 2007.
- [3] Luck M., et al. Agent Technology: Computing as Interaction (A Roadmap for Agent Based Computing). AgentLink. 2005. <http://www.agentlink.org/roadmap/> (по состоянию на 19 января 2016 г.).
- [4] Müller J., Fisher K. Application Impact of Multiagent Systems and Technologies: A Survey // In Agent-Oriented Software Engineering book series. Springer. 2013. P.1-26.
- [5] Strassner J. Using Agents and Autonomic Computing to Build Next Generation Seamless Mobility Services // Keynote Lecture. International Conference on Autonomous Agents and Multi-agent Systems (AAMAS 2007), Honolulu, Hawaii, May 2007.
- [6] DeLoach S.A. Moving multi-agent systems from research to practice // Int. J. Agent-Oriented Software Engineering. Vol. 3. No. 4. 2009. P.378–382.
- [7] Leitao P., Vrba P. Recent Developments and Future Trends of Industrial Agents // Proceedings of HoloMAS-2011, Holonic and Multi-Agent Systems for Manufacturing, Volume 6867 of the series Lecture Notes in Computer Science. Springer Verlag. 2011-2012. P. 15-28.
- [8] Zambonelli F., Jennings N., Wooldridge M. Developing Multiagent systems: The GAIA methodology // ACM Transactions on Software Engineering and Methodology. 2003, 12(3). P. 417-470.
- [9] Mylopoulos J., Castro J. Tropos: A Framework for Requirements-Driven Software Development // Proceeding of 12rd Conference on Advanced Information System Engineering (CAISE). 2000.
- [10] DeLoach S. Analysis and Design using MaSE and agentTool //Proceedings of the 12th Midwest Artificial Intelligence and Cognitive Science Conference (MAICS), Miami University Press. 2001.
- [11] Bertron C. et al. ADELFE: A Methodology for Adaptive Multi-Agent Systems Engineering // Proceedings of 3th International Workshop on Engineering Societies in the Agents World. 2002. P. 156-169.
- [12] Caire G. et al. Agent Oriented Analysis using MESSAGE/UML // Agent-Oriented Software Engineering II, Springer-Verlag, Lecture Notes in Computer Science, 2002, vol. 2222, P. 119-125.
- [13] Padgham L.,Winikoff M. Prometheus: A Paradigm Methodology for Engineering Intelligent Agents. // Proceedings of the Workshop on Agent-Oriented Methodologies. 2002. P.97-108.
- [14] ACL – Agent Communication Language. <http://fipa.org/specs/fipa00061/SC00061G.pdf> (по состоянию на 19 января 2016 г.).
- [15] FIPA Agent Management System. <http://www.fipa.org/specs/fipa00023/XC00023H.html> (по состоянию на 19 января 2016 г.).
- [16] DeLoach S., Garcia-Ojeda J. The O-MaSE Methodology // M. Cossentino et al. (eds.), Handbook on Agent-Oriented Design Processes, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2014, P. 253-285.
- [17] Wooldridge M. An Introduction to MultiAgent Systems. John Wiley & Sons. 2009. 368 p.
- [18] Cohen P., Levesque H. Teamwork // Nous. V. 25. 1991. P.487-515.
- [19] Городецкий В. И., Самойлов В. В., Троцкий Д. В. Базовая онтология коллективного поведения автономных агентов и ее расширения // Известия РА: Теория и системы управления. 2015. № 5. С. 102-121.
- [20] W.van der Hoek. Logical Foundations of Agent-based Computing. In M.Luck, V.Marik, O.Stepankova, R.Trapp (Eds). Multi-agent systems and applications. Lecture Notes in Artificial Intelligence, vol. 2086, Springer Verlag, 2001.
- [21] Tambe M. Towards Flexible Teamwork // Journal of Artificial Intelligence Research, 7, 1997, P. 83-124.

- [22] Sycara K., Sukthankar G. Literature Review of Teamwork Models. CMU-RI-TR-06-50, November 2006, Robotics Institute Carnegie Mellon University. http://www.ri.cmu.edu/pub_files/pub4/sycara_katia_2006_1/sycara_katia_2006_1.pdf (по состоянию на 19 января 2016 г.).
- [23] Городецкий В.И. Теория, модели, инфраструктуры и языки спецификации командного поведения автономных агентов. Ч. 1 // Искусственный интеллект и принятие решений. 2011. №2. С. 19–30.
- [24] RoboCup Soccer Server. <http://dangermouse.brynmawr.edu/pyrobot/tars/rccsoccersim.pdf> (по состоянию на 19 января 2016 г.).
- [25] Скобелев П.О. Открытые мультиагентные системы для оперативной обработки информации в процессах принятия решений // Автометрия. 2002. №6. С.45-61.
- [26] Виттих В.А., Скобелев П.О. Мультиагентные модели взаимодействия для построения сетей потребностей и возможностей в открытых системах // Автоматика и Телемеханика. 2003. №1. С. 177-185.
- [27] Cougaar Agent Architecture. <http://cougaar.org/wp/documentation/tutorials/> (по состоянию на 19 января 2016 г.).
- [28] Technology Reports, Universal Description, Discovery, and Integration (UDDI). <http://xml.coverpages.org/uddi.html> (по состоянию на 19 января 2016 г.).
- [29] Sierra C. et al. SADDE: Social Agents Design Driven by Equations // Methodologies and Software Engineering for Agent Systems: The Agent-Oriented Software Engineering Handbook. Kluwer Academic Publishers. NY. 2004. P. 1-24.
- [30] Luck M., Gomez-Sanz J. Agent-oriented Software Engineering IX. Lecture Notes in Computer Science. Springer. 2009. Vol.5386.
- [31] Garcia-Ojeda J. et al. AgentTool Process Editor: Supporting the Design of Tailored Agent-based Processes // Proceedings of the 24th Annual ACM Symposium on Applied Computing, Honolulu, Hawaii, USA. March 8 - 12, 2009.
- [32] Hyacinth S. et al. ZEUS: A Toolkit for Building Distributed Multi-Agent Systems // Proceeding AGENTS '99 Proceedings of the third annual conference on Autonomous Agents. ACM New York. NY.1999. P. 360-361.
- [33] AgentBuilder- an integrated software toolkit that allows software developers to quickly develop intelligent software agents and agent-based applications. www.agentbuider.com (по состоянию на 19 января 2016 г.).
- [34] Burrafato P., Cossentino M. Designing a multi-agent solution for a bookstore with PASSI methodology // Procs. Agent-Oriented Information Systems. (Eds. Giorgini P., Lesperance Y., Wagner G., Yu E.). 2002. P. 119-135.
- [35] Gorodetsky V., Karsaev O., Samoylov V. Konushy V. Support for Analysis, Design and Implementation Stages with MASDK //Luck M., Gomez-Sanz J.J. (eds.) Springer, Heidelberg, LCNS.2009. Vol. 5386. P. 272-288.
- [36] Андреев В.В., Батищев С. В. Виттих В. А. Ивкушкин К. В. и др. Методы и средства создания открытых мультиагентных систем для поддержки процессов принятия решений // Известия Академии Наук. Теория и системы управления. 2003. №1. С. 126-137.
- [37] Виттих В.А., Скобелев П.О. Метод сопряженных взаимодействий для управления распределением ресурсов в реальном времени // Автометрия. 2009. Т.45. № 2. С. 78-87.
- [38] Rzevski G., Skobelev P. Managing complexity. WIT Press, London-Boston. 2014. 156 p.
- [39] Skobelev P. Multi-Agent Systems for Real Time Adaptive Resource Management // Industrial Agents: Emerging Applications of Software Agents in Industry. Paulo Leitão, Stamatis Karnouskos (Ed.). Elsevier. 2015. P. 207-230.
- [40] Скобелев П. О. Мультиагентные технологии в промышленных применениях: к 20-летию основания Самарской научной школы мультиагентных систем // Мехатроника, автоматизация, управление.2010. №12. С. 33-46.
- [41] Скобелев П.О. Интеллектуальные системы управления ресурсами в реальном времени: принципы разработки, опыт промышленных внедрений и перспективы развития // Приложение к теоретическому и прикладному научно-техническому журналу «Информационные технологии». 2013. №1. С. 1–32.
- [42] Городецкий В.И. Самоорганизация и многоагентные системы. II. Приложения и технология разработки // Известия РАН. Теория и системы управления. 2012. № 3. С. 102–123.
- [43] Городецкий В.И. Многоагентная самоорганизация в B2B сетях // XII Всероссийское совещание по проблемам управления ВСПУ-2014, Москва, 16 – 19 июня 2014 г.: Труды. [Электронный ресурс].

- М.: Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова, <http://vspu2014.ipu.ru/proceedings/vspu2014.zip>. (по состоянию на 11 февраля 2016 г.). С. 8954 – 8965.
- [44] Bonomi F. et al. Fog computing and its role in the internet of things // Proceedings of the First Edition of the MCC Workshop on Mobile Cloud Computing, (MCC 2012). 2012. New York. NY. USA. ACM P. 13-16.
- [45] Yi Sh. et al. Security and Privacy Issues of Fog Computing: A Survey // Wireless Algorithms, Systems and Applications, Volume 9204 of the series Lecture Notes in Computer Science. Springer International Publishing Switzerland. 2015. P. 685-695.
- [46] Smith G. Contract Net Protocol: High-level Communication and Control in a Distributed Problem Solver // IEEE Transactions on Computers, C-29 (12), 1980, 1104–1113.
- [47] Бухвалов О.Л., Городецкий В.И., Карсаев О.В., Кудрявцев Г.И., Самойлов В.В. Производственная логистика: Стратегическое планирование, прогнозирование и управление конфликтами // Известия ЮФУ. 2012. №3. С. 209–218.
- [48] Городецкий В.И., Карсаев О.В., Самойлов В.В., Серебряков С.В. Инstrumentальные средства для открытых сетей агентов // Известия РАН. Теория и Системы Управления. Москва. Наука. 2008. №. 3. С. 106-124.
- [49] Бухвалов О.Л., Городецкий В.И., Карсаев О.В., Кудрявцев Г.И., Самойлов В.В. Распределенная координация в B2B производственных сетях // Известия Южного федерального университета. Технические науки. 2013. № 3. С.193–203.
- [50] Gorodetsky V., Karsaev O., Samoylov V. and Serebryakov S. P2P Agent Platform: Implementation and Testing // Lecture Notes in Artificial Intelligence, vol. 5319. 2009. P. 41–54.
- [51] Hewitt C., Bishop P., Steiger R. A Universal Modular Actor Formalism for Artificial Intelligence. // In Proceedings of International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI-1973). P. 235-245.
- [52] JADE. <http://sharon.cselt.it/projects/jade/> (по состоянию на 11 февраля 2016 г.).

МУЛЬТИАГЕНТНАЯ СИСТЕМА ПЛАНИРОВАНИЯ ЦЕЛЕВОГО ПРИМЕНЕНИЯ ГРУППИРОВКИ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

Е.В. Симонова^{1,2}, А.А. Жиляев^{1,2}, В.С. Травин²

¹ Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева
443086, Самара, Московское шоссе, 34, Россия
petr.skobelev@gmail.com

² НПК «Разумные решения»
443013, Самара, Московское шоссе, 17, офис 1201
travin@smartsolutions-123.ru

Ключевые слова: мультиагентные технологии, целевое применение, планирование, группировка космических аппаратов, дистанционное зондирование Земли.

Abstract

The problem of planning for target application of a group of Earth remote sensing satellites in combination with a network of ground-based data receiving points is considered. The multi-agent approach to planning is used, where the sought schedule is built as dynamic balancing interests of agents of observation requests, satellites and data receiving points. Dynamically occurring events are taken into account in the process of planning, including introduction of a new task or change of task options, failure of a satellite or means of communication. Formation of the sought schedule is divided into two stages. At the first stage, agents form the initial feasible schedule using “greedy” strategy, at the second stage they try to improve the current schedule by building chain permutations of operations. The developed planning system for target application of a group of satellites is described. The results of the system performance with a test data set are presented. Advantages of the multi-agent approach to management of a group of Earth remote sensing satellites are proved.

Введение

Одной из перспективных тенденций в области дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) является создание космических систем (КС), включающих в свой состав группировку разнородных космических аппаратов (КА) большой размерности и широкую сеть территориально распределенных центров приема, обработки и доведения до потребителей конечной продукции ДЗЗ [1].

Увеличение размерности орбитальной группировки приводит к появлению альтернативных возможностей съемки одних и тех же районов наблюдения различными КА, которые могут быть использованы для повышения информационной эффективности результатов ДЗЗ. В то же время, с ростом размерности группировки, при ограниченном количестве пунктов приема информации (ППИ), становится неизбежной ситуация, когда несколько КА претендуют на передачу данных на один и тот же ППИ [2]. Из-за технических ограничений перед КА может дополнительно встать вопрос о выборе между съемкой очередного района или оперативной передачей уже отнятой информации на ППИ.

Процесс развития систем дистанционного зондирования сопровождается расширением рынка космических услуг, привлечением новых клиентов (организаций, ведомств, а в перспективе и частных лиц), и, как следствие, повышением требований к оперативности обслуживания заявок на съемку. В этих условиях появляется необходимость в динамической корректировке расписания целевого применения группировки КА по мере поступления новых заявок.

Возможность динамического изменения существующего плана становится полезной и для учета непрогнозируемых событий, связанных с метеорологической обстановкой и отказами оборудования.

В то же время большинство существующих разработок в области создания наземных и бортовых комплексов планирования целевого функционирования КА ДЗЗ ориентированы на одиночные КА и не могут быть спроектированы на группировки большой размерности [3]. При этом делается весьма спорное допущение о том, что КА функционирует в детерминированной среде: в качестве конечного результата рассматривается статичный план использования КА, дискретно корректируемый не более 2-3 раз в сутки.

В результате становится актуальной задача обеспечения согласованного динамического планирования действий группировки КА с возможностью адаптивной корректировки плана при наступлении различных событий в масштабе времени, близком к реальному.

Для решения этой задачи предлагаются различные эвристические алгоритмы. Вопрос использования эвристических методов планирования ДЗЗ рассмотрен в работе [4], авторы проводят сравнение нескольких реализаций генетического алгоритма в сочетании с алгоритмом восхождения к вершине и имитации отжига. Генетический алгоритм для решения задачи планирования сеансов связи между КА и наземными станциями представлен в работе [5]. Для планирования непрерывно и асинхронно поступающих задач ДЗЗ предложено использование муравьиного алгоритма [6,7], или его комбинации с нейронной сетью [8] и динамическим программированием [9]. Задача динамического планирования операций на космических аппаратах отдельно рассматривается в [10-13]. Из анализа представленных источников можно сделать вывод об эффективности принципа формирования расписания работы КА с использованием эвристических методов. В настоящей работе рассматривается возможность реализации этого принципа с помощью мультиагентных технологий, положительно зарекомендовавших себя при решении классических задач планирования и распределения ресурсов [14].

1 Постановка задачи

Пусть задано множество КА, пунктов приема информации, районов наблюдения. Проведено математическое моделирование функционирования КС, в результате которого сформированы следующие данные:

- расписание прохождения каждого КА над зонами взаимной видимости КА-ППИ, над районами наблюдения (с учетом условий, необходимых для работы оптико-электронной аппаратуры ДЗЗ);
- потенциально достижимое линейное разрешение на местности для каждого района, попавшего в полосу обзора каждого КА при моделировании процесса функционирования КС.
- Сформированы модели, позволяющие рассчитывать:
- продолжительность включения аппаратуры ДЗЗ в районе наблюдения;
- объем информации, записываемой в бортовое запоминающее устройство при съемке;
- время воспроизведения при передаче информации на ППИ.

Заданы технические характеристики и ограничения по логике работы систем КА, необходимые для моделирования функционирования сквозного тракта получения и передачи информации ДЗЗ, начиная от съемки и заканчивая получением информации на ППИ.

Требуется сформировать план съемки районов наблюдения группировкой космических аппаратов, составленный в соответствии с критерием минимизации времени доставки информации потребителям, отдавая приоритет при съемке районам с наилучшим разрешением:

$$\text{ЦФ} = \frac{1}{m} \sum_j^m \left(a_1 \left(1 - \frac{\tau_j}{\tau_{max}} \right) + a_2 \left(1 - \frac{r_j}{r_{max}} \right) \right) \rightarrow max,$$

где

m – количество районов наблюдения,

τ_j – оперативность получения снимка j -го района наблюдения на ППИ,

r_j – разрешение снимка j -го района наблюдения,

τ_{max} – предельное время хранения снимка,

r_{max} – предельно допустимое разрешение снимка,

$a_1 + a_2 = 1$, – весовые коэффициенты.

Полученное расписание должно удовлетворять следующим ограничениям:

- 1) наличие видимости между КА и районом наблюдения при съемке;
- 2) наличие видимости между КА и ППИ при передаче информации;
- 3) наличие свободного места в бортовом запоминающем устройстве КА;
- 4) согласованность времени съемки, передачи и приема информации;
- 5) заданным требованиям по недопустимости наложения режимов работы различных видов аппаратуры КА.

Важной особенностью задачи является необходимость учета динамически возникающих событий, к числу которых относятся поступление новой задачи или изменение ее параметров, выход из строя ресурса КА или средств связи, погрешность или сбой в получении результатов съемки и т.д.

2 Описание предлагаемого подхода

В предлагаемом подходе искомое расписание строится на основе конкуренции и кооперации программных агентов, обладающих определенными возможностями или потребностями [15]. В результате взаимодействия агентов достигается допустимое локально оптимальное решение, которое в дальнейшем адаптивно корректируется в «скользящем режиме» на рассматриваемом горизонте планирования. При этом появляется возможность адаптивного изменения ранее построенного плана (без его полной перестройки), когда план не строится всякий раз заново при возникновении новых событий, как это делается в классических методах оптимизации, а только корректируется по мере появления событий без останова и перезапуска системы [16, 17].

Применительно к рассматриваемой задаче искомое расписание строится путем взаимодействия агентов КА, ППИ и районов наблюдения. Процесс получения снимка района наблюдения декомпозируется на отдельные операции по съемке, хранению, передаче и приему информации. Агент района наблюдения стремится запланировать выполнение этих операций (удовлетворить потребности) в расписаниях агентов КА и ППИ (представляющих свои возможности). Дополнительно вводится штабной агент группировки, способный оценивать результаты работы других агентов, а также задавать им стратегии, наиболее подходящие в той или иной сложившейся ситуации. Все перечисленные в постановке задачи ограничения распределяются между соответствующими агентами. При планировании учитываются циклограммы взаимной видимости космических аппаратов, районов наблюдения и пунктов приема информации, а также их параметры. Так, каждый снимок района наблюдения обладает определенным объемом и заполняет бортовое запоминающее устройство КА, что впоследствии порождает потребность в сбросе накопленной информации на Землю, так как в противном случае космический аппарат перестает выполнять съемку других районов.

Критерии эффективности формируемого расписания находят отражение в целевых функциях агентов [18]. Агент района наблюдения стремится быть снятым с наилучшим разрешением и скорейшим образом попасть на пункт приема информации, с минимальным временем нахождения в запоминающем устройстве КА. Целью агентов ресурсов КА и ППИ является увеличение своей производительности на рассматриваемом горизонте планирования. Целевая функция системы определяется суммой целевых функций отдельных агентов.

Процесс построения расписания разбивается на две стадии: бесконфликтную и проактивную.

2.1 Начальное бесконфликтное планирование

На первой стадии агенты районов наблюдения запрашивают у подходящих космических аппаратов возможность съемки и передачи на Землю в наилучший (в соответствии с целевой функцией) свободный интервал времени. Агенты КА имеют доступ к расписанию работы ресурсов только своего КА. Исходя из этих данных, они принимают решение о возможности или невозможности размещения очередного снимка района наблюдения. Если к моменту поступления обращения от района наблюдения все ресурсы КА уже заняты, его агент отказывает району в съемке.

Бесконфликтное планирование возможно при одновременном выполнении следующих условий:

- наличие видимости КА с районом наблюдения и ППИ;
- данный интервал времени не пересекается с запланированным ранее сеансом передачи данных или съемкой других районов наблюдения;
- агент ППИ подтвердил возможность приема данных снимка;
- запоминающее устройство КА содержит достаточный объем свободного места на интервале времени от начала съемки района наблюдения до окончания передачи снимка на ППИ.

Для проверки двух последних условий агент КА опрашивает всех известных ему агентов ППИ с предложением провести сеанс передачи данных, длительность которого зависит от продолжительности съемки и скорости, достижимой для канала связи между конкретным КА и ППИ. Среди всех предложенных агентами ППИ вариантов агент КА выбирает ближайший к моменту съемки, но в тоже время свободный от других съемок или сеансов связи с ППИ, интервал времени. Если какое-либо из условий не выполнено, съемка района наблюдения остается незапланированной. Запланировав сеанс связи с ППИ, агент КА сообщает агенту района наблюдения время сброса и вносит изменения в свое расписание. Важно отметить, что целью этого этапа является быстрое получение начального допустимого расписания, каким бы уровнем качества оно не обладало. Полученное на этом этапе решение покажет основные «узкие места» рассматриваемого расписания и станет опорной точкой для дальнейших улучшений.

2.2 Проактивное улучшение расписания

На этой стадии агенты районов наблюдения пытаются улучшить значение своей целевой функции, предлагая конфликтующим с ними районам найти другие интервалы для размещения путем сдвига по времени или перехода на другой ресурс (КА или ППИ). Построение цепочки изменений начинается от агентов, наиболее неудовлетворенных значением своей целевой функции. Для этого в системе организуется специальная «рабочая группа» агентов, которых затрагивают изменения (перестановки и сдвиги в расписании). Эффективность каждой перестановки может быть оценена с помощью изменения значений целевых функций участвующих в ней агентов. Полученный вариант изменения расписания может быть принят или отвергнут в зависимости от эффекта, оказываемого на целевую функцию системы: утверждаются только те изменения, которые не уменьшают целевую функцию системы.

Агент района наблюдения опрашивает имеющиеся КА и ППИ о возможности размещения отдельных операций. При этом неизбежно выявляются конфликты: выгодные с точки зрения целевой функции слоты времени оказываются занятыми другими операциями. Рекурсивное перемещение затрагиваемых задач продолжается до тех пор, пока очередная сдвигаемая задача не сможет беспрепятственно переместиться на новую позицию, у вытесняющей задачи остаются средства на компенсацию всех издержек, или не станет равным нулю счетчик, ограничивающий глубину рекурсии.

На рисунке 1 отражен процесс взаимодействия агентов при перемещении задач в расписании: агент вытесняющей задачи заштрихован, стрелки соответствуют сообщениям с запросом перестановки, а пунктиром показаны ответные сообщения перемещаемых задач. При этом если одна операция вытесняет другую, то та, в свою очередь, способна рекурсивно найти себе новое место [19]. В итоге силами агентов строится цепочка перестановок, которая, в случае положительного влияния на целевую функцию системы, применяется к расписаниям агентов, затронутых изменениями.

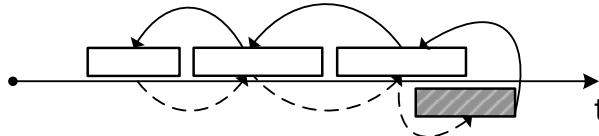


Рисунок 1 – Рекурсивная перестановка операций

Задача, оставшаяся незапланированной, помещается в очередь ожидающих планирования задач. Очередная попытка планирования этих задач будет предпринята в случае возникновения событий добавления новых или изменения расписания уже существующих ресурсов.

Аналогичным образом агенты ресурсов КА и ППИ пытаются увеличить значение целевой функции системы путем перераспределения съемок и сеансов передачи данных. Итеративное улучшение плана всеми типами агентов продолжается до тех пор, пока не возникнет состояние «динамического останова» (агенты пытаются улучшить свое состояние, однако улучшение значения целевой функции не происходит), что будет означать достижение консенсуса в переговорах и возможность выдачи готового решения. Это состояние может быть нарушено при поступлении событий, связанных с добавлением, удалением или изменением параметров КА, ППИ или районов наблюдения. В этом случае расписание приводится к допустимому виду, после чего улучшается посредством описанного выше механизма.

3 Описание прототипа системы планирования

Описанный выше метод был реализован в прототипе мультиагентной системы планирования целевого применения группировки космических аппаратов дистанционного зондирования Земли. Интерфейс пользователя системы представлен экранами и терминалами: управление работой системы осуществляется с помощью терминалов, экраны служат для отображения происходящих в системе процессов и результатов планирования. Ввод или корректировка исходных данных оформляются в виде событий, в ответ на которые происходит адаптивное перепланирование сложившегося расписания. На рисунке 2 показаны отношения, устанавливающиеся между агентами системы в процессе построения расписания. Все агенты показаны кружками, цвет которых изменяется от красного к зеленому пропорционально их удовлетворенности. Под удовлетворенностью понимается степень достижения целей агентов. Связи могут динамически изменяться по мере перестройки расписания и возникновения событий.

На рисунке 3 приведен экран «Показатели эффективности». На нем можно проследить изменение значения целевой функции системы в процессе построения расписания. Так, произошедшее на 790-ой итерации событие по исключению одного из ППИ привело к уменьшению значения целевой функции системы на 0,2. Однако, в течение последующих 180 итераций система планирования смогла парировать произошедшее событие и перестроить расписание, повысив значение целевой функции системы на 0,19.

На рисунке 4 представлен экран «План группировки», который отображает план действий выбранного космического аппарата. Здесь показаны видимости космических аппаратов со всеми районами и пунктами приема информации, а также план выполнения операций по съем-

ке и сбросу информации, построенный на десять суток вперед. Кроме того, в целях демонстрации ограничения по памяти, здесь показан график наполнения запоминающего устройства.

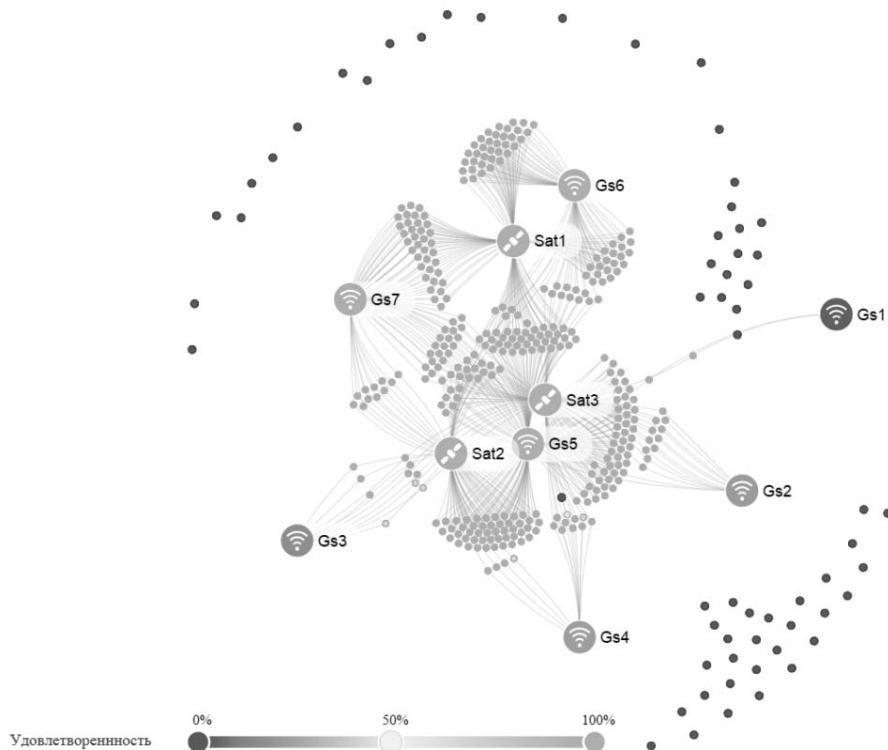


Рисунок 2 – Отношения между агентами системы в виде сети

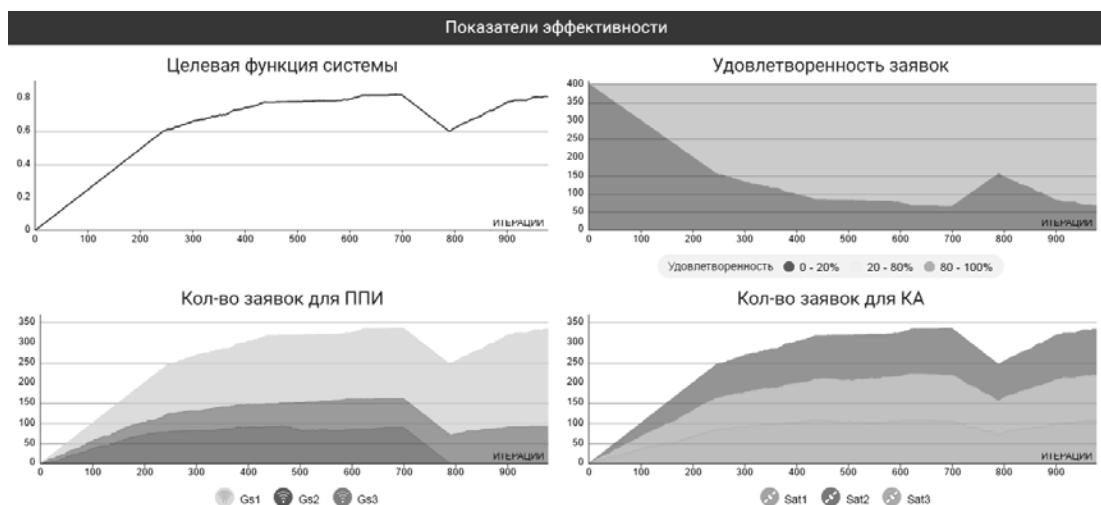


Рисунок 3 – Экран «Показатели эффективности»

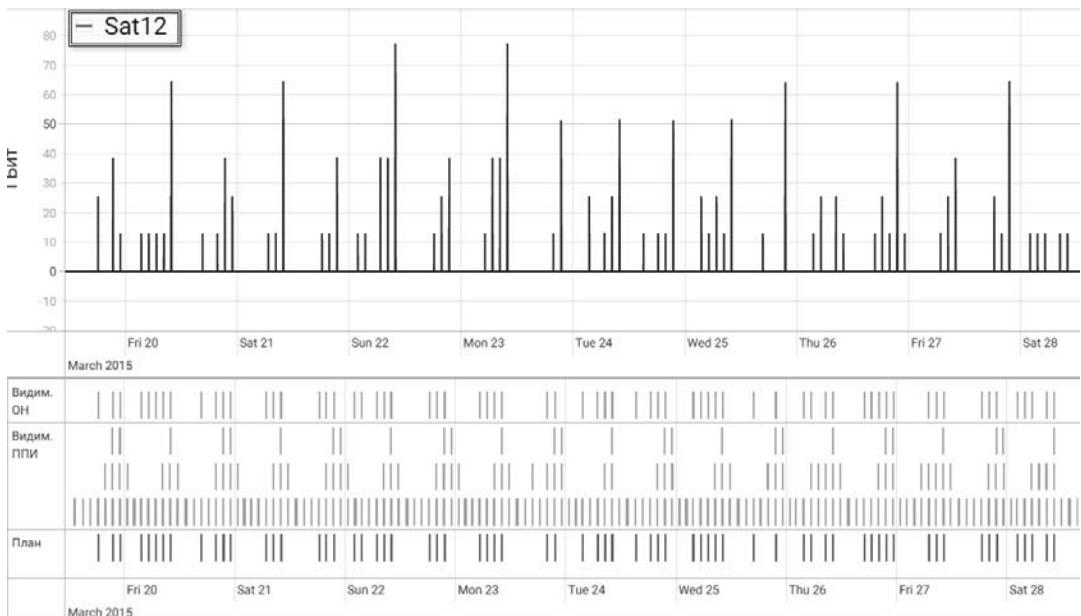


Рисунок 4 – Экран «План группировки»

Заключение

В предлагаемом подходе задача управления группировкой КА ДЗЗ решается путем создания самоорганизующейся команды взаимодействующих интеллектуальных агентов, ведущих переговоры, способных планировать свое поведение в реальном времени, обеспечивая согласованность принимаемых решений.

Разработанный программный прототип системы планирования целевого применения группировки КА ДЗЗ подтвердил перспективность предложенного подхода благодаря следующим свойствам:

- масштабируемость и открытость, новые компоненты (КА, ППИ и другие) подключаются к системе динамически без останова и перезапуска всей системы;
- автономность программных модулей, в перспективе позволяющая разместить компоненты планирования на бортовых вычислительных устройствах КА, исключив необходимость в централизованной диспетчеризации, что повышает оперативность принятия решений. [20];
- гибкость и возможность адаптивного изменения построенного плана функционирования космической системы позволяет повысить ее целевую эффективность в условиях динамического поступления заявок на съемку, а также возникновения непрогнозируемых событий, связанных с метеорологической обстановкой и отказами оборудования.

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ.

Список литературы

- [1] Макриденко Л.А., Боярчук К.А. Микроспутники. Тенденция развития. Особенности рынка и социальное значение // Вопросы электромеханики. Приборы и сферы использования космиче-

- ских аппаратов дистанционного зондирования Земли. Итоги и перспективы развития. Труды НПП ВНИИЭМ. – 2005. – С. 12-27.
- [2] Гончаров А.К., Чернов А.А. Планирование сеансов приёма информации с космических аппаратов орбитальной группировки при ограниченном количестве приёмных комплексов. // «Космонавтика и ракетостроение». –2014. – №3 (74). – С. 180-189.
- [3] Соллогуб А.В., Аншаков Г.П., Данилов В.Б. Космические аппараты систем зондирования поверхности Земли. – М.: Машиностроение, 2009. – 368 с.
- [4] Globus A., Crawford J., Lohn J., Pryor A. Application of Techniques for Scheduling Earth-Observing Satellites // Proceedings of the 16th conference on Innovative applications of artificial intelligence. – 2004. – P. 836-843.
- [5] Xhafa F., Sun J., Barolli A., Biberaj A., Barolli L. Genetic algorithms for satellite scheduling problems // Mobile Information Systems. – 2014. – No. 8. – P. 351-377.
- [6] Iacopino C., Palmer P., Policella N., Donati A., Brewer A. How ants can manage your satellites // Acta Futura. – 2014. – No. 9. – P. 57-70.
- [7] Kebin G., Guohua W., Jianghan Z. Multi-Satellite Observation Scheduling Based on a Hybrid Ant Colony Optimization // Advanced Materials Research Vols. – 2013. – P. 532-536.
- [8] Yuqing Li, Rixin Wang, Minqiang Xu. Rescheduling of Observing Spacecraft Using Fuzzy Neural Network and Ant Colony Algorithm // Chinese Journal of Aeronautics. – 2014. – No 27. – P. 678-687.
- [9] Liu Xiaolua, Bai Baocunb, Chen Yingwua, Yao Fenga. Multi satellites scheduling algorithm based on task merging mechanism // Applied Mathematics and Computation. – 2014. – No. 230. – P. 687-700.
- [10] He Chuan, Liu Jin, Ma Manhao. A Dynamic Scheduling Method of Earth-Observing Satellites by Employing Rolling Horizon Strategy // The Scientific World Journal. – 2013.
- [11] Jianjiang Wanga, Xiaomin Zhua, Laurence Yangb, Jianghan Zhua, Manhao Maa. Towards dynamic real-time scheduling for multiple earth observation satellites // Journal of Computer and System Sciences. – 2015. – No. 81. – P. 110-124.
- [12] Karapetyana D., Minic S., Malladi K., Punnen A. Satellite downlink scheduling problem: A case study // Omega. – 2015. – No. 53. – P. 115-123.
- [13] Chong Wang, Jun Li, Ning Jing, Jun Wang, Hao Chen. A Distributed Cooperative Dynamic Task Planning Algorithm for Multiple Satellites Based on Multi-agent Hybrid Learning // Chinese Journal of Aeronautics. – 2011. No. 24. – P. 493-505.
- [14] Rzevski G., Skobelev P. Managing complexity. – WIT Press: London-Boston, 2014. – 216 p.
- [15] Витих В.А., Скобелев П.О. Метод сопряженных взаимодействий для распределения ресурсов в реальном масштабе времени // Автометрия. –2009. – № 2. – С. 78-87.
- [16] Wooldridge M. An Introduction to Multiagent Systems. – 2nd edition. – John Wiley&Sons: London. – 2009. – 486 p.
- [17] Skobelev P. Multi-Agent Systems for Real Time Resource Allocation, Scheduling, Optimization and Controlling: Industrial Application // 10-th International Conference on Industrial Applications of Holonic and Multi-Agent Systems. – 2013. – P. 1-14.
- [18] Belokonov I., Skobelev P., Simonova E., Travin V., Zhilyaev A. Multiagent planning of the network traffic between nanosatellites and ground stations // Procedia Engineering: Scientific and Technological Experiments on Automatic Space Vehicles and Small Satellites. – 2015. – No. 104. – P. 118-130.
- [19] Skobelev P., Simonova E., Ivanov A., Mayrov I., Travin V., Zhilyaev A. Real time scheduling of data transmission sessions in the microsatellites swarm and ground stations network based on multi-agent technology // Proceedings of the 6th International Conference on Evolutionary Computation Theory and Applications (ECTA 2014). – 2014. – P. 153-159.
- [20] Соллогуб А.В., Скобелев П.О., Симонова Е. В., Царев А. В., Степанов М. Е., Жиляев А.А. Интеллектуальная система распределенного управления групповыми операциями кластера малоразмерных космических аппаратов в задачах дистанционного зондирования Земли // Информационно-управляющие системы. – 2013.– №1(62). – С. 16-26.

МУЛЬТИАГЕНТНЫЙ ПОДХОД К РЕШЕНИЮ ТРАНСПОРТНОЙ ЗАДАЧИ С НЕСКОЛЬКИМИ ТОЧКАМИ ЗАГРУЗКИ И ВРЕМЕННЫМИ ОКНАМИ

В.В. Сазонов¹, П.О. Скобелев^{2,4}, А.Н. Лада^{3,4}, И.В. Майоров^{2,4}

¹ Факультет вычислительной математики и кибернетики МГУ имени М.В. Ломоносова
119991, ул. Ленинские Горы, 1, Москва, Россия
sazonov@smartsolutions-123.ru

² Самара, ИПУСС РАН
443020, Самара, ул. Садовая, 61, Россия
Petr.Skobelev@gmail.com

³ ООО «НПК «Разумные решения»
443013, Самара, ул. Московское шоссе, 17, офис 12-01, Россия
info@kg.ru
тел: +7 (846) 279-37-79

⁴ Самарский государственный технический университет
443100, Самара, ул. Молодогвардейская, д. 244, Россия
тел: + 7 (846) 278-43-11

Ключевые слова: мультиагентная система, транспортная задача, доставка «последней мили», адаптивное планирование ресурсов, реальное время.

Abstract

The paper studies the problem of initial routing of trucks for delivery of numerous cargos considering a range of criteria. The paper explicates the multi-agent approach to solving problem of initial scheduling based on the given set of orders statically (for construction of an initial schedule) as well as dynamically. Software implementation is presented as the system prototype. Efficiency of solutions for multi-agent and traditional algorithms is compared as well as result achievement speed and solution stability in relation to the sequence of orders.

Введение

Рассматривается задача начального планирования маршрутов грузовиков для доставки множественных грузов с учетом набора критерии.

В классической постановке эта задача носит название Multiple Depot Vehicle Routing Problem with Time Windows (MDVRPTW) [1, 2].

В работе развивается мультиагентный подход [3] к решению задачи построения начальных расписаний по заданному набору заказов как в статическом (для построения начального расписания), так и динамическом случае, связанном с перестройкой по событиям.

В развитие метода предложено использование триангуляций Делоне для построения и анализа сцены, что существенно упрощает и ускоряет взаимодействие агентов.

Программная реализация представлена прототипом системы, который был экспериментально исследован на модельных данных (Benchmarks), подготовленных Cordeu [2], которые можно найти на Интернет-ресурсе, посвященному решению транспортной задачи (Vehicle Routing Problem) в различных постановках и ограничениях [4], для которых известны наилучшие решения (Known Best In the Class Solutions). Сравнивалось качество решения для мультиагентного и лучших классических алгоритмов, а также скорость получения результата и устойчивость решения по отношению к порядку поступления заказов.

В работе приводятся результаты сравнения, показывающие преимущества использования и текущие ограничения разработанного метода, а также намечаются пути дальнейших разработок и исследований.

Показывается необходимость решения задачи управления процессами самоорганизацией в производственно-транспортных сетях рассматриваемого класса для дальнейшего улучшения качества решений и ускорений работы системы.

Программная реализация представлена прототипом системы, который был экспериментально исследован на модельных данных (Benchmarks), взятых с сайта VRP, посвященному решению транспортной задачи (Vehicle Routing Problem) в различных постановках и ограничениях [5], для которых известны наилучшие решения (Known Best Solutions). Сравнивалось качество решения для мультиагентного и лучших классических алгоритмов, а также скорость получения результата и устойчивость решения по отношению к порядку поступления заказов.

В работе приводятся результаты сравнения, показывающие преимущества использования и текущие ограничения разработанного метода, а также намечаются пути дальнейших разработок и исследований. Показывается необходимость решения задачи управления процессами самоорганизацией в производственно-транспортных сетях рассматриваемого класса для дальнейшего улучшения качества решений и ускорений работы системы.

1 Постановка задачи

Транспортные расходы составляют значительную часть в конечной стоимости товаров и услуг, а рынок транспортных услуг является высоко конкурентным.

Оптимизация расходов по транспортировке увеличивает прибыльность транспортного предприятия, что позволяет предприятию устанавливать сбалансированные тарифы и занимать более выгодную позицию в конкурентной борьбе, поэтому задачи оптимизации логистики крайне востребованы в народном хозяйстве.

Задачи оптимизации логистики весьма разнообразны, большинство из них является NP-полными, как классический пример — задача коммивояжера [5]. Такая алгоритмическая сложность не позволяет искать точное решение, в арсенале остаются только приближенные методы. В настоящей работе рассматривается задача, которая возникает при планировании доставки «последней мили» или в работе курьерской службы. В англоязычной литературе задача носит название Multiple Depot Vehicle Routing Problem with Time Windows (MDVRPTW) [1].

Задача MDVRPTW состоит в следующем. Даны координаты складов с товаром и потребителей этих товаров. У каждого склада известно время работы, у каждого потребителя известны временное окно (time window), когда возможно его обслуживание (разгрузка товара), время обслуживания (duration) и потребность в товаре (demand). Для каждого склада известно количество грузовиков и характеристики этих грузовиков: грузоподъемность или вместимость (capacity) и максимальный пробег. Требуется составить маршрут движения всех грузовиков каждого склада так, чтобы обслужить всех или максимально возможное число потребителей, таким образом, чтобы путь всех грузовиков был бы минимальным. Считается, что грузовики начинают маршрут и заканчивают маршрут на складе, к которому они приписаны.

Задача в такой постановке является NP-сложной [6]. Существует множество подходов к решению этой задачи, основанных на методе ветвей и границ, генетических алгоритмах [7], поиске с ограничениями [1,2] и.т.д.

В настоящей работе рассматривается расширенная постановка задачи адаптивного планирования доставки «последней мили», то есть план должен перестраиваться при изменении условий: изменение заявки, отмена заявки, добавления новой заявки. План доставки перестраивается в зависимости от поступающих событий.

В работе развивается мультиагентный подход [3] к решению задачи построения начальных расписаний по заданному набору заказов как в статическом (для построения начального расписания), так и динамическом случае, связанном с перестройкой по событиям в реальном времени.

Рассматривается модель сети потребностей и возможностей (ПВ-сети) мира транспортной логистики и основные классы агентов, включая агентов заявки, маршрута, грузовика, склада, транспортной сети в целом (предприятия).

Предлагаются новые протоколы взаимодействия указанных агентов, позволяющие строить итерационно начальное расписание и непрерывно улучшать решение для построения наилучшего расписания, когда любые дальнейшие попытки агентов не приводят к улучшению результата.

2 Мир агентов транспортной логистики доставки «последней мили»

Для решения поставленной задачи адаптивного планирования доставки «последней мили» предлагается использовать мультиагентный подход. Опишем типы агентов, которые используются в предлагаемом методе.

Критерием оценки качества расписания доставки в классической постановке является сумма путей всех грузовиков. При необходимости, для разработки автоматизированной системы планирования доставки последней мили можно добавить еще набор критериев и ограничений для учета специфики транспортного предприятия, например: рабочее время водителя, его квалификация, тип грузовика и т.д.

На Рисунке 1 изображены маршруты доставки из двух складов двумя грузовиками грузов семи потребителям. Первый маршрут $R_1 : D1 \rightarrow C1 \rightarrow C7 \rightarrow C3 \rightarrow C5 \rightarrow D1$, второй маршрут $R_2 : D2 \rightarrow C6 \rightarrow C4 \rightarrow C2 \rightarrow D2$.

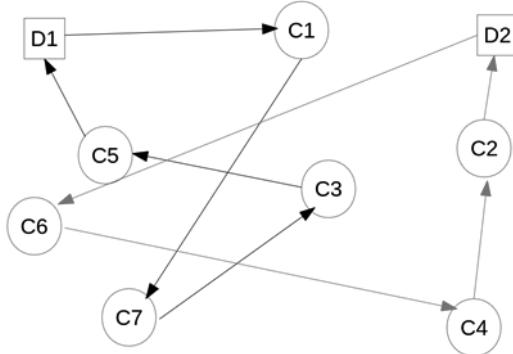


Рисунок 1 – Мир транспортной логистики

Введем некоторые определения.

Длиной маршрута $l(R)$ назовем длину замкнутого пути, который проходит грузовик по маршруту. Обозначим за $w(C)$ массу (объем) потребления заказом C , $d(C)$ - время, затрачиваемое грузовиком на обслуживание (разгрузку) заказа C .

Рассмотрим участок маршрута доставки $C_{i-1} \rightarrow C_i \rightarrow C_{i+1}$, ценой доставки заказа C_i назовем $P(C_i) = |C_{i-1}C_i| + |C_iC_{i+1}| - |C_{i-1}C_{i+1}|$, тогда тариф заказа C_i определим как $pr(C_i) = \frac{P(C_i)}{w(C_i)}$. Средним тарифом маршрута $R : C_1 \rightarrow C_2 \rightarrow \dots \rightarrow C_n$ назовем $pr(R) = \frac{l(R)}{\sum\limits_{i=1}^n w(C_i)}$.

Введем 3 типа агентов: агент штаба, агент заявки и агент грузовика. Агент штаба осуществляет общую координацию, агенты заявок и грузовиков составляют классическую ПВ-сеть [4]. Агент грузовика стремится перевезти как можно больше заказов и уменьшить себестоимость маршрута, агент заявки стремится попасть к тому грузовику, который предложит ему минимальный тариф на перевозку.

Построение маршрута грузовика по списку заявок происходит жадным образом. Если у грузовика одна или две заявки, то решение очевидно. Далее, при добавлении следующей заявки в маршрут грузовика выбирается место между уже стоящих в маршруте заявок. Например: маршрут грузовика $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3$, добавляем заявку 4, надо среди 4 вариантов: $4 \rightarrow 1 \rightarrow 2 \rightarrow 3$, $1 \rightarrow 4 \rightarrow 2 \rightarrow 3$, $1 \rightarrow 2 \rightarrow 4 \rightarrow 3$, $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 4$ выбирать наилучший.

Таким образом, взаимодействуя в рамках описанной ПВ-сети, все заказы распределяются по грузовикам. Цель взаимодействия агентов в рамках рассматриваемой сети – сформировать так называемые цепочки доставки – распределить все заявки по грузовикам и определить порядок, в котором грузовик их обслуживает.

3 Структура сцены для планирования

Каждый агент обладает некоторой информацией об окружающем мире, но не видит всю картину в целом. На основании имеющейся информации и сообщений, получаемых от других агентов, программный агент может принимать решения. Быстрота работы мультиагентной системы напрямую зависит от количества обрабатываемых агентами сообщений. При построении расписаний доставки агентам заказов предлагается обмениваться сообщениями с соседними (пространственно) заказами.

На Рисунке 2 показаны исходные данные для планирования, а на Рисунке 3 – структура сцены для планирования.

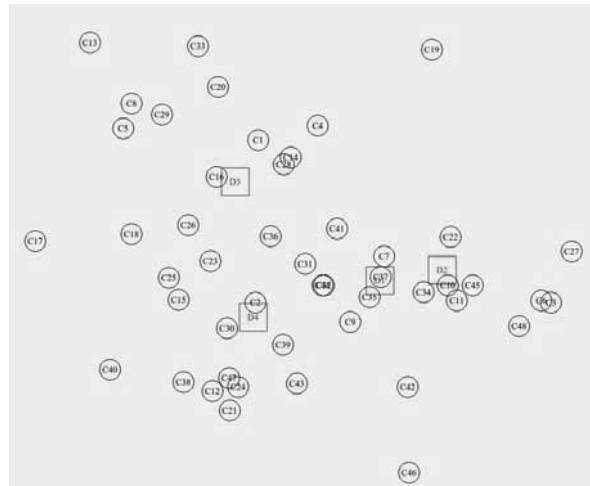


Рисунок 2 – Исходные данные для планирования

Для организации эффективного взаимодействия между агентами сцены требуется геометрическая структура, которая позволяет быстро находить ближайших соседей (заявки и склады), также такая структура должна быть адаптивной – способной воспринимать инкрементальные изменения сцены (удаление / добавление заявки). Такой структурой является триангуляция Делоне [8]. Известно, что для построения триангуляции требуется затратить $N \log N$ времени, где N – число вершин, и триангуляция содержит все минимальные остовные деревья множества точек [8].

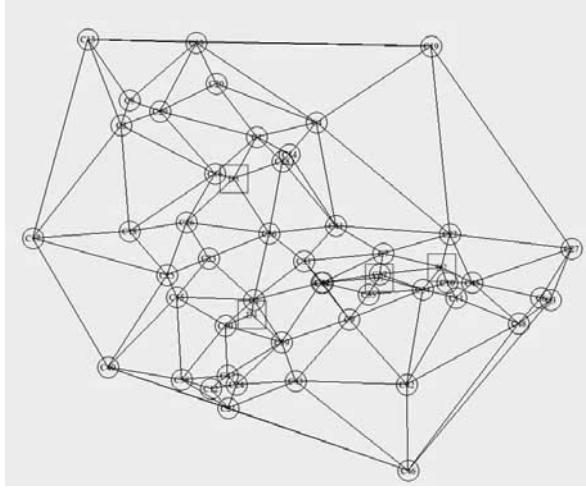


Рисунок 3 – Структура сцены

Для построения триангуляции используется метод «разделяй и властвуй» со стратегией «строй и перестрой». Из триангуляции Делоне можно удалить вершину за $O(N)$ и в триангуляцию Делоне можно добавить вершину за время $O(N)$ [8].

4 Построение решения и его оптимизация

После загрузки входных данных и построения структуры сцены требуется создать агентов грузовиков и заявок.

Изначально грузовики находятся на складах в точках погрузки. Считаем, что количество грузовиков на каждом складе известно. Далее действуя автономно, но согласовано между собой в рамках ПВ-сети агенты заявок и грузовиков выстраивают расписание. Далее опишем правила поведения агентов. Агентов удобно представлять в виде конечных автоматов. Считаем, что агенты работают параллельно по тактам. Каждый такт – один цикл обработки сообщений от других и шаг конечного автомата.

Решение считается найденным, когда у агентов уже нет возможности более улучшить результат.

4.1 Поведение агента грузовика

На Рисунке 4 показано взаимодействие агентов грузовиков и заявок.

Агент грузовика может находиться в следующих трех состояниях:

- 1) CHAIN_STATE_DONT_WAIT – не ждет ни от кого ответов (начальное состояние),
- 2) CHAIN_STATE_WAITING_FOR_REPLY – ожидает ответа на отправленные запросы заявкам на присоединение к его маршруту,
- 3) CHAIN_STATE_WAITING_FOR_ACCEPT_MOVEREQUEST – ожидает подтверждение от заявки на переход в его маршрут из маршрута его грузовика.

Логика поведения агента грузовика:

- 1) В состоянии CHAIN_STATE_DONT_WAIT, если нет запросов от заявок на переход из других маршрутов, грузовик ищет соседние заявки, которые не включены в маршрут – он рассматривает заявки, которые являются соседними с одной из вершин его маршрута. При рассмотрении каждой заявки агент грузовика оценивает, может ли он ее вставить в свое расписание. Если может, то заявке посыпается предложение, а агент грузовика переходит в состояние CHAIN_STATE_WAITING_FOR_REPLY. Если есть предложения о переходе от заявок из маршрутов других грузовиков, то они анализируются, если предложение вы-

годное, агент грузовика соглашается забрать заявку, посыпает ей сообщение и переходит в состояние CHAIN_STATE_WAITING_FOR_ACCEPT_MOVEREQUEST. Для грузовика вариант является наиболее выгодным, если он дает минимальный средний тариф.

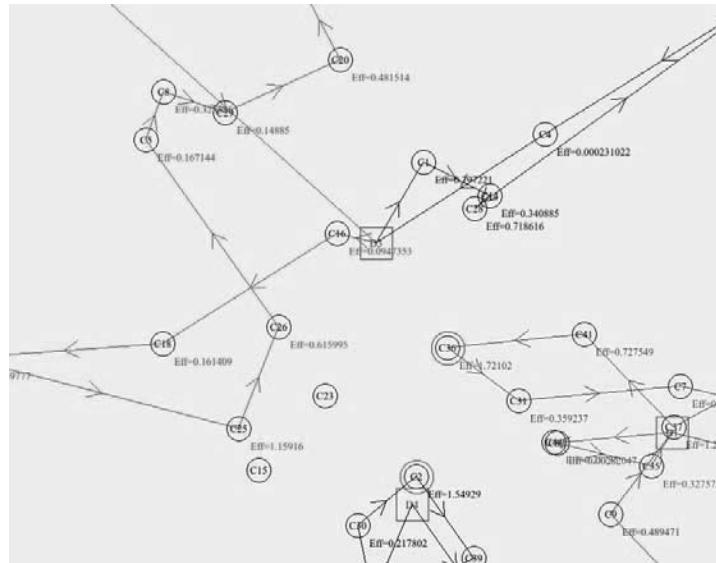


Рисунок 4 – Взаимодействие агентов

- 2) В состоянии CHAIN_STATE_WAITING_FOR_REPLY агент грузовика ожидает ответы на отправленные запросы. Приходящие запросы от заявок анализируются. Если пришедший вариант выгоднее, чем те варианты, на которые были отправлены запросы, то посыпается подтверждение заявке, приславшей этот вариант и агент грузовика переходит в состояние CHAIN_STATE_WAITING_FOR_ACCEPT_MOVEREQUEST, а всем заявкам, которым были отправлены запросы, посыпается отказ. Если пришли ответы от всех заявок, которым они были направлены, то принимается самый выгодный вариант из тех заявок, что согласились и агент грузовика переходит в состояние CHAIN_STATE_DONT_WAIT. Всем нереализованным заявкам посыпается отказ и информация о них удаляется.
- 3) В состоянии CHAIN_STATE_WAITING_FOR_ACCEPT_MOVEREQUEST ждет подтверждение от заявки, на предложение которой согласился агент грузовика. На все остальные запросы агент грузовика отвечает отказом. После получения ответа от заявки грузовик принимает / не принимает ее и переходит в состояние CHAIN_STATE_DONT_WAIT.

4.2. Поведение агента заявки

Агент заявки может находиться в следующих пяти состояниях:

- 1) CUSTOMER_STATE_NO_PROPOSALS - нет предложений ни от одного агента грузовика (начальное состояние),
- 2) CUSTOMER_STATE_WAITING_FOR_ACCEPT - ждет принятие в маршрут грузовика,
- 3) CUSTOMER_STATE_THEREARE_PROPOSALS - есть предложения от грузовиков,
- 4) CUSTOMER_STATE_WAITING_FOR_REPLY_IMPROVEMENTS - ждет ответа на посланные запросы на переход к другим грузовикам,
- 5) CUSTOMER_STATE_WAITING_FOR_ACCEPT_IMPROVEMENTS - ждет перехода от текущего грузовика к другому.

Еще одним из индикаторов состояния агента является признак, обслуживаем ли он (стоит ли он в маршруте какого-либо грузовика).

Логика поведения агента грузовика:

- 1) В состоянии CUSTOMER_STATE_NO_PROPOSALS агент заказа ждет предложений грузовиков, если он не входит в маршрут грузовика. По приходу предложений от грузовиков агент заказа переходит в состояние CUSTOMER_STATE_THEREARE_PROPOSALS. Если заказ входит в маршрут грузовика, то агент заказа сравнивает средний тариф грузовика и свой тариф заказа. Если тариф заказа выше, чем тариф грузовика, то агент заказа отправляет предложение о переходе соседним цепочкам и переходит в состояние CUSTOMER_STATE_WAITING_FOR_REPLY_IMPROVEMENTS.
- 2) В состоянии CUSTOMER_STATE_THEREARE_PROPOSALS агент заказа пребывает заданное число тактов (это настраиваемый параметр, обычно его значение 3-5). Собранные за это число тактов предложения анализируются, выбирается лучшее и агент заказа соглашается и отправляет согласие агенту грузовика, приславшего лучшее предложение и переходит в состояние CUSTOMER_STATE_WAITING_FOR_ACCEPT.
- 3) В состоянии CUSTOMER_STATE_WAITING_FOR_ACCEPT агент заказа прибывает до момента пока либо не придет отказ от грузовика на предложение которого согласился агент заказа, либо грузовик не включит заявку в маршрут, от предложений всех других агентов грузовиков агент заявки отказывается. После наступления этого события агент заказа переходит в состояние CUSTOMER_STATE_NO_PROPOSALS.
- 4) В состоянии CUSTOMER_STATE_WAITING_FOR_REPLY_IMPROVEMENTS агент заказа ждет отправленных заявок на переход другим агентам грузовиков. Когда придут ответы на все отправленные запросы, агент грузовика выбирает агента грузовика, который прислал лучший положительный ответ, отправляет ему подтверждение перехода и переходит в состояние CUSTOMER_STATE_WAITING_FOR_ACCEPT_IMPROVEMENTS. Если нет согласных взять заявку, то агент заказа встает в состояние CUSTOMER_STATE_NO_PROPOSALS.
- 5) В состоянии CUSTOMER_STATE_WAITING_FOR_ACCEPT_IMPROVEMENTS агент заказа ждет перехода / отказа в переходе от текущего грузовика к согласившему ее взять другому грузовику и отвечает отказом на все предложения других грузовиков. После наступления события (ответа или перехода) агент заявки переходит в состояние CUSTOMER_STATE_NO_PROPOSALS.

Изменение маршрутов грузовиков прекращается, когда мультиагентная система входит в стабильное состояние, больше нет нераспределенных заявок и/или ни одна заявка не может улучшить свое положение.

При динамическом изменении сцены (добавлении / удалении / изменении заявки / грузовика) и обновлении структуры сцены (триангуляции Делоне) система выходит из достигнутого стабильного состояния и начинает опять к нему стремиться и расписание перестраивается с учетом новых ограничений. Таким образом достигается адаптивность и возможность быстро обрабатывать происходящие события.

5 Прототип планировщика и экспериментальное тестирование пакетного режима

Описанный выше мультиагентный подход был реализован в виде программы для ЭВМ на языке программирования C++, для организации агентов и их взаимодействия использовались структуры данных, специально разработанные авторами для организации работы мультиагентной системы по тактам.

Разработанный планировщик тестировался на известных примерах [3], для которых найдены наилучшие (на текущий момент) варианты решений. Результаты сравнения и работы программы представлены в Таблице 1.

Результаты экспериментов показывают, что заказы и ресурсы достаточно эффективно ведут квазипараллельные встречные «аукционы», которые позволяют системе обходить многие

локальные оптимумы, которые могли возникнуть при обычной одной глобальной последовательной «жадной» стратегии.

Таблица 1 – Результаты тестирования прототипа планировщика

№	Пример	МАС	Известное лучшее решение	Различие с МАС(%)
1	Pr01	1238,62	1083,98	14,26%
2	Pr02	2205,31	1763,07	25,08%
3	Pr03	3371,24	2408,42	39,97%
4	Pr04	3567,31	2958,23	20,58%
5	Pr07	1732,44	1423,35	21,71%
6	Pr08	2727,46	2150,22	26,84%

Важно понимать динамику этой картины и учитывать, что используется модель «Shared costs» – заказы разделяют стоимость грузовика, что ведет к динамическому тарифу, который в каждый момент времени может пересматриваться, вызывая перемещения заявок между грузовиками до достижения устойчивого неравновесия (неустойчивого равновесия).

При этом любой переход заявки на грузовик делает его еще более выгодным для других заявок, и те заявки, которые раньше не решались переходить, могут принять решение и перейти на этот грузовик в любой следующий момент времени, в зависимости от складывающейся ситуации.

Получаемые расписания как «устойчивые неравновесия» являются основой для дальнейшего гибкого изменения расписаний по событиям, приходящим в реальном времени.

Заключение

Результаты показывают, что уже самая простая мультиагентная система, построенная за 1-2 месяца, позволяет даже в пакетном режиме быстро (менее, чем за 1 сек) построить вполне приемлемое допустимое решение, которое отличается от наилучшего, известного на данный момент, не более, чем на 40%, в среднем 20-25%.

Если заявки подобраны так, чтобы составить плотное расписание, то описанная мультиагентная система может и не построить допустимого решения в этом случае, часть заявок останется без размещения, как часто и происходит на практике.

При анализе и сравнении решений, получаемых при помощи МАС и известных лучших решений, обнаружено, что текущая МАС относительно правильно распределяет заявки по грузовикам (очень похоже на то, что в лучших решениях), но плохо осуществляет маршрутизацию грузовика, выстраивая правильно порядок доставки заявок. Это является важным сигналом о необходимости введения нового Агента маршрута для повышения сложности решения, который бы согласовывал решения заявок при поддержке их более активного взаимодействия с целью формирования более устойчивых согласованных решений.

В дальнейшем планируется реализовать более сложные схемы проактивного взаимодействия агентов, которые еще более позволят улучшить результаты.

Также планируется провести эксперименты по устойчивости построенного решения, добавляя заявки по одной в различных порядках.

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] O. BrÄysy, and M. Gendreau. «Tabu Search Heuristics for the Vehicle Routing Problem with Time Windows». Internal Report STF42 A01022, SINTEF Applied Mathematics, Department of Optimisation, Oslo, Norway. 2001.
- [2] J.-F. Cordeau, G. Laporte, A. Mercier. «A unified tabu search heuristic for vehicle routing problems with time windows» // Journal of the Operational Research Society 52, 928-936. 2001.
- [3] Rzevski G., Skobelev P. Managing complexity. – WIT Press, London-Boston, 2014 – 198 pp.
- [4] <http://neo.lcc.uma.es/vrp/known-best-results/>
- [5] Applegate, D. L.; Bixby, R. M.; Chvátal, V.; Cook, W. J. (2006), The Traveling Salesman Problem.
- [6] L. Bodin, B. Golden, A. Assad and M. Ball. Routing and scheduling of vehicle and crews: The state of the art // Computers and Operations Research, vol. 10, 1983.
- [7] A. Ramalingam, K. Vivekanandan. Genetic Algorithm based Solution Model for Multi-Depot Vehicle Routing Problem with Time Windows // International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering. Vol. 3, Issue 11, November 2014.
- [8] Скворцов А.В. Триангуляция Делоне и ее применение. Томск: Изд-во Томск. ун-та, 2002. –128 с.

МУЛЬТИАГЕНТНАЯ СИСТЕМА СОГЛАСОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ ГРУППОЙ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Д.С. Будаев, Г.Ю. Вощук, Н.А. Гусев, А.Н. Мочалкин

ООО «НПК «Сетецентрические платформы»

443013, Самара, ул. Московское шоссе, 17, офис 22-03, Россия

info@network-centric.ru

тел: +7 (846) 279-37-79

Ключевые слова: согласованное планирование, распределенное планирование, мультиагентные технологии, роевой интеллект, адаптивное планирование, беспилотные аппараты, сетево-центрический подход.

Abstract

This paper proposes approach to creating multi-agent systems for adaptive action planning of groups together-acting unmanned aircraft vehicles for joint missions. The aim of current and future developments is the creation of complex scientific and technical solutions for the coordinated planning and actions management of UAV groups in real time.

Введение

Применение классических методов поиска решений не всегда эффективно для решения сложных многофакторных задач, особенно в условиях высокой динамики событий, влияющих на результаты планирования и согласования отдельных планов распределенных устройств. Ярким примером такой задачи является задача управления объединенной группой беспилотных летательных аппаратов (БЛА).

БЛА сегодня активно применяются в различных отраслях экономики, часто они используются для решения критически важных задач, требующих реагирования в кратчайшие сроки. В числе подобных задач можно отметить использование БЛА аварийными и спасательными службами для поиска пострадавших и оперативного доступа к участкам местности, доступ человека к которым невозможен, опасен или затруднен; также к числу острых задач требующих оперативного решения можно отнести мониторинг и исследование состояния опасных и труднодоступных объектов, высотных сооружений, трубопроводов. Названные задачи успешно решаются с использованием БЛА, однако для обеспечения выполнения поставленных задач в кратчайшие сроки и повышения качества работ целесообразно использовать совместно действующие объединенные (выполняющие общие задачи) группы устройств.

Следует, однако отметить недостаточную проработку инструментов планирования действий и управления в реальном времени группами БЛА. Большинство существующих программных решений предназначены для планирования и управления действиями автономных БЛА, действующих в одиночку. Механизмы планирования, контроля и управления действиями объединенной группы БЛА позволили бы наиболее эффективно использовать имеющиеся в распоряжении ресурсы (заряды аккумуляторов или запасы топлива, временные ресурсы, аппаратные вычислительные ресурсы БЛА и навесное оборудование) и, при необходимости, оперативно распределять поступающие в режиме реального времени новые задачи между отдельными аппаратами группы непосредственно в процессе выполнения заданий, что позволило бы выполнять поставленные задачи качественно и в кратчайшие сроки.

Для качественного управления распределением ресурсов необходимо использовать систему планирования реального времени, которые развиваются в следующих направлениях:

- методы традиционной оптимизации и линейного программирования в области смешанных вещественно-целочисленных и логических переменных, усовершенствование точных методов решения задач, таких, как «метод ветвей и границ», методы нелинейного программирования, методы программирования в ограничениях [1];
- жадные алгоритмы, основанные на эвристических бизнес-правилах конкретных предметных областей;
- методы искусственного интеллекта, использование нейронных сетей и нечеткой логики;
- метаэвристики (локальный поиск, Tabu Search, GRASP алгоритмы) [2];
- имитационные методы муравьиных алгоритмов (Ant Colony Optimization (ACO)), роя пчел (Artificial Bee Colony (ABC)), стаи птиц и аналогичные (Bio Inspired), а также методы имитации отжига (Simulated Annealing (SA)), Монте-Карло и другие [3];
- методы распределенного решения задач планирования ресурсов с применением мультиагентных технологий и рыночного подхода [4].

Стоит отметить, что большая часть систем планирования реального времени остается централизованной и детерминированной. В направлении централизованного планирования разрабатываются гибридные эвристические алгоритмы, объединяющие традиционные правила диспетчеризации с генетическими, нейро-сетевыми, роевыми и другими подходами [5].

Как показано в [6], наиболее перспективными и адекватными для проектирования алгоритмов решения задач распределения ресурсов представляются мультиагентные технологии, среди которых наибольшим возможностями обладают комбинированные методы с рыночным подходом мультиагентной оптимизации. Во-первых, рыночная трактовка мультиагентных систем дает близкий к естественному для каждой задачи способ построения объектной модели – разделение на агентов задач и ресурсов, что позволяет в дальнейшем производить процедуру определения соответствия задачи и выполняющего ее ресурса. Во-вторых, может осуществляться онтологическая конкретизация свойств агентов для настройки на заданную предметную область. В-третьих, предоставляется возможность задания логики выбора действий агента на основании его удовлетворенности и виртуальной прибыли в системе «торгов» за ресурсы.

Распределенный принцип принятия решений и поддержка процессов самоорганизации в системе приводит к тому, что мультиагентные системы управления ресурсами динамически устойчивы к внешним воздействиям, к неполноте иискажению поступающей информации.

В узкоспециализированной системе для каждого вида сущности может быть реализован программный агент с уникальным набором поведений. Так в задаче патрулирования лесного массива можно выделить несколько различных типов поведения для агента летательного аппарата: визуальное исследование с широким охватом местности, осмотр участка тепловизором, ретрансляция получаемых от удаленного аппарата данных оператору. Для патрулируемой местности могут быть задействованы агент квадрата патрулирования, агент объекта наблюдения (вплоть до моста, участка тропы или конкретного дерева). Таким образом, вся система может быть гибко настроена под конкретные задачи ее использования.

1 Постановка задачи управления действиями объединённых групп БЛА

В рамках создания мультиагентной системы согласованного управления действий объединенных групп БЛА рассматривается задача распределения работ между автономными беспилотными аппаратами, выполняющими совместный облет некоторой заданной территории. Отметим, что облет может быть однократным, а может быть многократным – в таком случае фактически ставится задача постоянного патрулирования (многократного облета) территории с целью поддержания определенного уровня осведомлённости («наблюдаемости») области.

Рассматривается постановка задачи, при которой имеются следующие входные данные:

- ограниченная в размере территория, задаваемая координатами граничных точек;

- информация о рельефе территории (карта высот), при этом информация может быть представлена в неполном объеме;
- заданное количество беспилотных аппаратов. Каждый аппарат может выполнять полет по заданной контрольными точками маршрута траектории в автономном режиме и может «согласовывать» свои действия с другими аппаратами группы путем отправки и приема информационных сообщений по беспроводным каналам связи;
- сведения о тактико-технических характеристиках аппаратов (диапазон доступных скоростей и высот, время зарядки батареи и др.).

2 Планирование порядка выполнения подзадач

Для распределения отдельных порций работы между отдельными группы БЛА вводится понятие квадрата наблюдения, размер которого определяется характеристиками БЛА и его навесного оборудования. Общее задание предварительно декомпозируется на некоторый набор элементарных подзадач, которые в свою очередь могут быть определенным образом логически связаны между собой, например, образуя некоторый маршрут БЛА.

С каждым квадратом связывается отметка времени выполнения подзадачи (факта последнего пролета БЛА в данном квадрате) в формате чч:мм:сс. Принимается, что отметка проставляется в момент пролета аппарата через центр квадрата (с учетом допустимости некоторой погрешности). При очередном пролете БЛА над квадратом территории отметка времени обновляется. Таким образом, для каждого квадрата наблюдения БЛА может отслеживать какое время квадрат находился без наблюдения, что актуально для миссии патрулирования.

Рассмотрим более детально постановку задачи и сценарий работы с разработанной версией системы на примере взаимодействия с пользователем.

Имеется некоторая территория, для которой необходима организовать наблюдение. Оператор через программный интерфейс пользователя отмечает точки, ограничивающие некоторую территорию, которую требуется наблюдать. Далее оператор тип миссии, например, однократный облет территории и задает состав группы БЛА. Таким образом, формируется задача группе БЛА, которая отправляется на каждый аппарат созданной группы БЛА.

После нажатия Оператором кнопки «Планировать» начинается процесс распределенного планирования и формируется общий план действий группы, состоящий из отдельных индивидуальных полетных заданий для аппаратов группы. В результате в модуль взаимодействия с оператором поступают выработанные полетные задания БЛА, которые в совокупности составляют общий план выполнения задачи¹. После согласования с оператором плана выполнения задачи группировка готова к выполнению полетных заданий по нажатию кнопки «Выполнить».

В процессе выполнения задания оператор через модуль взаимодействия может остановить выполнение задания, вернуть на базу любой аппарат, изменить размер и конфигурацию заданных участков наблюдения, добавить или удалить область наблюдения, подключить к группировке новые аппараты. При изменении оператором указанных условий выполнения заданий полетный план должен быть обновлен, и предоставлен оператору через модуль взаимодействия.

Отметим, что все вышеописанные возможности системы управления уже алгоритмически и программным образом реализованы в стенде генерального конструктора системы управления группой БЛА, позволяющем моделировать различные типы миссий и сценарии группировки.

¹ Под «полетным заданием» в рамках текущей постановки понимается программный объект, описывающий траекторию полета БЛА и набор действий при полете по маршруту. План выполнения поставленной задачи в рамках описываемой постановки называется «полетным планом», который содержит набор полетных заданий отдельных аппаратов группировки и полностью определяет действие по выполнению задачи.

го управления, в том числе для разнородных групп БЛА (см. рисунок 1). В текущей реализации системы управления реализованы два критерия планирования: критерий по наблюдаемости квадратов наблюдения и критерий по связи между БЛА [7].

Далее более подробно рассмотрим схему работы обновленного алгоритма согласованного распределенного планирования групповых задач БЛА.



Рисунок 1 – Окно модуля взаимодействия с Оператором

Будем считать подзадачи (квадраты) далее неделимыми порциями работы ресурсов (БЛА). Планирование полетных заданий рассматривается как процесс назначения подзадач на ресурсы.

В момент постановки (формирования) задачи оператором все подзадачи (квадраты) становятся доступны планирования. Вся совокупность квадратов наблюдения передается механизму согласования областей ответственности БЛА. Данный механизм отвечает за начальное распределение отдельных областей территории по БЛА группы. Фактически механизм реализует кластеризацию совокупности квадратов наблюдения, в результате чего выделяется соответствующее количеству БЛА число кластеров.

После проведения начальной кластеризации каждый агент БЛА получает свою область, то есть некоторую совокупность квадратов наблюдения, в рамках которой агент должен построить маршрут и провести обследование данной области. Отметим, что в ходе выполнения отдельными БЛА своих задач данные области могут меняться, в том числе благодаря работе механизма балансировки нагрузки, позволяющей разгрузить менее производительные и медленные БЛА в пользу более быстрых БЛА. Цель механизма балансировки загрузки БЛА состоит в том, чтобы обеспечить завершение облета территории отдельными БЛА примерно к одному времени.

Процессом формирования маршрута (последовательности квадратов наблюдения) в рамках заданной области наблюдения занимается агент БЛА. Агент БЛА просматривает список доступных задач и оценивает альтернативные варианты выбора квадратов по заданным критериям планирования. Список критериев планирования должен определяться в первую очередь

самым типом миссии. Так для миссии однократного облета были выбраны два критерия планирования – по расстоянию и по наблюдаемости квадрата наблюдения. При выборе очередного квадрата наблюдения у него квадрата проставляется новая отметка времени прогнозного времени пролета через квадрат наблюдения.

В процессе планирования важно формировать маршруты аппаратов таким образом, чтобы траектория полета имела наименьшее количество поворотов и разворотов. Для решения этой задачи было предложено по аналогии с предложенным в работе [8] способом генерировать участки маршрута, квадраты подзадач в которых лежат на одной линии – для этого на начальном этапе агентом аппарата в первую очередь выбираются и помещаются в буфер новые, смежные с текущим квадратом подзадачи, лежащие на одной линии с уже запланированными, и лишь при отсутствии подзадач, удовлетворяющих данным условиям, агентом рассматривается другие варианты.

В ходе планирования и в процессе непосредственного выполнения заданий подзадачи могут перераспределяться между устройствами в зависимости загруженности их буферов (для обеспечения балансировки загрузки устройств. Предлагаемый подход позволяет в режиме реального времени производить распределение и балансировку подзадач и, в отличии от схожих способов формирования маршрута [8-11], изначально предназначен для группы совместно выполняющих задачу устройств, а получаемые с его помощью решения зависят от степени удовлетворенности агентов по нескольким одновременно существующим критериям.

3 Критерии удовлетворенности агентов

Для численной оценки и сравнения различных вариантов распределения квадратов наблюдения по БЛА выделяются критерии удовлетворенности агентов БЛА. В качестве критериев для расчета удовлетворенности агента в настоящий момент выбраны два критерия:

- 1) Критерий по наблюдаемости территории, зависящий от оценки наблюдаемости квадратов подзадач. Смысл критерия в том, чтобы в процессе планирования агенты аппаратов выбирали наиболее неисследованные за предыдущие интервалы времени квадраты наблюдения.
- 2) Критерий по суммарному расстоянию маршрута БЛА. Смысл критерия в том, чтобы выбирать на каждом шаге планирования такую совокупность квадратов наблюдения, лежащих на одной прямой, которая бы обеспечивала бы на заданное число шагов вперед максимальную утилизацию ресурса БЛА, то есть минимальное количество пролетов БЛА без «обслуживания» квадрата наблюдения.

Суммарная удовлетворенность системы на некотором шаге определяется как сумма удовлетвореностей всех агентов аппаратов по критерию наблюдаемости квадратов и критерию по расстоянию с учетом весов данных критериев (сумма весов равна 1):

$$KPI_{\text{системы}} = k_{\text{покрыт.}} * \sum_{i=1}^N KPI_i \text{ покрыт.} + k_{\text{расстоян.}} \sum_{i=1}^N KPI_i \text{ расстоян.}$$

Чем выше суммарный KPI системы, тем лучше качество решения, выбранного с учетом вышеописанных критериев.

При согласовании полетного плана каждый аппарат предоставляют набор возможных вариантов изменения своего положения. Каждый из этих вариантов может быть охарактеризован показателями удовлетворенности отдельно взятого аппарата по покрытию и связи. Суммарная удовлетворенность системы на некотором шаге планирования определяется как сумма удовлетвореностей всех агентов аппаратов по всем текущим критериям с учетом весов данных критериев. Чем выше суммарный KPI системы, тем лучше качество решения, выбранного с учетом вышеописанных критериев.

Таким образом итоговой полетный будет представлять из себя совокупность вариантов всех аппаратов группировки (один утвержденный вариант из списка альтернативных для каж-

дого), обеспечивающий максимальный показатель KPI системы в целом. При сравнении нескольких возможных вариантов полетных планов принимается тот вариант, KPI которого больше оценок KPI по другим планам.

3.1 Критерий планирования маршрута по наблюдаемости квадрата

Критерий удовлетворенности агента БЛА по наблюдаемости зависит от времени, в течение которого квадрат оставался без наблюдения. То есть от того времени, в течение которого ни один аппарат группировки не пролетал квадрат и не производил на нем наблюдения. Данную величину будем называть оценкой наблюдаемости квадратов. На рисунке 2 приведен вариант графика функции для расчета оценки наблюдаемости квадрата (значение в интервале от 0 до 1) от времени без наблюдения в секундах.

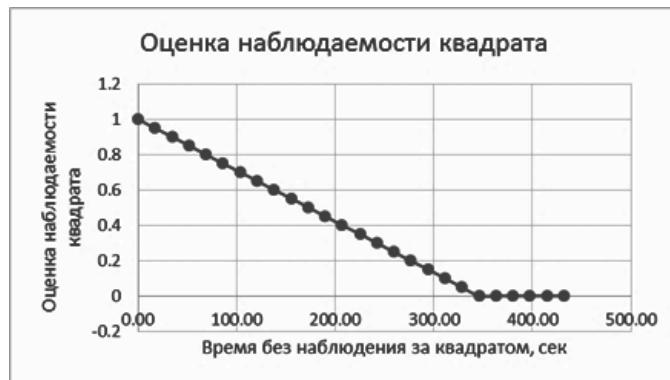


Рисунок 2 – График функции оценки наблюдаемости квадрата

Вид и наклон функции может корректироваться, в том числе, с учетом приоритетов квадратов наблюдения, путем умножения времени без наблюдения за квадратом на значение приоритета. Предлагается задавать приоритет значениями от 1 до 3. Значение 1 задает максимальный приоритет, значение 3 задает минимальный приоритет.

Таким образом, при значении приоритета 2 и более возможны более длительные интервалы без наблюдения за квадратами с данными приоритетами при тех же значениях оценки наблюдаемости квадрата. Как следствие, при выборе квадратов наблюдения для квадратов с большим приоритетом значения оценки наблюдаемости квадратов будут меньше, а значит, меньше будет удовлетворенность агентов аппаратов от выбора квадратов с большим приоритетом при одинаковых значениях времени без наблюдения.

Отметим, что изменение вида функции возможно также в ходе работы системы (в процессе коллективного распределенного планирования), т.е. реализуется возможность динамически управлять «привлекательностью» квадратов наблюдения для агентов аппаратов через корректировку параметра приоритета и вида функции.

Оценка наблюдаемости квадратов территории также меняется со временем согласно дискретным отсчетам (таймеры с дискретизацией на каждом аппарате). Это означает, что данный критерий будет способствовать выбору наименее наблюдаемых квадратов, а сама оценка наблюдаемости «затухает» с ходом времени согласно виду выбранной функции.

Критерий по наблюдаемости квадратов территории оценивается с помощью функции, показанной на рисунке 3. Чем ниже оценка наблюдаемости квадрата, который рассматривается как вариант нового положения агента аппарата, тем выше может быть удовлетворенность агента от выбора такого квадрата.

Данный критерий позволяет оценивать не только один конкретный квадрат, но и совокупность квадратов в определенном направлении (так называемая страда). Данный подход

позволит лучшим образом определить наиболее желательный вектор движения аппарата. Вид и наклон функции может корректироваться, в том числе, в процессе планирования.

Отметим, что для типа миссии многократного пролета при различных значениях наблюдаемости квадратов данный критерий будет иметь важное значение, в то время как для однократного наблюдения более важен критерий по суммарному расстоянию маршрута.

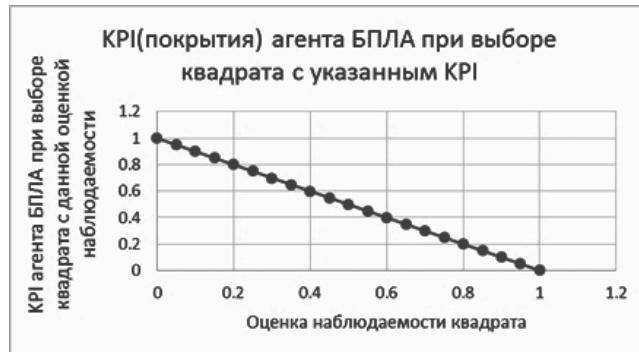


Рисунок 3 – График функции KPI агента аппарата

3.2 Критерий планирования маршрута по суммарному расстоянию маршрута

Критерий определяет удовлетворенность агента БЛА от альтернативных вариантов выбора квадратов наблюдения. Так, при планировании маршрута из базовой станции в рамках ограниченной области ответственности, состоящий из набора квадратов наблюдения, у агента БЛА есть несколько различных вариантов прокладки маршрута. Каждый вариант, состоящий из набора квадратов наблюдения, лежащих на одной прямой, можно оценить по данному критерию (допускается последовательности из одного квадрата наблюдения). Привлекательность набора квадратов для агента БЛА тем выше, чем выше значение отношения длины пути по рассматриваемым квадратам наблюдения к общей длине пути рассматриваемого варианта (см. рисунок 4), т.е.

$$\frac{\text{Длина пути по квадратам наблюдения}}{\text{Общая длина пути}} \rightarrow \max$$

Причем, стоит отметить, что можно оценивать как текущие альтернативные варианты и сравнивать их без учета дальнейших маршрутов, действия аналогично «жадному алгоритму». Однако в данной работе и реализации системы предлагается оценивать текущие альтернативные страды (квадраты по прямой) в совокупности с будущими страдами на несколько шагов вперед. То есть на текущем шаге планирования при выборе страды рассчитывается значение критерия для текущей страды и для заданного количества будущих страд заданного количества шагов алгоритма, которые станут доступны при выборе данной страды на текущем шаге. Таким образом, алгоритм позволит как бы вести некоторое окно расчета вперед на несколько страд, выбирая текущий набор квадратов не полностью «жадным» образом, а отслеживая возможную выгоду в будущем для каждого альтернативного варианта.

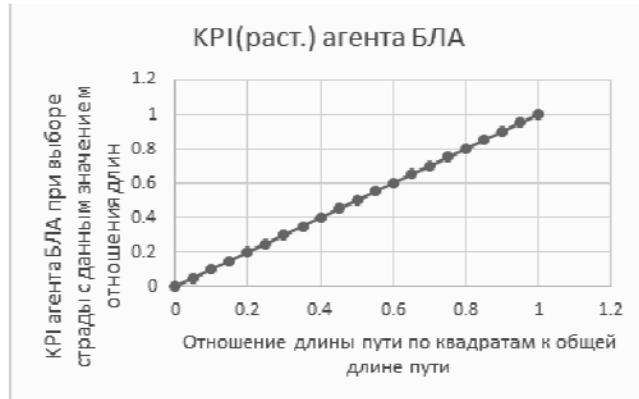


Рисунок 4 – График функции KPI агента БЛА по критерию расстояния

4 Механизм балансировки по времени выполнения миссии

Механизм балансировки обеспечивает адаптивное перераспределение отдельных квадратов между БЛА группы с целью минимизировать разницу между временами окончания работ отдельными БЛА группы. Перераспределение подзадач-квадратов выполняется между двумя участвующими БЛА. В ходе выполнения подзадач БЛА обмениваются прогнозами времен завершения своих подзадач. Если БЛА определяется значительное различие между своим временем выполнения и временем выполнения соседнего БЛА (разница больше некоторого порогового значения) и прогнозное время выполнения подзадач соседним БЛА больше собственного, то агент БЛА рассчитывает, какое количество квадратов должно быть передано от соседнего БЛА, чтобы сократить общее время выполнения всего облета. Далее отправляется запрос на перераспределение указанного количества подзадач, после чего квадраты перераспределяются или агент БЛА получает отказ (например, по причине другой оценки времени выполнения своих квадратов соседним БЛА, если он смог уже передать часть квадратов другому БЛА). Таким образом, механизм адаптивной балансировки по времени выполнения обеспечивает выполнение групповой миссии за минимальное время в случае различной производительности БЛА и в условиях поступления незапланированных событий, например, ввода в группу новых БЛА.

5 Результаты исследования работы системы

Для исследования работы системы была проведена серия экспериментов, в ходе которых на вход системе предоставлялись наборы данных, формирующие в совокупности начальные условия задания:

- координаты границ территории наблюдения;
- количество БЛА, для выполнения задания;
- размер квадрата наблюдения.

Целью исследований являлась оценка эффективности распределения подзадач по устройствам группы, оценка формируемых полетных планов БЛА, оценка времени на подготовку задания, исследование реакции системы на изменения задания в ходе планирования.

Рассмотрим подробнее работу системы при выполнении отдельных сценариев.

Для осуществления однократного наблюдения была задана территория, отдельные участки которой обладают разной степенью приоритета (рисунок 5), общее количество подзадач (квадратов наблюдения было рассчитано исходя из технических характеристик оборудования БЛА (разрешающей способности видеокамер) и составило 746.

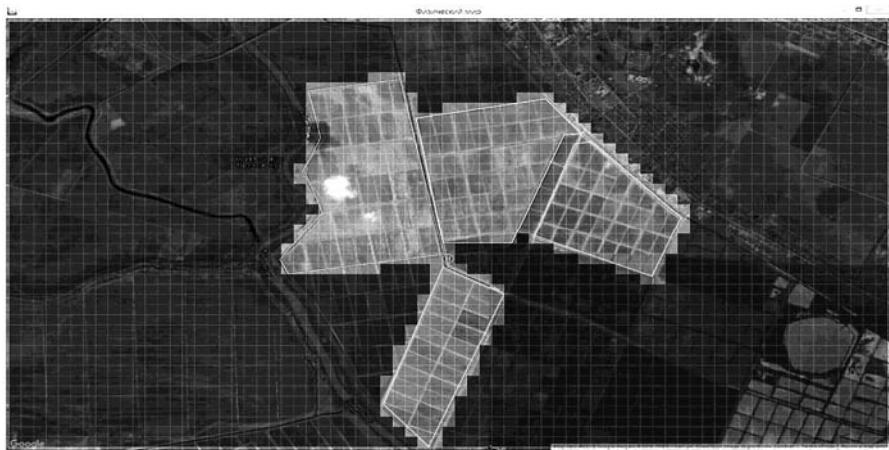


Рисунок 5 – Территория наблюдения площадью 12,73 км², для выполнения задания

В ходе испытаний осуществлялось планирование как объединённых для групп, состоящих из различного количества устройств, так и для одиночного БЛА. Полученные данные о времени на выполнение задания представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты исследований системы

Показатель	Группа из 3 БЛА	Группа из 4 БЛА	Группа из 10 БЛА	Одиночный БЛА
Время на полное планирование миссии, секунд	62	50	21	165
Прогнозное время выполнения миссии, минут	404,23	304,23	145,33	1205,13
Время реакции на добавление области (время перераспределения подзадач между БЛА), секунд	9	15	13	6
Общий КПИ системы по окончании планирования, %	78	79	68	95

По результатам исследований можно сделать несколько выводов.

Во-первых, общие затраты времени на выполнение задания напрямую зависят от количества квадратов наблюдения в миссии и количества распределенных устройств БЛА, участвующих в процессе планирования. При одинаковом количестве квадратов наблюдения чем больше устройств участвует в планировании, тем быстрее система способна выдать план выполнения миссии всей группой. Это объясняется распределенным характером механизма планирования, который позволяет использовать ресурсы всех вычислительных устройств в процессе планирования, что сокращает конечное время получения общего плана. Планирование для одиночного БЛА может занимать большее время, чем планирование для группы устройств, поскольку все подзадачи должны быть последовательно оценены одним устройством.

Во-вторых, чем большее количество БЛА участвует в миссии, тем меньше времени требуется группе для выполнения всего задания. Это легко объясняется тем, что каждый БЛА действует в зоне своей ответственности и параллельно с другими БЛА группы, согласуя планы работ выравнивая загрузку каждого БЛА с помощью механизма перераспределения подзадач, что сокращает суммарное время выполнения всей миссии.

В-третьих, время реакции системы на изменение обстановки тем меньше, чем меньше устройств участвуют в отработке данного изменения, поскольку для согласования изменений требуется проведение переговоров некоторого количества затронутых изменениями агентов.

Также стоит отметить, что общая эффективность работы системы характеризуется показателем общего KPI, который в свою очередь определяется удовлетворенностью каждого агента БЛА. При этом в общем случае KPI отдельно действующего аппарата с учетом отсутствия конкуренции за подзадачи будет выше, чем общий KPI группы совместно действующих устройств, которые вынуждены в некотором смысле конкурировать и договариваться, идя на компромисс. Иначе говоря, показатель KPI служит лишь сигналом о необходимости оптимизации плана в ходе работы системы и может сравниваться только для сходных по составу групп БЛА.

Используемые в системе методы мультиагентного планирования по сравнению с ранее отмеченными традиционными способами могут использоваться в децентрализованных системах в реальном времени. Их применение обеспечивает управление процессами планирования и выполнения заданий, они могут быть использованы для управления группами БЛА, состоящими из большого числа устройств и способны оперативно обрабатывать задачи большого объема.

Заключение

Системы управления группами робототехнических средств, в том числе беспилотными летательными аппаратами, активно развиваются в настоящее время [12-15], при этом перспективным направлением их развития является выработка технических решений для использования в них инструментов планирования согласованных групповых действий мобильных аппаратов при выполнении общей задачи. Для успешного использования таких подобных систем их функционал должен помимо планирования заданий позволять производить корректировку сформированных планов выполнения задач в изменяющихся условиях, в том числе реагировать на непредвиденные ситуации путем перераспределения подзадач между отдельными БЛА группы.

По мнению авторов, метод планирования групповых действий посредством взаимодействия самих аппаратов будет обладать важными преимуществами по сравнению с централизованными планированием. Так, мультиагентное планирование групповых действий может быть организовано на вычислительных модулях отдельных аппаратов. Данные модули реализованы на основе одноплатных компьютеров с возможностью сетевого взаимодействия между ними. Разработанная система позволяет планировать и корректировать по событиям согласованные действия БЛА группы посредством взаимодействия модулей и таким образом решать поставленные задачи вне зависимости от количества используемых ресурсов (состава группировки БЛА) и с учетом большого количества введенных в модель одновременно влияющих на эффективности работы критериев.

В число задач БЛА, наиболее востребованных рынком, входят:

- применение БПЛА в пожарных и спасательных работах;
- мониторинг и обследование территории с целью охраны и контроля;
- оценка индексов вегетативности растений для нужд сельского хозяйства;
- фото и видеосъемка подвижных объектов в сфере отдыха, туризма, развлечений.

При создании новых аппаратных комплексов предназначенных для решения групповых задач одним из наиболее продолжительных и затратных этапов является стадия разработки программных решений [16]. Универсальность и независимость от контекста задачи предлагаемых методов решения позволит сократить время на внедрение и снизить затраты на их создание за счет сокращения стадии разработки программных решений. Таким образом, в короткие сроки возможно проектирование и ввод в эксплуатацию основанных на использовании мультиагентных технологий планирования программно-аппаратных комплексов БЛА нового поколения, способных взаимодействовать и работать в группе и применимых для широкого спектра различных задач, разнообразных областей хозяйства и промышленности.

Список литературы

- [1] Michael L. Pinedo Scheduling: Theory, Algorithms, and System – Springer. – 2008. – 673.
- [2] Vos S. Meta-heuristics: The State of the Art in Local Search for Planning and Scheduling / A. Nareyek (Ed.). Berlin, Springer-Verlag, 2001. P. 1–23.
- [3] Binitha S, S Siva Sathya, A Survey of Bio inspired Optimization Algorithms, International Journal of Soft Computing and Engineering (IJSC) ISSN: 2231-2307, Volume-2, Issue-2, May 2012
- [4] P. Skobelev. Multi-Agent Systems for Real Time Adaptive Resource Management. In Industrial Agents: Emerging Applications of Software Agents in Industry. Paulo Leitão, Stamatios Karnouskos (Ed.). Elsevier, 2015. P. 207–230.
- [5] Ганичин О.Н. Поисковые алгоритмы стохастической аппроксимации с рандомизацией на входе // Автоматика и телемеханика, 2015, № 5. С. 43-59.
- [6] G.Rzevski, P.Skobelev. Managing complexity. WIT Press, 2014, 198 p.
- [7] Будаев Д.С., Вощук Г.Е., Гусев Н.А., Майоров И.В., Мочалкин А.Н. Согласованное управление группой БПЛА с применением мультиагентных технологий и сетевентрического подхода // Материалы 8-й мультиконференции по проблемам управления МКПУ-2015, 28 сентября-3 октября 2015 г., Дивноморское, Геленджик, Россия. Т.3. – Ростов-на-Дону: Изд-во ЮФУ, 2015. – с. 1-1. ISBN 978-5-9275-1132-7.
- [8] E. Santamaría, F. Segor, I. Tchouchenkov, and R. Schoenbein. Rapid aerial mapping with multiple heterogeneous unmanned vehicles. International Journal On Advances in Systems and Measurements, vol. 6, no. 3 and 4, pp. 384–393, 2013.
- [9] C. Di Franco, G. Buttazzo. Energy-Aware Coverage Path Planning of UAVs. Autonomous Robot Systems and Competitions (ICARSC), 2015 IEEE International Conference, pp. 111-117
- [10] F. Kamrani Using On-line Simulation in UAV Path Planning, Licentiate Thesis in Electronics and Computer Systems, KTH, Stockholm, Sweden, 2007
- [11] Ergezer H., Leblebicioğlu K. 3D path planning for multiple UAVs for maximum information collection //Journal of Intelligent & Robotic Systems. – 2014. – Т. 73. – №. 1-4. – С. 737-762
- [12] Амелин К.С., Ганичин О.Н. Мультиагентное сетевое управление группой легких БПЛА. Нейрокомпьютеры: разработка, применение, 2011, № 6, стр. 64–72.
- [13] Тимофеев А.В., Юсупов Р.М. Принципы построения интегрированных систем мультиагентной навигации и интеллектуального управления мехатронными роботами. Int. Journal “Information Technologies & Knowledge”, 2011, vol.5, no. 3, pp. 237–245.
- [14] Baxter J.W., Horn G.S., Leivers D.P. Fly-by-Agent: Controlling a Pool of UAVs via a Multi-Agent System. The 27th SGAI International Conference on Artificial Intelligence, 2008, vol. 21, no.3, pp. 232-237.
- [15] Koo T.J., Shahruz S.M. Formation of a group of unmanned aerial vehicles (UAVs). American Control Conference (ACC), 2001, pp. 69–74.
- [16] Austin, Reg. Unmanned aircraft systems UAVs design, development and deployment. 1st ed. Wiley Aerospace Series, United Kingdom, 2010, pp. 221–226.

ПРИМЕР ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ АГЕНТОВ В МУЛЬТИАГЕНТНОЙ ПЛАТФОРМЕ ДЛЯ АДАПТИВНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ

Е.С. Левин¹, В.Б. Ларюхин¹, И.В. Майоров^{2,3}, А.В. Чехов¹, В.В. Сazonov¹

¹ ООО «НПК «Разумные решения»

443013, Самара, ул. Московское шоссе, 17, офис 12-01, Россия

info@kg.ru

тел: +7 (846) 279-37-79

² ООО «НПК «Мультиагентные технологии»

443013, Самара, ул. Московское шоссе, д. 17, офис 12-01, Россия

info@kg.ru

³ Самарский государственный технический университет

443100, Самара, ул. Молодогвардейская, д. 244, Россия

тел: + 7 (846) 278-43-11

Ключевые слова: мультиагентные системы, событийное планирование, самоорганизация, системы распределения ресурсов, реальное время.

Abstract

The paper considers an example of dynamic re-scheduling in a self-organizing multi-agent world of orders and resources. Multi-agent platform includes a system of tasks and resources. In the result of exchanging messages under the influence of occurring events, they change their states continuously in order to improve values of their indicators. The result of this process is a schedule which stays self-consistent and relevant. The developed multi-agent system is a basis for numerous applied systems.

Введение

Современные системы производственного планирования и управления должны учитывать интеграцию предприятий в глобальную экономику, характеризующуюся ростом неопределенностей, динамикой изменений на региональных рынках, связанных с мировым разделением труда, изменений ценовой политики, перераспределением материальных, финансовых и трудовых ресурсов. Непрерывная модернизация производств, номенклатуры выпускаемых изделий, разработка новых и снятие устаревающих компонентов требуют оперативного управления заказами и ресурсами и системного согласования, и учета внешних и внутренних изменений. Поэтому современные автоматизированные системы управления и планирования должны работать в режиме, близком к режиму реального времени, с характерным значением, определяемым интервалом времени поступления нарушающих текущий план событий, таким как принятие нового заказа, изменения цены на комплектующие, непредвиденные события изменения производительности оборудования, изменения в критериях оценки деятельности и аналогичные внешние и внутренние события. При таком подходе построенный системой план может существенно измениться, что требует адекватной реакции системы планирования для предотвращения убытков в будущем [1, 2].

Системы планирования, основанные на централизованных подходах линейного и математического программирования, нейронных сетях, генетических алгоритмах и эвристиках, не позволяют в полной мере учитывать высокую динамику изменений, поскольку необходимо заново пересчитывать расписания и показатели для сотен взаимосвязанных производственных ресурсов и тысяч выпускаемых изделий [3, 4].

Поэтому для учета непредвиденных событий, уменьшения и парирования неопределенностей, динамики цен и доступности ресурсов большое распространение получают мультиагентные системы, в которых текущее расписание строится при помощи взаимодействующих путем передачи сообщений множества агентов задач и ресурсов, в сетях потребностей и возможностей на основе самоорганизации [5].

Реализуемые мультиагентные системы представляют собой сети слабо связанных решателей частных проблем (агентов), которые вместе способны решать такие задачи, которые не под силу ни одному из агентов в отдельности. Мультиагентная система состоит из множества агентов, помещенных в общую среду, от которой они получают данные, отражающие события, происходящие в среде, интерпретируют их и воздействуют на среду.

Результаты планирования, получающиеся при применении МАС, еще пока уступают по оптимальности традиционным методам в узком диапазоне выбранных постановок решаемых задач, но уже выигрывают у них при добавлении предпочтений и ограничений, не укладывающихся в известные постановки, а также по быстродействию, поскольку, как правило, не требуют полного пересчета при новых событиях.

Автоматическая адаптация планов, причем часто в ходе их исполнения, осуществляется непрерывно путем выявления конфликтов в расписаниях, проведения переговоров и достижения компромиссов между агентами заказов и ресурсов, что и позволяет системе работать в реальном времени.

1 МАС подход к построению систем планирования ресурсов

Общий подход к решению любой сложной задачи на базе мультиагентных технологий состоит в том, чтобы декомпозировать решаемую задачу на более мелкие, решить независимо и параллельно отдельные частные задачи и далее построить объединенное решение, согласовав на границах значения параметров путем переговоров и взаимных уступок [5, 9].

В различных сферах производственного планирования декомпозиция любой сложной задачи, как правило, приводит к появлению пяти агентов: заказов и ресурсов, процессов и операций, продукта и штабному агенту расписания (в целом), а также агентам потребностей и возможностей, быстро (за счет параллельности) ищущим слоты в расписаниях.

Работа агентов строится на основе «виртуального рынка», где указанные агенты (или агенты их потребностей и возможностей, которым делегируются функции поиска для большего коэффициента распараллеливания) постоянно ищут друг друга, покупая и продавая услуги (время ресурсов) и заключая сделки, и тут же их пересматривая при самой первой же возможности - как в собственных интересах (в рамках отведенного бюджета), так и в интересах объединяющего их общего целого.

Каждый агент имеет собственные целевые показатели, свертка которых в соотнесении с заданным идеалом говорит о его общей удовлетворенности, а также бюджет виртуальных денег, который он должен решить, как потратить на перестройку расписания. В выбранной предметной области у агентов заданы целевые критерии (срок, стоимость, риск и др.) и функции удовлетворенности со значением от 0 до 1, описывающие их состояния по текущим значениям критериев. При этом за отклонения от желаемых идеальных показателей агенты могут получать штрафы, а при их достижении – премии. Регулирующие этот процесс функции бонусов и штрафов даются каждому агенту индивидуально и влияют на его поведение, определяя насколько он «эластичен» в своих уступках при принятии решений и даже при нарушении ограничений.

При этом действует принцип компенсаций: приходящий новый агент, претендующий на лучшее место в расписании, должен компенсировать ухудшение положения другим агентам, которых он просит подвинуться, в противном случае он сам должен искать себе хуже размещение. Но решения частных конфликтов не должны уменьшать общую ценность решения для

системы в целом, а если такая ситуация все-таки возникает – ухудшение положения должно быть компенсировано системой в целом.

Сущность мультиагентного планирования ресурсов заключается в следующем.

- Взаимодействие агентов осуществляется путем отправки и приема сообщений, с помощью которых изменяются переменные, описывающие внутреннее динамическое состояние агентов.
- Различные классы агентов задач, заявок, подзадач, операций и исполняющих ресурсов настраиваются путем применения формализованных знаний из базы знаний. База знаний описывает всю совокупность знаний о данной предметной области в виде свойств, атрибутов, отношений и правил. Агенты различных классов имеют возможность взаимодействовать с онтологией.
- Критерии оптимизации расписаний описываются многокомпонентными функциями, определяемыми в онтологии предметной области. Каждый критерий также определяет штрафные и бонусные функции агентов. Каждый отдельный критерий с помощью весовых коэффициентов может быть инкорпорирован в общие критерии, выраженные в виртуальных денежных единицах. Текущее состояние агентов оценивается при помощи функций удовлетворенности состоянием.
- Агенты и ресурсы взаимодействуют в сцене виртуального мира, являющейся конкретной реализацией данной предметной области. Каждый агент преследует свою собственную цель – получить как можно больше виртуальной прибыли, зависящей от положения его подзадач и операций в расписании, и от соотношения затрат и дохода в каждый момент времени, повысив, тем самым, свою удовлетворенность.
- Улучшения состояний агентов приводят к улучшению динамического плана в целом. Виртуальные счета агентов позволяют изменять состояния на более выгодные, компенсируя ухудшения других за дополнительные виртуальные деньги.
- Изменения отдельных групп показателей планирования производится при сравнении компонент критериев со средними по группе агентов, и проводится в итерационном алгоритме на основе взаимовыгодного обмена виртуальных денег на состояние показателей.
- Алгоритмы планирования работают в две стадии- бесконфликтного планирования и проактивного планирования.
- Бесконфликтное планирование основано на быстром включении очередной работы (заявки) в расписание, без учета критериев оптимизации, а только с условиями удовлетворения ограничений.
- Проактивная стадия характеризуется многократным перепланированием с учетом критериев, улучшения которых инициируются использованием виртуальных денежных средств. Процессы продолжаются до тех пор, пока не достигнут критерий останова - достигнут заданный коридор изменений, исчерпан предел итераций, исчерпаны виртуальные денежные средства.
- Проактивная стадия процесса позволяет динамически приспосабливаться к различным внешним воздействиям на мультиагентную систему.
- Глубина перепланирования задается волновым процессом - числом внутренней вложенности перепланирований для уменьшения глобальных перестроек расписаний.
- Применение виртуальных денег позволяет оперативно воздействовать на направление эволюции изменения показателей планирования в заданном направлении.

Предлагаемый мультиагентный подход означает радикальную смену парадигмы в теории построения расписаний и переход от комбинаторных переборов - к самоорганизации сложных расписаний при решении экстремально сложных задач, которые строятся в ходе установления консенсуса всех участвующих агентов – и чем больше их классов участвуют, тем более гармо-

ничным и ближе к реальной жизни является построенное расписание, что и определяет его качество.

2 Реализация мультиагентного подхода в платформе «Разумных решений»

Мультиагентный подход применен в создании большого количества коммерческих систем в НПК «Разумные решения» [7,8].

Мультиагентная платформа создана для автоматизации разработанной методологии и увеличения качества и эффективности процесса разработки для создания систем управления ресурсами в реальном времени для различных областей [6,8].

Платформа совмещает функциональность базового адаптивного планировщика, которая может быть легко модифицирована для новой области с симуляцией среды, что является полезным для экспериментов с различными моделями ПВ-сетей, методами и алгоритмами.

Функциональность мультиагентной платформы дает возможность конечным пользователям указывать начальную сеть ресурсов, формировать последовательность событий вручную или автоматически или загружать ее из внешних файлов, создавать индивидуальные настройки для всех спросов и ресурсов, запускать симуляции с различными параметрами и визуализировать процесс и результаты экспериментов.

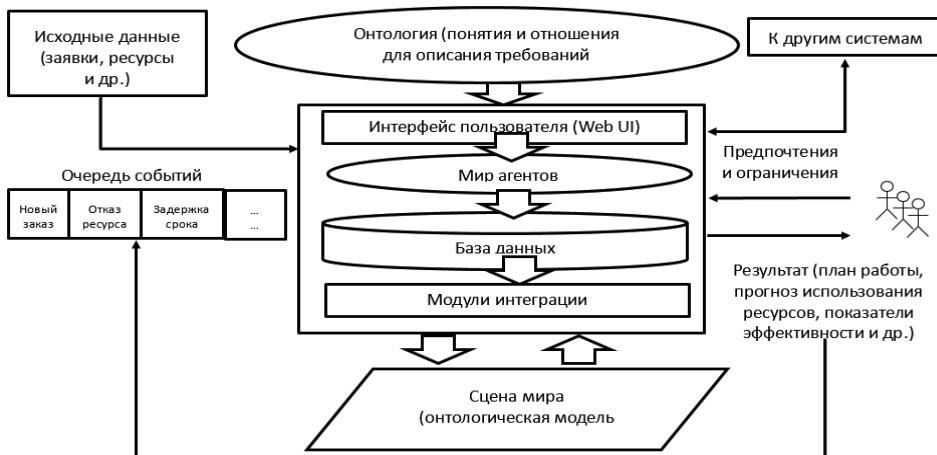


Рисунок 1 – Логическая архитектура мультиагентной системы

- Онтология элементов предметной области, с отношениями “часть- целое, состоит из-, имеет атрибуты, связана с”, и др.
- Система ввода исходных данных, допускающая ввод задач на исполнение с необходимыми атрибутами и характеристиками;
- Система генерации и ввода событий в очередь на обслуживание;
- Мультиагентная исполняющая система, состоящая из динамического мира агентов, взаимодействующих между собой, допускающая визуализацию процессов через интерфейс пользователя. Агенты обращаются как в базу знаний, представленной онтологией, так и в базы данных, содержащих необходимую детальную техническую информацию о интересующих их компонентах. Модули интеграции предназначены для взаимодействия с подсистемами сторонних разработчиков, например, с системами навигации;

- Сцена мира представляет собой динамический временной слепок текущей ситуации, реализующей конкретную модель, построенную агентами системы на основе онтологии и поступающих внешних событий;
- Системы ограничений могут описывать жесткие рамки ограничений, которые не могут быть обойдены агентами системы без вмешательства пользователей.

Мир агентов ПВ-сети (виртуальный рынок) – это пространство для работы агентов, в котором запускаются и исполняются экземпляры классов агентов. Агенты под управлением исполняющей системы создаются и уничтожаются, обмениваются сообщениями, обращаются в сцену для чтения информации, изменяют свое состояние.

Сцена мира – представляет собой динамический временной слепок текущей ситуации, реализующей конкретную модель, построенную агентами системы на основе онтологии и поступающих внешних событий

Исполняющая система – подсистема, обеспечивающая асинхронное выполнение программ агентов при переходе из одного состояния в другое (диспетчер агентов) и передачу сообщений между агентами,

Очередь событий – подсистема, обеспечивающая накопление событий, приходящих из внешнего мира, и их последовательную обработку.

Специализированные компоненты и компоненты интеграции – позволяют выполнять дополнительные специализированные функции для интерфейсов, графических компонент и внешних систем

Системы ограничений описывают жесткие рамки ограничений, которые не могут быть обойдены агентами системы без вмешательства пользователей

Эти компоненты могут быть применены для новых предметных областей и приложений.

3 Событийное планирование задач на ресурсах

Принцип событийного подхода к планированию задач на ресурсах рассматривается на модельной ситуации, позволяющей пояснить логику самоорганизации системы при построении расписаний.

3.1 Описание задачи и сценария планирования

Производится моделирование планирования 5 задач на 2-х ресурсах. Задается горизонт планирования в 100 ед. времени. Оценочная функция критериев имеет одну компоненту, связанную с суммой удовлетворенности задач по отношению к времени окончания и предпочтаемому идеальному времени окончания. Максимум функций удовлетворенности задач расположены в точке идеального значения. Оптимизация производится по данному суммарному критерию, то есть задачи динамически планируются так, чтобы суммарная удовлетворенность возрасала:

$$y^{task} = \sum_i \alpha_i^{task} \cdot f_i^{task}(x, x_i^{id}),$$

где y^{task} - удовлетворенность задач, α_i^{task} - веса задач, в данном случае=1, x - критерий, в данном случае время окончания, x_i^{id} -предпочитаемое (идеальное) время окончания задачи i , $f_i^{task}(x, x_i^{id})$ -функция удовлетворенности задачи i .

В дальнейшем для отображения используются усредненные функции удовлетворенности, т. е. удовлетворенность делится на количество агентов.

Ресурсы заданы одинаковыми, их удовлетворенность задана единичной при нагрузке, большей половины рабочего времени.

Задачи 1-5 имеют одинаковые характеристики, представленные в таблице 1, в ней также приведены значения положения максимумов функций удовлетворенности задач. Графики функций удовлетворенности задач приведены на рисунке 1.

Для упрощения идентификации в системе номера задач заданы в формате 01...05.

Таблица 1 – Параметры задач 1-5 в системе моделирования

<i>Параметр</i>	<i>Значение</i>
Время поступления	1
Объем работ (задачи 1-4) и 5	6 (12)
Диапазон допустимых длительностей	1 - 100
Максимумы функций удовлетворенности задач 1-5	50;52;54;56;52
Диапазон допустимых времен начала	10 - 100
Диапазон допустимых времен окончания	1 - 100
Исходное количество средств	100

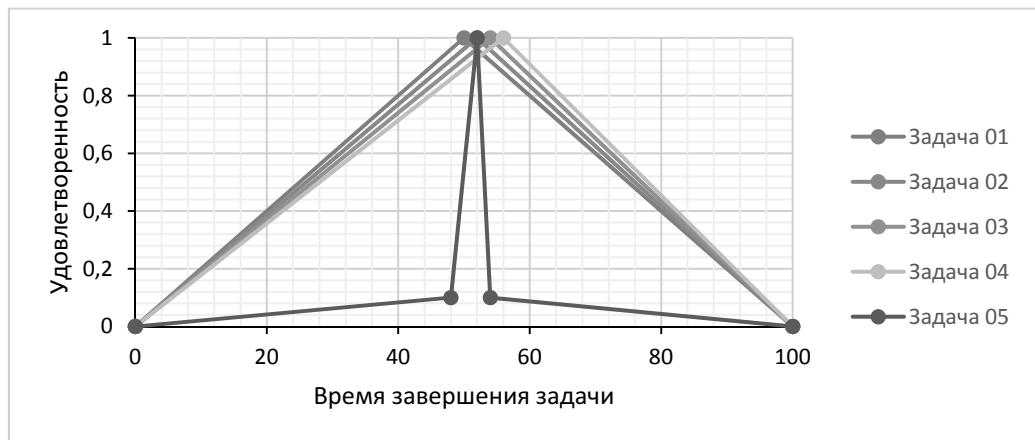


Рисунок 2 – Вид графиков функций удовлетворенности задач

С помощью подсистемы внешних событий моделируется следующий сценарий, при выполнении которого происходит планирование задач на ресурсах и строится динамическое расписание.

- 1) Момент времени $t=0$ является стартом моделирования, которое продолжается до момента времени $t=100$.
- 2) В момент времени $t=0$ доступен только 1 ресурс. В сцену поступают 4 задачи с номерами 01-04 в момент времени $t=1$.
- 3) В момент времени $t=5$ поступает задача 5.
- 4) В момент времени $t=8$ подключается ресурс №2.
- 5) В дальнейшем все изменения в сцене происходят путем переговоров агентов и их стремлением повысить свою удовлетворенность. Сохранение нового состояния сцены происходит по достижении консенсуса конфликтующих агентов при увеличении суммарной удовлетворенности.

3.2 Анализ событий планирования и состояния агентов

В системе моделирования проводится графическое отображение показателей в зависимости от времени, т.е. учитываются как события таймера с постоянным шагом (для снятия динамических графиков), так и события изменения сцены (приход задач, перепланирования, включение или отключения ресурсов).

Полная картина по событиям сцены доступна из подсистемы внешних событий поступления и лога сообщений агентов внутри системы (Рисунок 3).

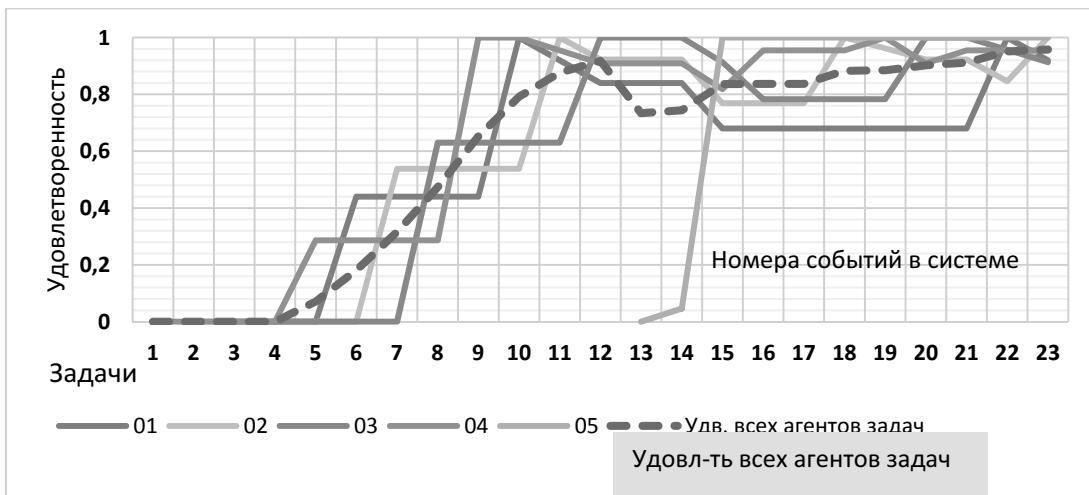


Рисунок 3 – Удовлетворенности задач в процессе моделирования в зависимости от событий. По горизонтальной оси указаны номера событий для последующего анализа

Для сопоставления событий приведен график средней удовлетворенности агентов задач с привязкой к модельному времени (рисунок 4).

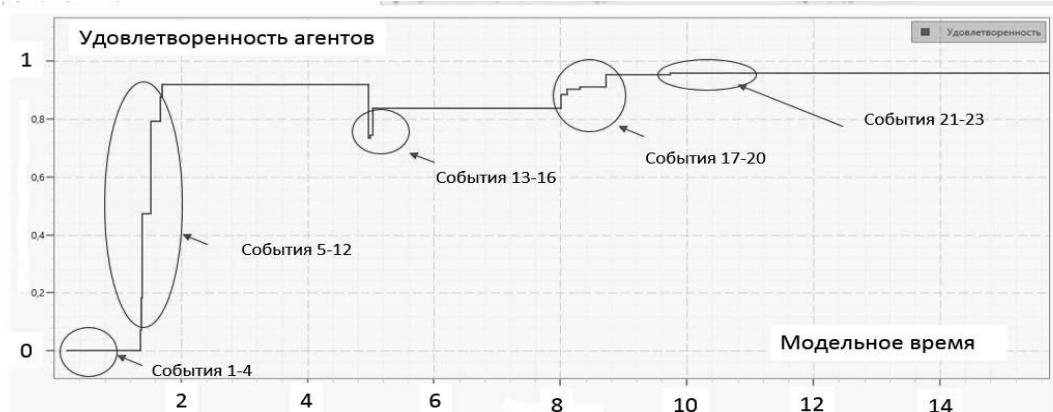


Рисунок 4 – Средняя удовлетворенность агентов задач в процессе моделирования в зависимости от времени. Показаны характерные события в системе

События сцены идентифицируются в следующей последовательности (рисунки 5-9).

- 1) События 1-4 - поступление задач 1-4 в сцену, но планирования еще не происходит;
- 2) События 5-8 – бесконфликтное планирование 4-х задач;
- 3) События 9-12. Поочередное перепланирование задач 01-04 с целью оптимизации по имеющимся, при этом происходит рост средней удовлетворенности агентов задач (штриховая линия на рисунке 2)

Происходит первичное планирование задач 1-4. Ступенчатый рост удовлетворенности агента ресурса (4 ступеньки), по планированию каждой задачи. Вначале задачи размещаются в интервале времен 16-22 (01), 22-28 (02), 28-34 (03) и 10-16 для 4. Затем задачи проактивно улучшают свое состояние, перемещаясь в положения, близкие к максимумам функций удовлетворенности:

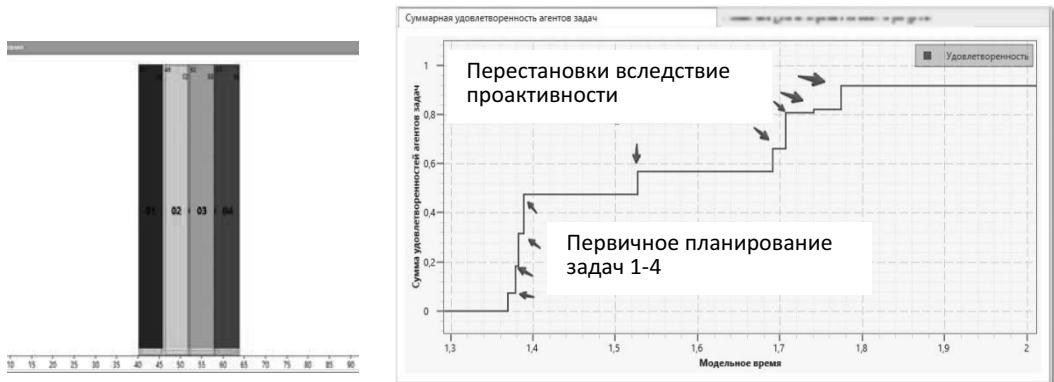


Рисунок 5 – Расписание задач на ресурсе №1 и средняя удовлетворенность агентов задач в событиях 1-12 на начальном отрезке времени

- Событие 13 – приход в сцену богатой задачи (№5), без планирования. Суммарная средняя удовлетворенность падает, потому что у удовлетворенность 5-й задачи в этот момент равна 0 (она не запланирована), а число задач увеличилось. Задача 5 затем занимает место, предложенное ей ресурсом.

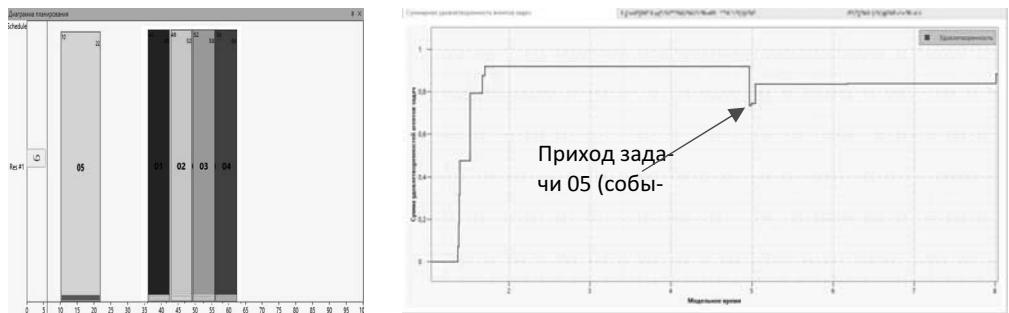


Рисунок 6 – Расписание задач на ресурсе №1 и средняя удовлетворенность агентов задач при поступлении задачи 5

- Событие 14- планирование 5-й задачи в наилучшее для нее место с раздвиганием задач 1-4 на этом же ресурсе, которые после оценки выгодности предложения от 5-й задачи получают компенсации за уступку места в расписании.
- События 15-16 – задачи 1-4 после уступок задаче 5 пытаются найти для себя улучшений, что видно на графике общей удовлетворенности агентов задач;
- Событие 17 – включение ресурса №2;
- Событие 18- задача 2 переходит на ресурс №2, ее удовлетворенность растет, суммарная усредненная – тоже;
- Событие 19- задача 3 переходит на ресурс №2, ее удовлетворенность растет, суммарная усредненная также возрастает.

После того, как ресурс 2 был включен в момент времени, равный 8 единицам модельного времени, агенты задач №2 и 3 в фазе проактивности перешли на ресурс 2, вследствие двух причин. Во-первых, функция удовлетворенности агентов ресурсов зависит от загрузки, и ресурс 2 поэтому стремится ее увеличить. Во-вторых, удовлетворенность агентов задач 2 и 3 возрастает, поскольку они располагаются в расписании ближе к максимумам своих функций

удовлетворенности. В тоже время у агента ресурса 1 удовлетворенность упала, однако, её падение компенсируется общим повышением показателя удовлетворенности.

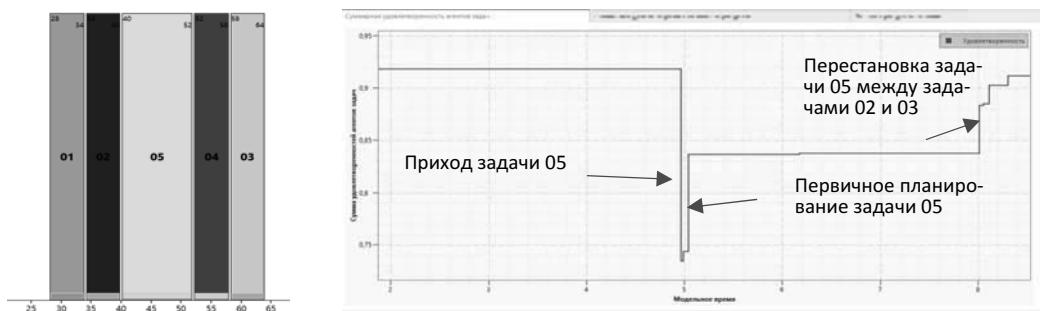


Рисунок 7 – Расписание задач на ресурсе №1 и средняя удовлетворенность агентов задач при проактивном перепланировании

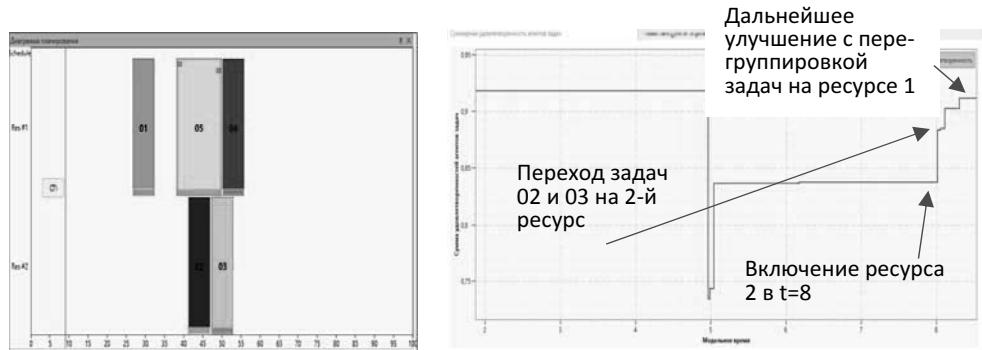


Рисунок 8 – Расписание задач на ресурсах №№1-2 и средняя удовлетворенность агентов задач при перепланировании задач 2 и 3 на свободный ресурс №2

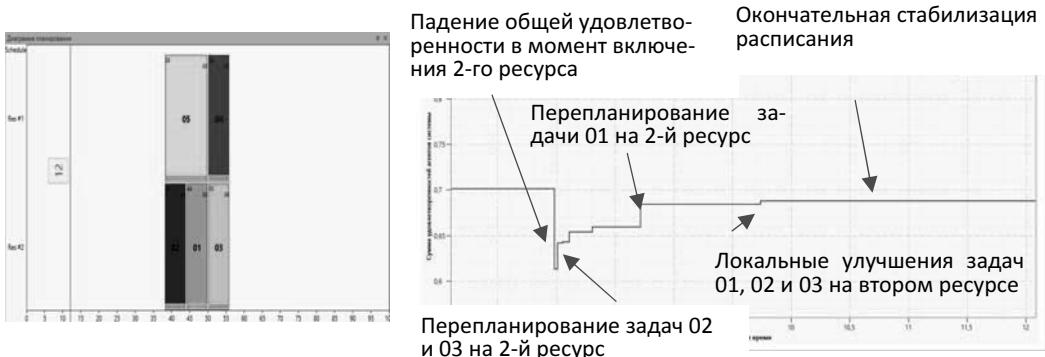


Рисунок 9 – Финальное стабилизированное расписание после 10-го момента времени и удовлетворенность агентов с момента включения дополнительного ресурса до стабилизации расписания

В результате перепланирования удовлетворенность этих агентов возросла, что так же видно на графиках удовлетворенности агентов задач в виде подъема, начиная с момента времени, равного 8.

- 7) Событие 20- задача 1 переходит на ресурс 2;
- 8) События 21-23—расписание немного изменилось из-за небольших подвижек задач 1, 2, 3 и 4 в лучшее положение в результате проактивного перепланирования.

После этого расписание стабилизировалось (рисунок 9).

Мультиагентная система ресурсов и задач достигла квазивновесного состояния в результате самоорганизации, что привело к расписанию, удовлетворяющему всех участников процесса планирования.

Заключение

Существующие системы планирования производственных ресурсов, логистики, цепочек поставок не в полной мере соответствуют новым тенденциям в развитии концепций управления, в которых необходим учет распределенности ресурсов и событий окружающей среды, приводящих к непрерывной перестройке планов.

Разработанная мультиагентная платформа основана на управлении планированием под влиянием внешних и внутренних событий, приводящих к изменениям в состоянии производственных, финансовых, людских ресурсов.

Рассмотрен детальный пример планирования задач на ресурсах, в котором агенты системы строят текущее расписание, основываясь на своих предпочтениях и ограничениях, согласовывая и изменяя свои состояния под влиянием внешних событий. Состояния каждого из агентов системы оценивается им на основании многокритериальной функции удовлетворенности, в которой предпочитаемые критерии и атрибуты сравниваются с текущими значениями. Решения об изменении атрибутов принимается агентом по согласованию с другими агентами, интересы которых затрагиваются в процессе. Для управления процессами агенты используют микроэкономику, затрачивая виртуальную валюту на улучшение состояний. Протоколы переговоров агентов основаны на механизме компенсаций и консенсусе, когда вновь создаваемая часть расписания приводит к росту показателей системы.

В процессах планирования по событиям агенты задач вначале строят непротиворечивое расписание, затем непрерывно улучшают его. События поступления новых задач активизируют процесс изменения созданного расписания, причем часть агентов может уйти в худшие состояния, однако общие показатели системы после спада восстанавливаются. Под влиянием непредвиденных событий изменения доступности ресурсов активность агентов задач возрастает, ресурсы также стремятся получить свободные задачи и агенты перестраивают расписание. Таким образом, процесс планирования ресурсов и задач в любой системе может быть представлен к процессу самоорганизации в адаптивной мультиагентной системе.

Принципы событийного планирования, функции удовлетворенности и микроэкономика агентов, заложенные в платформу «Разумных решений», позволили реализовать большое количество прикладных систем – от расчета грузопотока и программы полета Международной космической станции, планирования производственной деятельности в цехах машиностроительных предприятий, транспортной логистики до оптимизации цепочек поставок товаров и управления ремонтными бригадами.

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] Hagel III J., Brown J., Kulasooriya D., Giffi C., Chen M. The future of Manufacturing - Making things in a changing world. Deloitte University Press. 2015. P.1-52.
- [2] Colombo A. W. and Karnouskos S., Towards the factory of the future: A service-oriented cross-layer infrastructure, in ICT Shaping the World: A Scientific View. European Telecommunications Standards Institute (ETSI), John Wiley and Sons. 2009. P. 65–81.
- [3] Jose M. Framinan, Rainer Leisten, Rubén Ruiz García. Manufacturing Scheduling Systems. Springer-Verlag London. 2014. P.400.
- [4] Xhafa F., Abraham A., Metaheuristics for Scheduling in Industrial and Manufacturing Applications. Series Studies in Computational Intelligence, Vol. 128. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 2008. P. 346.
- [5] 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. P. 207–230.
- [6] 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. – P. 383-386. ISBN 978-3-319-07550-1.
- [7] Yaroslav Shepilov, Daria Pavlova, Daria Kazanskaia, Valerii Novikov. Multithreading MAS for real time scheduling // Proceedings of the 16th IEEE/ACIS International Conference on Software Engineering, Artificial Intelligence, Networking and Parallel/Distributed Computing (IEEE/ACIS SNPД 2015), 1-3 June, 2015, Takamatsu, Japan. – IEEE, 2015. – P. 1-6. DOI: 10.1109/SNPД.2015.7176171
- [8] М.Ю. Тугаев, А.В. Речкалов, П.О. Скобелев. Управление машиностроительной корпорацией в реальном времени // XII Всероссийское совещание по проблемам управления ВСПУ-2014, Москва, 16 – 19 июня 2014 г.: Труды. [Электронный ресурс] М.: Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, 2014. – С. 9030-9043. Электрон. текстовые дан. (1074 файл: 537 МБ). 1 электрон. опт. диск (DVD-ROM). ISBN 978-5-91459-151-5. Номер государственной регистрации: 0321401153.
- [9] G. Rzevski, P. Skobelev. Managing complexity. WIT Press, 2014, 198 p.

РАЗРАБОТКА ПРОТОТИПА ГИБРИДНОЙ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ПЛАНИРОВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВА, ОБЪЕДИНЯЮЩЕЙ КЛАССИЧЕСКИЕ МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ И МУЛЬТИАГЕНТНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

С.С. Кожевников, А.Ю. Гребешков, П.Н. Герасимов, О.В. Ширяева

ООО «Научно–производственная компания «Разумные решения»

443013, Самара, ул. Московское шоссе, 17, офис 1201, Россия

koz@smartsolutions-123.ru

тел: +7 (846) 279-37-79

Ключевые слова: линейные алгоритмы, стратегическое планирование, гибридные системы, мультиагентные технологии, оперативное управление производством, адаптивное планирование в реальном времени.

Abstract

Currently the methodology of high-level production planning can be either fast or precise due to an algorithm used. In the clause the authors consider an approach that could combine slow but precise linear algorithms with fast but spread multi-agent technology and result in fast and precise hybrid software for production planning. The principles of hybrid algorithm as described is described and the first experiment results are given.

Введение

Грамотно составленный план организации производства позволяет учитывать максимальные возможности всего производственного процесса при принятии необходимых мер к использованию резервов, что окажет положительный эффект в виде роста прибыли и рентабельности производства, позволит увеличить долю предприятия на рынке, поднимет конкурентоспособность собственной продукции [1]. В подтверждение значимости повышения качества стратегического планирования приведем два высказывания известных ученых: «Стратегическое планирование имеет дело не с будущими решениями, а с будущим решений, принимаемых сегодня» (П. Друкер), «Для полного совершенства надо, чтобы подготовка была труднее самого дела» (Ф. Бэкон) [2].

В современном мире существуют различные способы организации производства на разных уровнях, в системах планирования производства могут использоваться разные алгоритмы, и каждый имеет свои достоинства и недостатки. Наиболее распространены линейные алгоритмы планирования, которые показывают результат, наиболее близкий к оптимальному, но для планирования в реальном времени им не хватает гибкости и адаптивности. Мультиагентные системы планирования лишены этих недостатков, но, в свою очередь, не всегда выдают оптимальный результат при планировании с нуля.

В данной статье описывается гибридная система стратегического планирования деятельности предприятия, которая сочетает в себе достоинства линейного и мультиагентного подходов и минимизирует недостатки последнего в качестве планирования.

Задача: разработка гибридного метода планирования и оптимизации ресурсов в режиме реального времени для повышения эффективности работы предприятий.

1 Анализ современных методов, средств и алгоритмов решения задач планирования производства и построения расписаний

В настоящее время общепринятой постановкой задачи планирования производства является построение расписания с учетом ограничений на ресурсы и отношения предшествования, которая обозначается аббревиатурой RCPSP (Resource-Constrained Project Scheduling Problem) [1]. Дано множество требований $N = \{1, \dots, n\}$ и множество K из k возобновляемых ресурсов $K = \{1, \dots, k\}$. В каждый момент времени t доступно $Q_k(t)$ единиц ресурса k . Заданы продолжительности обслуживания $p_i \in \mathbb{Z}^+$ для каждого требования $i \in N$. Во время обслуживания требования $i \in N$, при $t \in [S_i, C_i]$, требуется $q_{ik} \leq Q_k(t), \forall k = 1, \dots, K$. После завершения обслуживания требования освобожденные ресурсы в полном объеме могут быть мгновенно назначены на выполнение других требований. Необходимо определить моменты времени начала обслуживания требования $S_i, i \in N$, так, чтобы оптимизировать значение целевой функции (к примеру, минимизировать время завершения всех работ $C_{max} = \max_{i=1, \dots, n} \{C_i\}$, где $C_i = S_i + p_i$).

Для рассматриваемой постановки задачи существует достаточно большое количество ограничений и дополнительных уточнений по постановке задачи RCPSP, но как показано в [2,3] эта задача является NP-трудной в сильном смысле. На практике требуется решать подобные задачи за ограниченное время, и для этого существует несколько методов.

Одним из распространенных подходов является разработка полиномиальных эвристических алгоритмов. Для многих эвристических алгоритмов были найдены оценки погрешностей получаемого решения, также для таких задач допускается существование так называемой аппроксимированной схемы. В рамках данной схемы можно найти приближенное решение с относительной погрешностью $\varepsilon > 0$ не более любого заданного значения за время, полиномиально зависящее от $1/\varepsilon$ и от размера входных данных задач, как это показано в [4,5]. Однако указанные алгоритмы не позволяют осуществлять коррекцию расписания «на лету».

В работе [6] было предложено три варианта генетического алгоритма для решения задачи RCPSP, использующие соответственно кодировки в виде списка, вектора значений приоритета и вектора приоритетных правил. Во всех трех использовалась последовательная ДП (декодирующие процедуры), а также три оператора скрещивания: одноточечный, двухточечный и равномерный. Результаты экспериментов показали, что алгоритм проявляет себя наилучшим образом для двухточечного оператора скрещивания и кодировки списком. Алгоритм, следовательно, не предусматривает изменение списка до окончания работы.

Переборная схема, рассматриваемая в [7], основана на переборе всех ранних расписаний, строящихся посредством рассмотрения на каждом этапе всех вершин дерева возможных вариантов расписаний. Количество ветвей в этом дереве равно количеству упорядочений множества работ N , согласованных с ограничениями предшествования. Таким образом, чем больше ограничений предшествования, тем меньше ветвей имеет дерево перебора. Самый сложный случай для метода ветвей и границ в отсутствии ограничений предшествования. В этом случае дерево перебора содержит 2^n ветвей. Однако трудоемкость рассматриваемого алгоритма экспоненциально возрастает уже после 10–30 работ.

Методы стохастического поиска (Multi-Pass Serial Method) в [8] основан на эвристических методах. Он осуществляет запуск эвристического метода фиксированное число раз, при каждом запуске по-разному осуществляя выбор $h \in D_n$ на каких-то этапах и, тем самым, просматривая различные ветви дерева возможных расписаний. Из полученных расписаний выбирается лучшее. Простейший пример варьирования выбора – использование в каждом запуске определенной эвристики, однако эвристик не так много. Другой способ – случайный выбор $h \in D_n$, при этом для достижения более высокого эффекта можно пытаться выбирать наиболее подходящее распределение случайной величины. Метод стохастического поиска показывает высокие результаты в смысле оптимальности решения. Например, если осуществляется 500 запус-

ков с равновероятным выбором и 6 запусков с различными детерминированными эвристиками, средняя погрешность на базе из тысячи тестов составляет 5–10%. Однако указанный метод не позволяет осуществлять планирование в реальном масштабе времени и не предусматривает последовательного улучшения уже сформированного расписания.

Задачи теории расписаний могут быть сформулированы как задачи целочисленного линейного программирования. Решению таких задач посвящены, например, работы [9] и [10]. Для таких задач получена одна из самых эффективных нижних оценок – оценка Mingozzi. Она получена при частичной релаксации данной модели. В данной постановке допускается, что требование может обслуживаться больше чем за несколько единиц времени, но не меньше того. В модели частично нарушаются отношения предшествования и допускаются прерывания обслуживания требований. Тем не менее, в [11] показано, что для рассматриваемого случая уже для 60 требований существует 300000 интервалов, когда все требования обслуживаются параллельно.

В итоге, сложные задачи теории расписаний не могут быть удовлетворительно решены в рамках одного метода или алгоритма. Поэтому в работе [12] предложено использовать элементы сразу нескольких методов, которые обозначены как «гибридные алгоритмы». На сегодняшний момент данный подход представляется одним из самых перспективных направлений для исследования. В статье [12] авторы предлагают разбить задачу на две подзадачи:

- генерация допустимых решений;
- поиск оптимального решения среди допустимых.

Подзадачу поиска допустимого решения решается с помощью мультиагентной системы (МАС), а для решения задачи поиска оптимального или близкого к оптимальному решению используется генетический алгоритм.

Мультиагентные системы обладают следующим достоинствами [14–15]:

- возможность децентрализованного адаптированного планирования задач на ресурсы;
- поиск оптимального решения с помощью метода интерсубъективного взаимодействия;
- возможность внесения изменения в расписание непосредственно после появления событий;
- отсутствие необходимости полного пересчета расписания в случае изменения его отдельных фрагментов.

Далее рассмотрим гибридный метод планирования производства с учетом реакции на события.

2 Гибридный метод планирования производства с учетом реакции на события

Гибридный метод планирования производственного расписания основывается на совмещении классического линейного алгоритма с мультиагентным подходом в зависимости от поставленной задачи.

Для построения начального решения применяются многокритериальные алгоритмы традиционной комбинаторной оптимизации на основе математических методов линейного и нелинейного программирования. При появлении нового события (новый заказ, изменение численности или мощности ресурса) происходит перестроение плана с учетом этого события. Такая адаптивность обусловлена использованием мультиагентных алгоритмов. В их основу ложится понятие агента (актора) – виртуального представителя реальной сущности в системе. Агентов можно разделить на агентов потребностей и возможностей. Первые являются представителями задач в мультиагентной системе, а вторые представляют ресурсы, на которые необходимо запланировать задачи. При наступлении события срабатывают триггеры агентов, их состояние и коэффициент удовлетворённости меняется, тем самым инициируется процесс переговоров, чтобы агенты вновь могли вернуться к состоянию, удовлетворительному в данных условиях на момент времени. Удовлетворительное состояние всех агентов при этом не

свидетельствует об оптимальном плане производства. При наличии временного ресурса на оптимизацию полученного плана, возможно очередное применение многоокритериального алгоритма традиционной комбинаторной оптимизации.

3 Исследование метода гибридного планирования с помощью прототипа интеллектуальной системы планирования производства

Для иллюстрации предложенного алгоритма был разработан прототип интеллектуальной системы планирования производства, совмещающей линейные и мультиагентные методы планирования. Была разработана система стратегического планирования, позволяющая строить укрупненный производственный план предприятия с учетом загрузки ресурсов рабочих и оборудования, выявить узкие места производства и обеспечить реализацию исполнения заказов точно в срок.

Чтобы понять, насколько план, выстроенный по мультиагентным технологиям, отличается от оптимального, необходимо сравнить планирование с использованием линейного и мультиагентного подходов на одних и тех же данных. Исходными данными для проведения эксперимента выступил набор данных, описывающий производство разгонного блока и доступные на предприятии ресурсы. Данные предоставлены в XML файле и предварительно импортированы в систему.

Отправная точка эксперимента – сравнение оптимальности и скорости планирования 10 заказов с использованием только одного алгоритма. Для сравнения были выбраны следующие критерии: крайняя правая граница плана (дата сдачи последнего заказа), количество заказов, сданных с опережением и опозданием, среднее опережение и опоздание на 1 заказ, максимальное опережение и опоздание, равномерность загрузки ресурса (рабочего или оборудования). Равномерность загрузки ресурса рассчитана по формуле:

$$Unif^s = \left(1 - \frac{\left(\max_{mjnl}(T_{mjnl}^s) - \min_{mjnl}(T_{mjnl}^s) \right)}{\sum_{mjnl} T_{mjnl}^s} \right) * 100\%$$

где $T_{mjnl}^s = \{(t_{mj}^{end\ s}, t_{nl}^{start\ s})\}$ - множество всех интервалов простоя ресурса s , $t_{mj}^{start\ s}$, $t_{mj}^{end\ s}$ – времена начала и окончания операции m заказа j на ресурсе s ,
 $t_{nl}^{start\ s}$, $t_{nl}^{end\ s}$ – времена начала и окончания следующей по порядку на ресурсе s операции n заказа l , $(t_{mj}^{start\ s}, t_{mj}^{end\ s}) \cap (t_{nl}^{start\ s}, t_{nl}^{end\ s}) = \{\emptyset\}$.

Результаты планирования представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнение результатов планирования

Критерии	Линейный алгоритм	Мультиагентный алгоритм
Скорость составления плана	21 минута	70 секунд
Крайняя прав. граница плана	14.09.2017	09.01.2018
Опережение	70%	60%
Опоздание	30%	40%
Среднее опоздание на заказ (дн)	5,2	5,5
Среднее опережение на заказ (дн)	6	4,8
Max время опоздания	21	23
Max время опережения	17	19
Равномерность загрузки ресурсов	89%	72%

Из этого сравнения можно сделать вывод, что планирование с использованием мультиагентных алгоритмов предпочтительнее с точки зрения скорости планирования и возможности реагирования на различные события, но незначительно хуже с точки зрения качества плана.

4 Преимущества и перспективы развития метода и гибридной интеллектуальной системы планирования

Возможные преимущества гибридного метода планирования производства могут быть следующие:

- увеличение точности планирования (производственное расписание получается более оптимальным с точки зрения дат и загрузки ресурсов), но имеется возможность учета реакции на события;
- увеличение скорости планирования (мультиагентные алгоритмы осуществляют обработку событий быстрее полного комбинаторного перестроения планов).

Данный метод планирования имеет широкие перспективы развития. Он позволяет использовать новый подход в планировании производства на современных предприятиях машиностроительной отрасли, в также усовершенствовать действующие на них системы планирования и поддержки принятия решений.

Список литературы

- [1] Лазарев А.А., Гафаров Е.Р. Теория расписаний. Исследование задач с отношениями предшествования и ресурсными ограничениями / А.А. Лазарев, Е.Р. Гафаров. ВЦ РАН Москва, – 2007. – 80 с.
- [2] Lenstra, J.K. Complex of machine scheduling problems / J.K. Lenstra, A.H.G. Rinnooy Kan, P. Brucker // Annals of Discrete Math. – 1977. – Pp. 343–362.
- [3] Moore, J.M. An n job, one machine sequencing algorithm for minimizing the number of late jobs / J.M. Moore // Manag. Sci. – 1968.
- [4] Ковалев, М.Я. Интервальные ε-приближенные алгоритмы решения дискретных экстремальных задач: Дис. канд. физ.-мат. наук / БГУ, Минск. – 1986.
- [5] Alon, N. Approximation schemes for scheduling on parallel machines / N. Alon, G.J.Woeginger, T. Yadid // J. of Scheduling. – 2003. – Pp. 521–531.
- [6] Hartmann, S. A competitive genetic algorithm for resource-constrained project scheduling /S. Hartmann // Nav. Res. logist. – 1998. – Vol. 45, no. 7. – Pp. 733–750.
- [7] LSE: новое вычислительное ядро системы планирования LEDAS SCHEDULER 3.0 и перспективы его использования / А. Ершов, И. Иванов, В. Корниенко и др. – ЗАО ЛЕДАС, 2005. http://www.ledas.com/pdf/LEDAS_PP15_LSE_ru.pdf.
- [8] Kolish, R. Serial and parallel resource-constrained project scheduling methods revisited: Theory and computation. / R. Kolish // European Journal of Operational Research. – 1996. – Pp. 320–333.
- [9] Queyranne, M. Polyhedral approaches to machine scheduling / M. Queyranne, A.S. Schultz // Technical University of Berlin, Department of Mathematics. – 1994. – P. 61.
- [10] Van den Akker, J.M. Parallel machine scheduling by column generation / J.M. Van den Akker, J.A. Hoogeveen, S.L. Van de Velde. – INFORMS, 1999. – Vol. 47. – Pp. 862–872.
- [11] Brucker, P. Complex scheduling / P. Brucker, S. Knust // Springer-Verlag Berlin. – 2006.
- [12] Корбут, А.А. Гибридные методы в дискретном программировании / А.А. Корбут, И.Х. Сигал // АН СССР. Техн. кибернет. – 1998. – № 1. – С. 65–77.
- [13] Гречка, А.В. Решение задачи нахождения оптимального распределения ресурсов по выполняемым работам на основе мультиагентного подхода и генетического алгоритма. / А.В. Гречка, В.А. Головко // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2012.
- [14] Скобелев П. О. Интеллектуальные системы управления ресурсами в реальном времени: принципы разработки, опыт промышленных внедрений и перспективы развития // Приложение к теоретическому и прикладному научно-техническому журналу «Информационные технологии». – 2013. – №1. – С.1–32.
- [15] Rzevski G., Skobelev P. Managing Complexity. – WIT Press, 2014. – 198 p.

РАЗРАБОТКА БАЗЫ ЗНАНИЙ И ЭКСПЕРТНО-АНАЛИТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ПОДДЕРЖКИ ПРОЦЕССОВ ФОРМИРОВАНИЯ ПЛАНОВ ПРОЕКТОВ НА ОСНОВЕ ОТРАСЛЕВЫХ СТАНДАРТОВ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

В.Б. Ларюхин¹, О.И. Лахин², Ю.С. Юрьгина³, А.С. Анисимов³

¹ОАО «РКК «Энергия»

141070, Московская обл., Королёв, ул. Ленина, 4А, Россия

post@rsce.ru

тел: +7 (495) 513-80-20

² Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева
443086, Самара, Московское шоссе, 34, Россия
petr.skobelev@gmail.com

³ ООО «НПК «Разумные решения»,

443013, Самара, Московское шоссе, 17, Россия

<http://smartsolutions-123.ru/company/>

тел/факс: + 7 (846) 279-37-78, + 7 (846) 279-37-79

Ключевые слова: онтология, мультиагентные технологии, экспертная система, ракетно-космическая промышленность.

Abstract

The novelty consists in using domain ontology (Semantic Web) and “multi-agent internet” as an intellectual base for knowledge management of rocket and space enterprises and the whole industry.

Введение

Современные предприятия, находясь и функционируя в рамках острого соперничества с другими представителями рынка, нуждаются в обеспечении конкурентного преимущества, являющегося базисом успешного бизнеса и гарантом крепких позиций в своём сегменте. Одним из путей достижения данной цели является эффективное распределение ресурсов, способное отвечать высокой динамике изменений условий внешней среды.

Распределение ресурсов при управлении проектами – обширная сфера научных исследований, имеющая более чем 50 лет истории:

Теоретические исследования в этой области начинались с методов исследования операций, чьи результаты и по сей день применяются для решения ряда практических задач, таких, как медицинское обследование, библиотечное обслуживание, составление плана снабжений предприятий, постройка участков магистрали и т.д. [1]

На сегодняшний день список пополнился теорией выбора и методами принятия решений, теорией активных систем и рядом других новых направлений.

В этом направлении известен ряд трудов следующих известных ученых: Р.В. Гутч, В.И. Воропаев, В.Д. Шапиро, В.Л. Гуревич, В.Н. Бурков, Д.А. Новиков, Н.А. Коргин и другие, усилиями которых разработана математическая постановка задачи управления проектами, включая методы смешанного линейного и динамического программирования, программирования в ограничениях, статистические методы анализа, имитационного моделирования, в последнее время - метаэвристики (табу- поиск, моделирование отжига и другие), нейросети, генетические алгоритмы [2].

С практической стороны накоплен огромный опыт управления проектами, нашедший воплощение в трудах, рекомендациях и стандартах института управления проектами PMI (Project Management Institute).

Создан ряд программных продуктов для управления проектами, например, MS Project, PrimaVera, Windchill ProjectLink и др.

1 Анализ состояния и тенденций развития сферы управления ресурсами в проектах

В классической постановке задачи распределения ресурсов при управлении проектами люди-исполнители обычно исключены из рассмотрения и задача решается исходя из видения руководителя проекта, не спрашивая мнение исполнителей. Например, широко известны подходы к построению моделей для учета плохо формализуемого «человеческого фактора» (зашивание требований и сроков и т.д.), которые были разработаны в работах проф. В.Н.Буркова и его команды (ИПУ РАН) по теории активных систем [3].

В противовес классическому решению задачи управления проектами, где распределение задач происходит сверху вниз – от начальника к группе подчиненных - в последнее время все более активно развиваются новые подходы (например, теория интерсубъективного управления проф. В.Виттиха), направленные на поддержку принятия решений при командной работе специалистов, онлайн коммуникацию для поиска взаимопонимания (консенсуса), внутреннюю мотивацию исполнителей и т.д. [4].

В этом подходе используются принципы, отраженные на Рисунок 1.

Эти принципы управления в корне меняют постановку задачи при управлении ресурсами в проектах:

- все задачи и ресурсы проекта не являются наперед заданными и могут динамически изменяться в ходе проекта (появляться, исчезать, трансформироваться и т.д.);
- ныне доминирует централизованный и иерархический подход: всем участникам проекта назначается и предписывается «оптимальный» план действий, разрабатываемый «сверху» - в то время как требуется поддержка сетевого управления и командной работы «снизу»;
- участники проекта «снизу», со своими индивидуальными мнениями, предпочтениями и ограничениями, оказываются вне активного участия в части распределении ресурсов, сроков и т.д.;
- знания об особенностях задач и умениях специалистов остаются плохо формализованными и не используются в автоматизированном принятии решений о распределении ресурсов;
- один исполнитель может участвовать только в одном проекте – хотя на практике участники уже сегодня участвуют сразу в нескольких проектах;
- отсутствуют методы и средства перераспределения и пересмотра планов по событиям в реальном времени, включая появление новых задач, изменение ресурсов, задержки в выполнении задач и т.д.

Рассмотренные тенденции выдвигают новые требования, которые должны учитываться интеллектуальными системами поддержки принятия решений при управлении проектами.

2 Обзор существующих подходов и инструментов

В настоящее время на рынке программных систем существует целый ряд систем для управления проектами.

Свои продукты предлагают крупные зарубежные разработчики (Oracle – Primavera, Microsoft – MS Project Server, Desault Systems – Enovia, PTC – ProjectLink и другие) и некоторые отечественные компании, которые различаются по моделям, методом и средствам плани-

рования, удобству использованию, подходам к контролю и учету стоимости проекта и затраченного рабочего времени и многим другим параметрам.



Рисунок 1 – Сопоставление классических методов управления и новых подходов

По данным консалтинговой компании Gartner, специализирующейся на рынках информационных технологий, в течение последних лет ведущим игроком рынка программных систем управления проектами является Primavera, крупнейший независимый поставщик комплексных решений для управления проектами, ресурсами и портфелями проектов (интересно, что позиция известного продукта Microsoft Project, по мнению аналитиков, не является устойчивой и стабильной).

Экспертами отмечается, что мировой рынок программных систем управления проектами вырос за последние годы на 12% (для сравнения, системы разработки приложений продемонстрировали лишь 2%-й рост за 2012 год). Подобные темпы роста выше среднего уровня ожидаются и на ближайшие годы. По прогнозам аналитиков Gartner, интеграция функций управления проектами, управления продуктами и жизненным циклом изделий в единое решение для планирования и управления ресурсами пока находится в стадии разработки, и сформируется этот рынок после 2015 года.

2.1 Primavera

Программное обеспечение Primavera предназначено для автоматизации процессов управления проектами в соответствии с требованиями PMI, IPMA и стандартами ISO. Данное решение имеет модульную структуру, модули основаны на веб-технологиях [5]. Хранение данных осуществляется в едином хранилище. Для получения фактических данных и актуализации планов система предлагает модули для сбора данных в режиме реального времени, в режиме отсутствия постоянного подключения к сети и для пользователей мобильных устройств. Существует система административной поддержки, которая позволяет минимизировать риски, связанные с сопровождением крупномасштабных проектов. Есть функциональность для решения задач календарно-сетевого планирования. Может быть расширено модулем Oracle Unified Business Process Management (BPM), которые позволяет описывать требования и бизнес-процессы.

2.2 HP Project and Portfolio Management

HP Project and Portfolio Management (PPM) – центр решений HP по управлению проектами и портфелем проектов предназначен для решения проблемы, с которой постоянно сталкиваются подразделения – невозможность выполнить часть проектов в установленные сроки, не выходя за пределы выделенного бюджета, с наиболее оптимальным использованием имеющихся ресурсов [6]. В основе PPM лежит платформа Project and Portfolio Management Foundation, обеспечивающая совместное использование информации и автоматизацию рабочих потоков с использованием лучших практик управления бизнес-процессами различных служб. Управление требованиями реализовано через сбор, приоритизацию и анализ запросов на работы. Каждый запрос может иметь определенный набор атрибутов, модель для расчета приоритета, оценку затрат ресурсов и прочее. Все это обеспечивает соответствие стандартам и требованиям таких программ контроля качества и управления процессами, как Six-Sigma, CMMI, ITIL, ISO-9000 и Cobit.

2.3 Microsoft Project

Microsoft для управления проектами предлагает продукт Microsoft Project, который позволяет получать информацию, управлять проектными работами, планами и финансами и сокращать общий план работы коллектива. Благодаря интеграции с Microsoft Office решение повышает производительность труда офисного персонала. Для управления корпоративными проектами у Microsoft существует решение Microsoft Office Enterprise Project Management (EPM), комплексная среда управления совместными проектами и портфелями. Решение Office EPM позволяет расширить анализ и контроль всех выполняемых работ благодаря оптимизации процесса принятия решений, повышению степени соответствия разработок стратегии развития бизнеса, более обоснованному использованию ресурсов [7]. В состав EPM входят следующие продукты: Microsoft Office Project Professional (управление проектами), Microsoft Office Project Server (средство для централизованного управления проектами и портфелями).

Российские компании также представлены на данном рынке программного обеспечения по управлению проектами.

2.4 Spider Project

Данный пакет управления проектами спроектирован и разработан с учетом потребностей, особенностей и приоритетов российского рынка.

Данное решение предлагает следующие возможности [8]:

- Возможность задания длительности и планирование сроков исполнения работ исходя из их объемов и производительности назначенных ресурсов.
- Возможность автоматического назначения ресурсов, исходя из их квалификации.

- Возможность создания и использования в проектах различных баз данных, в том числе нормативных расценок и расходов материалов на единицу объема, производительностей и загрузки ресурсов на типовых работах и т.д.
- Встроенная система анализа рисков и управления резервами по срокам и стоимости работ.
- Расчет трендов вероятностей успеха.
- Возможность стоимостного и ресурсного анализа проектов. В одном проекте можно параллельно вести анализ затрат в различных единицах и при разных нормативных базах.
- Подсчет Cash Flow для всех статей затрат, а также для материалов проекта.
- Возможность создания, хранения и включения в проекты типовых фрагментов проектов.
- Организация групповой работы и мультипроектного управления.
- Встроенная система учета, позволяющая корректировать оставшиеся длительности и объемы работ, получать отчеты по исполнению проекта за любой промежуток времени.
- Встроенное руководство по управлению проектами, полностью охватывающее международные стандарты и учитывающее специфику управления проектами в России.

В существующих на сегодняшний день системах для управления проектами современные представления по управлению организациями еще пока не получили должного воплощения: нет поддержки командной работы, отсутствует событийное управление, нет ориентации в работе на результаты и т.д. Модели, методы и средства для согласованного оперативного распределения задач по ресурсам и планирования в реальном времени отсутствуют в принципе, поскольку эти системы работают в пакетном режиме и задачи автоматически назначаются сотрудникам без какого-либо диалога и согласования. Во много это обусловлено тем, что для решения задач, в этих системах применяются традиционные, классические методы оптимизации, в которых для получения решения приходится существенно упрощать постановку задачи и модели, что в результате приводит к тому, что сформированный план работ по проекту оказывается не исполним на практике, что требует применения новых моделей, методов и средств управления проектами.

3 Предлагаемый подход

В основе предлагаемой системы лежит использование онтологий и мультиагентных технологий [9].

Онтология позволит описать классификаторы, справочники, их атрибуты и взаимосвязи, давая при этом все преимущества семантического представления данных, такие как логический вывод, унифицированный формат обмена данными и др. На Рисунок 2 – Пример онтологического описания данных представлен простой пример, как нормативно-справочная информация может быть описана с помощью онтологий. На основе этой онтологии может быть построена **онтологическая модель** устройства и работы предприятия по реализации жизненного цикла изделий (от идеи – до утилизации). В состав данной онтологической модели могут входить организационная структура подразделений, описания сотрудников, состав изделий, поставщики, материалы и т.д. Роль онтологических моделей состоит в интеграции различных аспектов деятельности предприятия (проектирование, производственные, финансовые, эксплуатационные и т.д.). Так, например, в такой системе можно будет увидеть данные из других систем:

- у проектировщиков в базе данных хранится информация, о том какие материалы использовались при изготовлении изделий, кто из конструкторов работает с этим видом материала, какова возможная замена материала;
- у закупщиков - производитель, размеры партий, цена и т.п.;
- у производственников - на каком типе станка можно обрабатывать материал, на каком складе сколько находится материала, сколько израсходовали, сколько в пути, какой рабочий умеет, какой инструмент нужен и т.д.

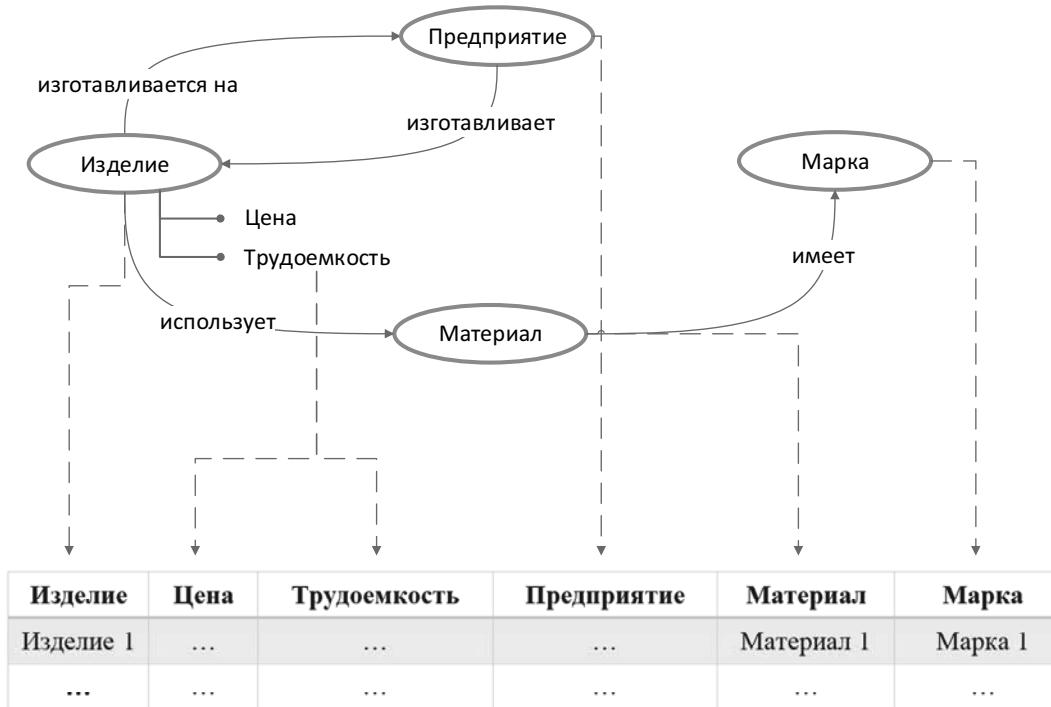


Рисунок 2 – Пример онтологического описания данных

Использование онтологий позволяет показать связь «всего и всех» систем: какие проекты выполняются, какие изделия в результате выполнения проектов создаются, какие материалы требуются, какие из этих материалов приобретаются через закупки, а какие хранятся на складе и т.д. В результате получается умный браузер (паук), позволяющий навигировать «над» существующими системами.

Для систематизации и классификации информации, которая хранится на предприятии, предлагается в качестве базиса использовать следующую структуру:

- *Космическая инфраструктура*: содержит описание классов космических средств и наземной космической инфраструктуры (Космический аппарат: Транспортный пилотируемый космический аппарат, Транспортный грузовой космический аппарат; Средство выведения: Космический разгонный блок, Ракета-Носитель и т.д.)
- *Структура предприятия*: содержит классы для описания орг. структуры (Ракетно-космическое предприятие, Головное предприятие, Филиал предприятия, Завод, Отдел, Конструкторское бюро и т.д.)
- *Состав должностей и специализаций*: содержит основной перечень используемых классов специальностей, должностей и компетенций сотрудников (Генеральный директор, Главный инженер-предприятия, Директор опытного завода и т.д.).
- *Специалисты*: содержит классы специалистов (Инженер-технолог, Инженер по качеству, Токарь-карусельщик и т.д.)
- *Типы документов*: содержит основные классы документов (Нормативный документ, ГОСТ, Эскизный проект, Акт, ТЗ, ТП и т.д.)
- *IT-ландшафт*: содержит классы и объекты it структуры, используемое программное обеспечение

- *Бизнес-процессы*: содержит описание общих бизнес-процессов, н/р Описание типовых работ по разработке изделия РКТ
- *Типы контрактов*: содержит описание основных типов контрактов: Контракт с твердой фиксированной ценой (Firm Fixed Price Contract), Контракт «Время и материалы» (Time and Material Contract) и т.д.

Построенная по таким принципам база знаний будет агрегировать различные аспекты деятельности предприятия и может использоваться системами (сервисами), решающим прикладные задачи. Так, например, для выполнения задач планирования процессов изготовления изделий системе необходимо на вход будет подать его описание. Технический процесс изготовления описывается в базе знаний как набор последовательно или параллельно связанных между собой операций. При этом для описания операций используются ранее описанные отраслевые справочники типов операций, компетенций, структура изготавливаемого изделия и другая необходимая информация. Система планирования загружает из базы знаний всю необходимую информацию: описание тех. процесса изготовления, из которого строится дерево задач, доступные ресурсы, которые могут быть использованы для выполнения задач. Далее система на основе описания имеющихся потребностей и возможностей строит оптимальный план по изготовлению изделия. Таким образом, в случае появления необходимости описания новых типов ограничений для решения задачи планирования (или другой бизнес-задачи, решаемой внешней системой), пользователю достаточно будет расширить онтологию имеющимися инструментами управления и необходимая информация будет доступна для использования.

Для поддержки процессов формирования планов проектов база знаний должна содержать информацию о типовых проектах и типовых работах, а также классификацию видов результатов. При этом каждый проект может обладать своей спецификой, которая может быть легко formalизована и описана с помощью применения онтологий.

Для управления проектами предлагается следующий новый подход к распределению ресурсов:

- Приходит новый проект, под который общим сообщением объявляется конкурс на выдвижение лидера (руководителя проекта) – кто хотел бы выполнять проект?
- Специалисты разных подразделений добровольно предлагают свои кандидатуры, предлагаая лучшие пути реализации проекта;
- Лучшее предложение приводит к выбору лидера - руководителя проекта;
- Руководитель проекта декомпозирует проект на подзадачи и строит первый грубый план, который предлагает для уточнения сотрудникам команды, которую он собирается создавать;
- При этом используются знания о зависимостях задач, средние оценки трудоемкости исполнения задач и сведения о компетенциях, опыте и производительности сотрудников;
- Любой сотрудник может принять участие в формировании команды и формировании уточненного перечня задач по проекту, что определит состав команды исполнителей;
- Поощряется конкуренция и коопeração сотрудников с оплатой по результату, чем больше человек возьмет задач, тем больше он получит оплату;
- Детализация задач проекта приводит к формированию команды с учетом профиля компетенций специалистов;
- Команда выдает и представляет на согласование план наверх руководству для утверждения;
- Сэкономленный фонд оплаты проекта делится пополам (50% на 50%) между предприятием и командой;
- Если план не выстраивается, включается директивное управление с принудительным распределением сотрудников на решение задач;

- В ходе работы команды план непрерывно адаптируется под действием событий, входе новых сотрудников и выходе отработавших свои задачи, появлении новых задач и т.д.

Для реализации предлагаемого подхода к управлению предлагается использование мультиагентных технологий, которые сочетают в себе последние достижения информационных технологий и программирования, методов и средств искусственного интеллекта, распределённых информационных систем и компьютерных сетей, в основе которых лежит понятие интеллектуального программного агента. С помощью мультиагентных технологий взаимодействие объектов реального мира моделируется переговорами их программных агентов. Среди преимуществ мультиагентных систем стоит выделить их масштабируемость, достигаемой за счет своей модульности.

Каждому элементу реальной конструкции, оборудования, задач, технологических операций, ресурсов ставится в соответствие программный агент, выступающий от имени своего элемента. Задачи, выполняемые в системе планирования ресурсов, имеют различный характер и должны быть запланированы, и затем выполнены в реальном времени. Таким задачам также ставятся в соответствие агенты. В таком случае все сообщество агентов может быть представлено в виде динамической сети задач и ресурсов, представляющей собой сеть потребностей и возможностей (ПВ сеть) [10].

Агенты в ПВ сети образуют мультиагентную систему, состоящую из одной или более групп агентов, конкурирующих или сотрудничающих друг с другом с целью выполнить общую задачу таким образом, чтобы увеличить ценность принимаемых решений для системы в целом.

Стоит отметить, что поведение мультиагентной системы определяется не одним детерминированным алгоритмом, а возникает или формируется эволюционным путем из взаимодействия составляющих ее агентов.

Заключение

Применение мультиагентных технологий для перехода к поддержке принятия решений по управлению проектами в реальном времени должно обеспечить возможность оперативно и гибко перераспределять ресурсы при появлении новых задач или других непредвиденных событий, которые всегда сопровождают рассматриваемые проекты и почти невозможно спланировать их заранее.

Такой подход выгодно отличается от существующих систем управления проектами, в которых все задачи и ресурсы считаются известными заранее и не меняются в ходе выполнения, причем процессы планирования в системе должны комбинироваться с процессами «он-лайн» коммуникации с исполнителями по событиям, чтобы избежать любых простев и иных рассогласований планов. Мультиагентные системы такого класса, доступные через коммуникаторы, планшеты и даже сотовые телефоны призваны обеспечить быструю реакцию на события в реальном времени, гибкое планирование подготовки и использования ресурсов предприятия, индивидуальный подход к каждому проекту, а также скользящий мониторинг и контроль исполнения, сочетая процессы планирования и исполнения намеченных планов. Все это и позволит существенно повысить продуктивность и эффективность выполнения проектов, сократить стоимость, сроки и риски подготовки и выпуска новых изделий.

Однако, разработка мультиагентной технологии адаптивного управления проектами по созданию новых изделий аэрокосмической отрасли требует создания новых моделей, методов и алгоритмов, которые бы отражали специфические для НИОКР особенности процессов принятия решений, основные критерии, предпочтения и ограничения, классы агентов, модели выявления и разрешения конфликтов по ресурсам, проколов переговоров для реакции на важные события и ряд других. В этой связи предлагаемое исследование, направленное на создание

новых методов управления проектами, представляет собой актуальную и значимую научную задачу для современной аэрокосмической и других отраслей промышленности.

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ.

Список литературы

- [1] Вентцель Е. С. Исследование операций: задачи, принципы, методология. — М.: Наука, Главная редакция физико-математической литературы. – 1980.
- [2] Handbook of Scheduling: Algorithms, Models and Performance Analysis / Ed. J. Y-T. Leung // CRC Computer and Information Science Series. – Chapman & Hall. – 2004.
- [3] Бурков В.Н., Коргин Н.А., Новиков Д.А. Введение в теорию управления организационными системами / Под ред. чл.-корр. РАН Д.А. Новикова. – М.: ЛиброКом, 2009.
- [4] Виттих В.А. Введение в теорию интерсубъективного управления. – Самара: СНЦ РАН, 2013.
- [5] Программное обеспечение Oracle Primavera (<http://www.pmsoft.ru/products/oracle-primavera>)
- [6] Управление проектами и портфелями (PPM) (<http://www8.hp.com/ru/ru/software-solutions/ppm-it-project-portfolio-management/>)
- [7] Microsoft Project (<https://products.office.com/ru-ru/project/project-and-portfolio-management-software>)
- [8] Spider Project (<http://www.spiderproject.com/ru/>)
- [9] Скобелев П.О. Интеллектуальные системы управления ресурсами в реальном времени: принципы разработки, опыт промышленных внедрений и перспективы развития // Приложение к теоретическому и прикладному научно-техническому журналу «Информационные технологии». – 2013. – №1. – С. 1-32.
- [10] Виттих В.А., Скобелев П.О. Мультиагентные модели взаимодействия для построения сетей потребностей и возможностей в открытых системах // Автоматика и Телемеханика. – 2003. – №1. – С. 162-169.

РАЗРАБОТКА МУЛЬТИАГЕНТНОЙ СИСТЕМЫ СТРАТЕГИЧЕСКОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

С.С. Кожевников¹, И.В. Осипов^{1,2}, Л.С. Бесова¹, В.Г. Овчинников¹, Е.В. Симонова^{1,2}

¹ ООО «НПК «Разумные решения»

443013, Самара, ул. Московское шоссе, 17, офис 1201, Россия

info@smartsolutions-123.ru

тел/факс: +7 (846) 279-37-79

² Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева

443086, Самара, Московское шоссе, 34, Россия

petr.skobelev@gmail.com

Ключевые слова: мультиагентные системы, стратегическое планирование, промышленные предприятия.

Abstract

This clause describes the multi-agent system of strategic production planning. In the article multi-agent algorithms compared with other planning methods, authors describe the software implementation of system and planning experiment.

Введение

Интенсивный рост промышленного производства совместно с постоянными внешними изменениями не позволяют обеспечить оптимальное планирование работы предприятия человеческими ресурсами. При планировании с использованием классических методов минимальные изменения исходных данных приводят к необходимости целиком перестраивать план работы предприятия, что нецелесообразно в условиях реального времени. Для решения проблемы подходят мультиагентные системы, позволяющие изменять в реальном времени только ту часть плана, на которую влияют непредвиденные события. На основе мультиагентных технологий разработана мультиагентная система (МАС) стратегического планирования промышленного предприятия, которая успешно прошла испытания на данных реального производства.

В работе [1] описан прототип аналогичной системы стратегического планирования. Однако функционал прототипа ограничен, в нем отсутствуют экономические расчеты, а также средства загрузки реальных данных. В данной статье описаны расширенные функции МАС стратегического планирования и результаты экспериментов по составлению производственных планов.

1 Постановка задачи

На промышленном предприятии необходимо автоматизировать процесс производственного планирования на 3 года вперед. Для этого требуется разработать систему стратегического планирования, которая позволит строить укрупненный производственный план предприятия с учетом загрузки ресурсов рабочих и оборудования.

Система стратегического планирования должна не только составлять производственный план с реальными сроками исполнения заказов, но и помогать в выявлении «узких мест» производства, поиске оптимального решения данной проблемы и обеспечении исполнения заказов точно в срок.

Система производственного планирования должна быть адаптивной к внешним событиям, например, при появлении нового заказа МАС должна перестроить план с учетом его приоритета.

2 Выбор метода планирования

Существуют различные подходы к организации производственного планирования на основе использования нейронных сетей, симплекс метода, мультиагентных технологий (МАТ).

Принципы работы нейронных сетей основываются на аналогии с работой нейронов в нервной системе [2]. Использование нейронных сетей позволяет производить кластеризацию, т.е. объединять похожие заказы и ресурсы в группы, что, в свою очередь, снижает размерность задачи и способствует повышению эффективности распределения ресурсов.

Нейронные сети позволяют строить прогнозы о появлении определенных заказов. Пользуясь данной информацией, можно заранее планировать поступление заказов, используемые ресурсы и моменты времени выполнения производственных операций. Однако оценка носит приблизительный характер и является эффективной только в случае ярко выраженных особенностей. Кроме того, нейронные сети предполагают предварительную фазу обучения, для осуществления которой необходимы обучающие наборы данных с использованием результирующих планов. Параметры нейронных сетей определяются неточно, например, количество нейронов определяется эмпирическим путем, рекомендации по выбору размера нейронной сети подчас противоречат друг другу.

Еще одним известным и широко применяемым в практике планирования методом является линейное программирование (ЛП) с использованием симплекс-метода. Несмотря на то, что симплекс-метод является достаточно эффективным для решения прикладных задач, он обладает экспоненциальной сложностью за счет полного перебора при поиске оптимального решения, что делает невозможным его использование в реальном времени.

С помощью симплекс-метода можно решать задачи распределения производственных ресурсов небольшой размерности и со значительными упрощениями. При этом не учитываются многие факторы: недоступность ресурсов в определенные интервалы времени, предпочтения заказов (например, крайний срок выполнения), взаимные зависимости операций в технологических процессах.

Планирование сложных заказов, выполняемых в мелкосерийном производстве при наличии множества критериев и различных взаимосвязей, которые могут варьироваться не только между заказами и ресурсами как классами, но и между конкретными экземплярами заказов или ресурсов, с помощью симплекс-метода затруднено.

Таким образом, нейронные сети и симплекс метод не обеспечивают адаптивного перестроения плана, вследствие чего не могут быть использованы для решения поставленной задачи. Мультиагентные технологии позволяют перстраивать производственное расписание в реальном времени при наличии постоянных изменений. Концепция основана на понятии агента (актора) – виртуального представителя реальной сущности в системе. Агентов можно разделить на агентов потребностей и возможностей [3]. Первые являются представителями задач в мультиагентной системе, а вторые представляют ресурсы, на которые необходимо запланировать задачи.

3 Реализация МАС стратегического планирования производства

3.1 Архитектура системы

Программная система имеет трехзвенную архитектуру и реализована на языке Java. Клиент и сервер взаимодействуют по HTTP протоколу. Реализация взаимодействия сервера приложений с базой данных в системе представлена в виде структурной схемы на рисунке 1.

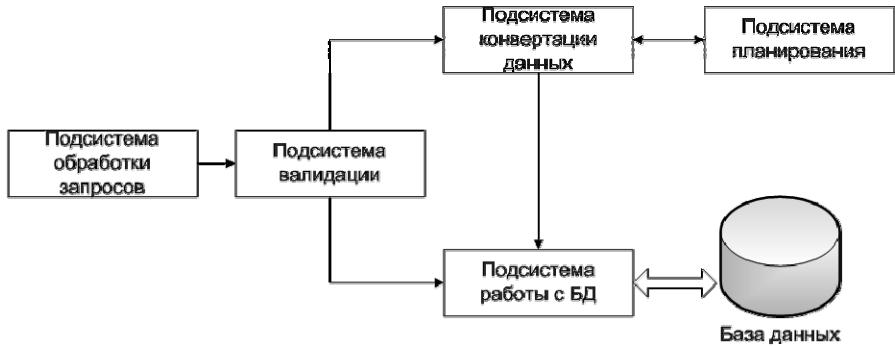


Рисунок 1 – Структурная схема системы стратегического планирования

Подсистема обработки запросов представляет собой REST сервис [4], обеспечивающий интеграцию логической составляющей системы с клиентом. Сервис интеграции реализован с помощью библиотеки Jersey, предоставляющей поддержку JAX-RS [5].

Каждая из подсистем реализована в виде компонентов (сервисов), поддержку которых обеспечивает Spring Framework [6]. Взаимодействие происходит через интерфейс доступа, декларированный для каждого из сервисов, представленных на рисунке 1. Такой подход обеспечивает практически полное отсутствие зависимостей от реализации конкретных сервисов, т.к. управлением зависимостями занимается Spring.

Подсистема валидации (проверки) обеспечивает контроль входных данных системы. Главная задача данной подсистемы обнаружить некорректные входные данные.

Подсистема конвертации отвечает за преобразование серверной модели к модели системы планирования, данный компонент реализован для обеспечения одного из основных принципов программирования – принципа единственной ответственности [7].

В качестве базы данных (БД) используется реляционная БД PostgreSQL [8]. Выбор базы основывается на её распространенности и надежности, данная БД имеет удобные инструменты для работы и предоставляет все необходимые возможности.

Подсистема работы с базой данных использует библиотеку Hibernate [9] для обеспечения объектно-реляционного отображения. В результате использования данной библиотеки ускоряется процесс настройки работы приложения с базой данных, а также ускоряется процесс разработки, т.к. низкоуровневый слой взаимодействия с таблицами скрыт библиотекой.

Структура системы планирования представлена на рисунке 2. В подсистеме планирования выделена подсистема стратегического планирования, которая взаимодействует с внешними системами через источник данных, а логика планирования реализована с помощью мультиагентной системы, основанной на акторной модели, предоставляемой библиотекой Akka [10, 11].

4.2 Функциональные возможности системы

МАС предоставляет следующие функциональные возможности:

- планирование заказов;
- учетная система;
- расчет экономических характеристик заказов по результатам планирования;
- расчет общих расходов, доходов, прибыли;
- сохранение и восстановление плана;
- планирование в модельном времени;
- импорт описания технического процесса из XML;
- расчет загруженности ресурсов на интервале времени или по неделям.

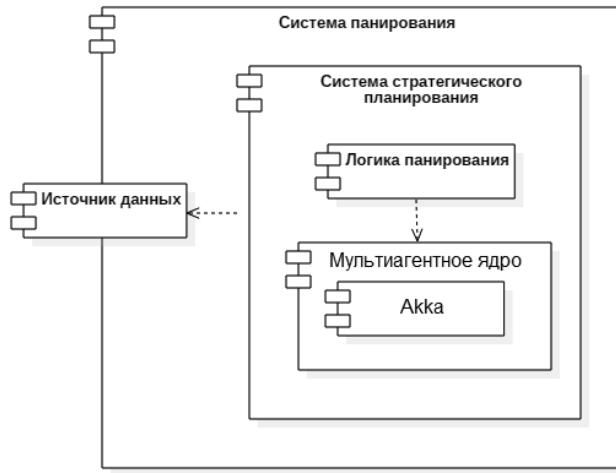


Рисунок 2 – Диаграмма компонентов системы планирования

Система стратегического планирования позволяет создавать производственную программу завода на 3 и более лет.

При составлении плана система стратегического планирования учитывает следующие показатели:

- потребность в деталях, которые необходимо изготовить в рамках заказа;
- срок сдачи заказа;
- ресурсы, имеющиеся на предприятии (рабочие и оборудование);
- необходимые ресурсы для выполнения заказа;
- трудоемкость исполнения каждой детали.

При составлении производственной программы рассчитывается трудоемкость ресурсов, которые будут задействованы на реализацию каждой детали сборочной единицы (ДСЕ). Считается, что оборудование не может работать без рабочего, поэтому рабочий всегда задействован при работе оборудования. При этом есть этапы изготовления, когда рабочему не требуется оборудование, в этом случае занят только один ресурс. При составлении плана, в котором есть множество заказов с разными датами сдачи, могут возникать конфликты за использование ресурсов, т.е. каждый ресурс берет на себя выполнение задачи в соответствии с заданной очередностью, при этом выбирая более приоритетные для выполнения задачи, т.е. с более ранним сроком сдачи. Если сроки сдачи заказов пересекаются и заказы начинают конфликтовать между собой, система при распределении порядка выполнения задач учитывает приоритеты, указанные пользователем. Система составляет план таким образом, чтобы исключить срывы сроков сдачи заказов или минимизировать их. Если исключить срыв срока сдачи заказа невозможно, пользователь может провести анализ узких мест на предприятии и смоделировать ситуацию, изменяя количество ресурсов, например, как отразится на сроках сдачи заказов увеличение максимально загруженного ресурса, или наоборот, уменьшение количества незагруженных ресурсов на продолжительный период времени. Таким образом, возможность моделирования ситуации позволяет более точно прогнозировать последствия изменения ресурсов.

4.3 Пользовательский интерфейс

Система планирования имеет пользовательский веб-интерфейс. На рисунке 3 представлена экранная форма понедельной загруженности оператора станков с программным управлением. Данная диаграмма показывает, какие рабочие загружены максимально, а какие имеют вре-

мя простоя. Интервалы с низкой загруженностью ресурсов свидетельствуют о возможности использовать данные ресурсы для новых заказов. Важно понимать, что в стратегическом планировании долгое отсутствие нагрузки на ресурс часто указывает на то, что данный ресурс выполняет редкую, но необходимую работу.

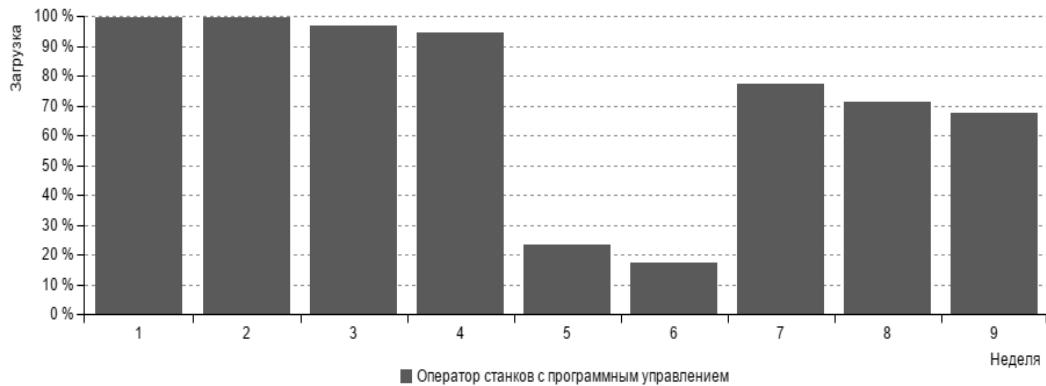


Рисунок 3 – Диаграмма понедельной загруженности рабочих

На рисунке 4 представлена диаграмма выполнения заказов. Красным цветом обозначаются заказы, срывающие заявленные сроки выполнения, в данном случае за сривом сроков последуют санкции. Желтым цветом обозначаются заказы, у которых также при выполнении работ будут превышены заявленные сроки, однако, если изготовитель успевает к запланированным срокам, санкций не последует, к таким заказам стоит отнести с особым вниманием. Зеленым цветом обозначаются заказы, которые будут выполнены в заявленные сроки. Даты в верхней части диаграммы – это крайние сроки сдачи, даты в нижней части диаграммы – это запланированные сроки сдачи. Синим цветом обозначены номера заказов.

Блок баков РБФ2М-6130-0

1 12	01.03.17	1 18	29.09.16	1 19	16.02.17	1 11	22.04.17	1 15	30.07.17
1	09.11.16	1	15.12.16	1	15.02.17	1	03.05.17	1	26.07.17

Рисунок 4 – Диаграмма выполнения заказов

5 Проведение эксперимента

Исходными данными для проведения эксперимента выступил набор данных, описывающий производство изделия со сложной структурой и доступные на предприятии ресурсы. Данные представлены в XML файле и предварительно импортированы в систему. Также была предоставлена информация об оценочных сроках сдачи продукции по заказу. В ходе эксперимента необходимо выполнить планирование сборки блока, итерационно изменяя объем заказа. В результате эксперимента необходимо проанализировать зависимость времени планирования от объема заказа.

В ходе эксперимента выполнено планирование реализации заказа со сложной структурой и ограниченными ресурсами, результаты измерений представлены на рисунке 5.

Необходимо было спланировать выполнение 442 операций для сборки изделия. В состав изделия входят 18 различных ДСЕ, которые необходимо было разместить в плане с учетом их приоритета, времени работы ресурсов и других ограничений. Планирование происходило на 12 различных пулов рабочих и 38 различных пулов станков. Объем ресурсов изменялся от 1 до

32. Каждая отметка времени на графике – это усредненное значение результатов 10 повторений эксперимента.

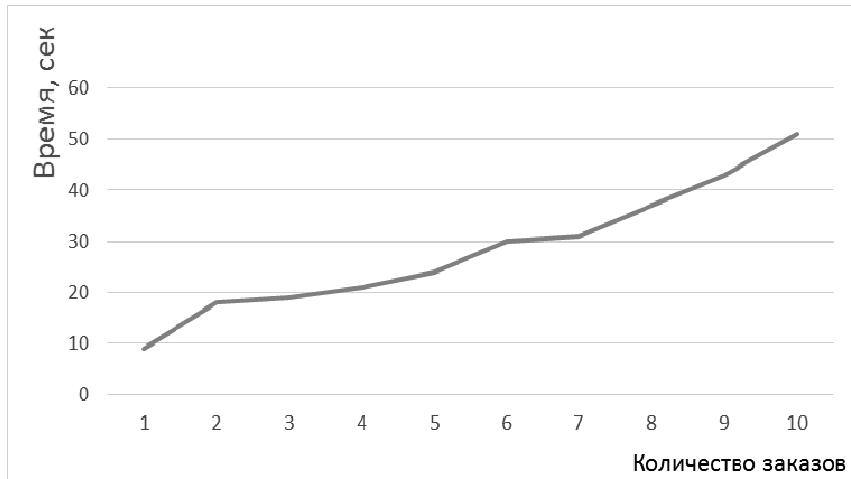


Рисунок 5 – График зависимости времени планирования от объема заказа

На основании результатов эксперимента можно сделать вывод, что при небольшом увеличении объема заказываемой продукции изменение времени выполнения заказа близко к линейному, однако если значительно увеличить количество заказов, время их выполнения растет экспоненциально. Такие результаты можно объяснить, в первую очередь, большим количеством связей, возникающих в процессе производства.

Заключение

В результате разработана мультиагентная система стратегического планирования, которая обеспечивает решение задачи планирования промышленного производства. Для реализации предварительно была проанализирована предметная область, проведено сравнение с существующими методами и подходами к планированию. С использованием разработанной системы был проведен эксперимент, в результате которого продемонстрирована зависимость продолжительности планирования от объема заказа.

В качестве перспектив рассматривается добавление средств для сравнения показателей качества планирования, переход к технологиям для поддержки обновления пользовательского интерфейса в реальном времени, добавление функциональности адаптивного построения плана.

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ.

Список литературы

- [1] Шишов А.В., Шепилов Я.Ю. Мультиагентная система стратегического планирования деятельности аэрокосмического предприятия // Проблемы управления и моделирования в сложных системах: Труды XVII международной конференции (22-25 июня 2015 г., Самара, Россия). – Самара: Самарский НЦ РАН, 2015. - С. 97-103
- [2] Модели, методы и алгоритмы планирования ресурсов. – Режим доступа: <http://maswiki.kg.ru/wiki/modeli-metody-i-algoritmyi-planirovaniya-resursov/> (дата обращения 29.04.2016)

- [3] Виттих В. А., Скобелев П. О. Мультиагентные модели взаимодействия для построения сетей потребностей и возможностей в открытых системах // Автоматика и Телемеханика. 2003. №1. – С. 162-169.
- [4] Linked Data Platform. – Режим доступа: <https://www.w3.org/2012/ldp/charter> (дата обращения 29.04.2016)
- [5] Jersey. RESTful Web Services in Java. – Режим доступа: <https://jersey.java.net/> (дата обращения 29.04.2016)
- [6] Spring. – Режим доступа: <https://spring.io/> (дата обращения 29.04.2016)
- [7] Single Responsibility Principle. – Режим доступа: <http://deviq.com/single-responsibility-principle/> (дата обращения 29.04.2016)
- [8] PostgreSql. – Режим доступа: <http://www.postgresql.org/> (дата обращения 29.04.2016)
- [9] Hibernate. – Режим доступа: <http://hibernate.org/orm/> (дата обращения 29.04.2016)
- [10] Akka. – Режим доступа: <http://akka.io/> (дата обращения 29.04.2016)
- [11] Aktors model. – Режим доступа: <http://c2.com/cgi/wiki?ActorsModel> (дата обращения 29.04.2016)

РАЗВИТИЕ MAC SMART SUPPLY NETWORKS ДЛЯ УЧЕТА ОСОБЕННОСТЕЙ ПРОИЗВОДСТВЕННО-ТРАНСПОРТНОЙ ЛОГИСТИКИ И ВОЗМОЖНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ КРУПНЫМИ СЕТЬЮМи СНАБЖЕНИЯ С ОБРАБОТКОЙ ДАННЫХ БОЛЬШОЙ РАЗМЕРНОСТИ

А.В. Царев

ООО «НПК «Разумные решения»

443013 Россия, Самара, ТОЦ «Вертикаль», Московское шоссе, 17, офис 1201

at@kg.ru

тел: + 7 (846) 279-37-78

Ключевые слова: планирование в реальном времени, сеть снабжения, цепочка поставок, сецентрическая система, мультиагентные технологии, распределенная система, многокритериальная оптимизация, согласованное планирование, адаптивное планирование, управление снабжением, открытая система, конкурентная среда.

Abstract

The paper focuses on the problem of management and planning of big and complex supply networks considering production and transportation logistics. The paper describes the experience of creating multi-agent supply network management system for Coca-Cola and proposes an approach to extension of the real-time planning methods used in the system to cope with complex networks in a coordinated distributed way. The paper considers the specifics of interactions of production agents and agents of sub-networks that allow a combined push-pull mode in real-time. On the example of Coca-Cola, the paper proposes an approach to the global coordinated distributed supply planning.

Введение

Образуемая предприятиями в процессе работы распределенная сеть снабжения часто включает предприятия из разных отраслей, поставщиков и потребителей продукции, которые конкурируют между собой, используют различные подходы к внутренней организации, различные способы планирования своей деятельности и имеют различные особенности взаимоотношений со своими поставщиками и потребителями. Цепочки обязательств по поставкам, возникающие в такой сети, связывают компании между собой и приводят к тому, что изменения в начале цепочки (например, срыв добычи материалов) или в конце цепочки (например, изменение спроса) влияют на эффективность всех предприятий в цепочке. При этом, в планах любой организации происходят изменения, связанные как с внешними, так и с внутренними факторами. Правильный баланс между перестройкой внутренних планов и пересогласованием договоренностей с поставщиками и потребителями является критически важным для сохранения высокой экономической эффективности в условиях таких изменений. Кроме согласованности действий предприятий в сети снабжения, важным является и своевременность согласования. Часто задержка в передаче информации делает поставку невозможной. При этом, предприятия в сложной цепочке поставок редко учитывают ограничения других участников, кроме непосредственно с ними связанных, что тоже снижает эффективность принимаемых решений.

С повышением автоматизации планирования работы отдельных компаний или отдельных бизнес-процессов внутри компаний, основным узким местом остается процесс обработки результатов и согласования работы между компаниями или подразделениями, который выполняется преимущественно вручную. Даже при наличии средств программной интеграции, передача данных (например, заказов поставщикам) при изменении планов обычно выполняется по

требованию пользователей (ответственных сотрудников) и носит односторонний характер, обработка ответов требует участия человека. Процесс согласования не формализован и не приспособлен для применения в условиях интенсивного частого перепланирования, которое становится нормой при применении систем управления в реальном времени.

Таким образом, даже когда отдельная компания или подразделение применяют эффективные средства адаптивного планирования и управления, их возможности по своевременной реакции на изменения и фактическая адаптивность могут быть существенно ограничены. На практике, экономический эффект от полноценного перехода к управлению в реальном времени может составлять до 25% прибыли. Таким образом, разработка методов согласованного распределенного планирования и управления, значима для повышения экономической эффективности предприятий и актуальность данной темы растет с ростом автоматизации отдельных процессов.

С другой стороны, разработка методов согласованного распределенного планирования позволит решать задачи оперативного планирования и в рамках одной компании при больших масштабах задачи. Сейчас, при применении классических оптимизационных алгоритмов, оперативное перепланирование становится невозможным, если задача достигает определенного размера, т.к. на ее решение требуется больше времени, чем проходит между существенными изменениями во входных данных. В результате, оперативное управление происходит вручную. Применение распределенного мультиагентного планирования позволит перейти от ручного управления в таких ситуациях к управлению, основанному на балансе скорости и качества реакции на события, что также является актуальной задачей для крупных компаний.

В данной статье рассматривается опыт разработки мультиагентной системы для управления сетями снабжения и предлагается подход к переходу к распределенному планированию и модели сетецентрических систем («системы систем»).

1 Задача планирования работы сети снабжения

Задача планирования работы сети снабжения состоит в сбалансированном повышении заданных показателей качества построенного плана в условиях постоянных изменений. В связи с высокой интенсивностью поступающих событий и необходимостью принимать управляющие решения в реальном времени предполагается, что в общем случае не имеет смысла выполнять полную оптимизацию по заданным показателям, даже если это теоретически возможно, т.к. к моменту получения оптимального плана он становится не актуален из-за случившихся изменений.

Поэтому при перепланировании в ответ на очередное событие необходимо максимально быстро получить выполнимый план, который будет улучшать показатели качества, сниженные в результате воздействия события. После получения результата, при отсутствии новых событий, необходимо пытаться далее повышать показатели качества до тех пор, пока это возможно.

Исходными данными для решения задачи планирования являются:

- Параметры узлов сети снабжения (емкость склада, производственные мощности).
- Параметры каналов поставки продукции в сети (длительность, себестоимость перемещения между узлами сети).
- Текущие остатки продукции (продукт, узел сети, количество).
- Фиксированные и выполняемые операции перемещения (продукция, количество, время отправки и прибытия, узел отправки и прибытия).
- Фиксированные и выполняемые операции производства (узел сети, потребляемая продукция и количество, выпускаемая продукция и количество, время начала и окончания производства).
- Заказы или прогнозируемый спрос на продукцию (время потребления, узел сети, количество и продукция).

В результате планирования должны быть получены:

- Перечень операций по перемещению продукции (количество, продукт, время отправки и прибытия, узел отправки и прибытия), необходимых для выполнения заданных фиксированных операций и заказов и выполнимых с учетом текущих ограничений и остатков продукции.
- Перечень операций по производству продукции (количество потребляемого продукта, количество производимого продукта, время начала и окончания, узел сети), необходимых для выполнения заданных фиксированных операций и заказов и выполнимых с учетом текущих ограничений и остатков продукции.
- График потребления продукции по заказам или по прогнозу спроса с учетом допустимых отклонений по времени и наличия продукции по плану снабжения.

Все планы должны строиться исходя из повышения показателей качества, рассчитываемых из базовых показателей по отдельным сущностям:

- Удовлетворенность заказа или прогноза спроса (d_{ts}). Учитывается отдельно для каждой потребности (на каждом узле « s » и на каждый момент « t » в рассматриваемом горизонте планирования). Критерий равен условной прибыли от выполнения, заданной для конкретного заказа, пропорционально количеству продукции, запланированной системой. Критерий не может превышать максимальную прибыль, указанную в потребности ($d_{ts} \leq d_{ts}^{max}$).
- Исполнение утвержденных перемещений и производств (r_{it}). Учитывается отдельно для каждого заданного утвержденного перемещения или производства « i » (операции с окончанием в момент « t ») как часть заданной для операции прибыли от выполнения пропорционально запланированному количеству перемещенной или произведенной продукции.
- Стоимость операций по перемещению и производству (c_i). Рассчитывается отдельно для каждой операции « i », запланированной системой. Равна характерной стоимости перемещения данного количества перемещаемых продуктов по данному каналу или производства заданного количества на определенной производственной линии. Функция зависимости стоимости от количества задается в кусочно-линейном виде индивидуально для каждого канала или производственной линии.
- Неиспользуемые продукты (p_{ts}). Рассчитывается для каждого узла « s » на каждый день « t » как объем продуктов, которые находятся в этом узле в этот день в течение существенного времени согласно построенному плану, умноженное на длительность хранения (часть дня).

Основные сводные показатели качества:

- Сводная удовлетворенность спроса рассчитывается как сумма
- $$D = \sum_{ts} d_{ts} k_{ts}^d$$

где d_{ts} – удовлетворенность конкретного заказа (спроса). Предполагается, что в силу особенностей логики планирования, $d_{ts} \leq d_{ts}^{max}$, где d_{ts}^{max} – максимальная удовлетворенность, k_{ts}^d – коэффициент важности заказа на узле s в момент t . Задается либо индивидуально для конкретной потребности, либо (если не задан явно) рассчитывается как функция $k_s^d(\Delta t)$ от разницы момента потребности и текущего момента $\Delta t = t - t_0$. Функция расчета коэффициента задается как кусочно-линейная функция, независимо для каждого узла s . По умолчанию она имеет вид:

$$k_s^{d default}(\Delta t) = \begin{cases} k_s^{d max}, & \Delta t \leq t_s^{min} \\ k_s^{d max} - \frac{(k_s^{d max} - k_s^{d min})(\Delta t - t_s^{min})}{t_s^{max} - t_s^{min}}, & t_s^{min} < \Delta t < t_s^{max} \\ k_s^{d min}, & \Delta t \geq t_s^{max} \end{cases}$$

где t_s^{min} – конец «красной» зоны (остаток времени, в который, как правило, уже нельзя ничего исправить), t_s^{max} – начало «зеленой» зоны, где планы могут еще не единожды измениться и нет большого смысла планировать так далеко, $k_s^{d\ min}$ – коэффициент важности заказов на узле s в «зеленой» зоне, $k_s^{d\ max}$ – коэффициент важности заказов на узле s в «красной» зоне.

- Сводное исполнение фиксированных операций рассчитывается как сумма

$$R = \sum_{it} r_{it} k_{it}^r$$

где k_{it}^r – коэффициент важности данной операции. Задается либо индивидуально для конкретного заданного перемещения (производства), либо рассчитывается как кусочно-линейная функция $k^r(\Delta t)$ от разницы момента окончания и текущего момента $\Delta t = t - t_0$. По умолчанию функция имеет вид, аналогичный $k_s^d(\Delta t)$, но t^{min} и t^{max} заданы для сети в целом. Для фактически начатых операций коэффициент по умолчанию максимальен $k^{r\ max}$.

- Сводная стоимость запланированных операций рассчитывается как сумма

$$C = \sum_i c_i$$

по всем запланированным операциям.

- Сводные потери от неиспользуемой продукции рассчитываются как сумма

$$P = \sum_{ts} p_{ts} k_s^p$$

где k_s^p задается индивидуально для каждого узла сети и характеризует затратность хранения в этом узле.

Для расчета глобальной целевой функции планирования критерии суммируются с учетом коэффициентов приоритета:

$$F = K^q(D + R) - K^c(C + P)$$

K^q и K^c можно выбирать таким образом, что изменение $D + R$ всегда больше влияет на F , чем изменение $C + P$, тогда с точки зрения целевой функции всегда лучше обеспечить больше выполненных заказов, чем сэкономить на стоимости выполнения.

2 Мультиагентный подход к планированию

Современное управление сетями снабжения в торговле, производстве, снабжении предприятий в реальном времени требуют новых подходов к управлению, новых моделей и методов планирования ресурсов, а также новых инструментальных средств.

Существующие системы управления и планирования поставок и производственных ресурсов (SAP, Oracle, Microsoft Dynamics AX, Infor ERP SyteLine, Quintiq, Damco и др.) ориентируются на применение “пакетных” методов, когда большинство заказов на работы и их характеристики известны заранее и требуется составить расписание на определенный период вперед, что, как правило, делает создаваемый план плохо реализуемым под действием всевозможных непредвиденных событий, например, приход нового заказа, выход из строя транспортных средств и т.д.

Кроме того, потребность в новых методах управления связана с принципиальными недостатками централизованного планирования – детерминированностью и проблемами учета многочисленных факторов сложности, отсутствием достоверной информации о текущей ситуации, потерей адекватности расписаний с течением времени и т.д. Современные распределенные системы снабжения обладают слишком высокой сложностью, состоят из десятков и сотен пространственно-распределенных подсистем, текущее состояние которых в каждый момент зависит от множества внутренних факторов. С другой стороны, внешние взаимодействия

– изменения в потоках заказов и их характеристиках, цен на ресурсы и путей снабжения, цепочек поставок, не учтенные в первоначальном плане, также приводят к относительно быстрой потерре пригодности первоначального расписания.

Фактически, адаптация работы предприятия под изменяющиеся условия зачастую происходит вручную, а согласования изменившихся планов с другими предприятиями стараются избежать в силу большой организационной сложности этого процесса. Поэтому, планы часто перестраиваются с экономическими потерями (например, вывод дополнительных смен), хотя срок поставки можно было бы пересогласовать с заказчиком, предложив ему скидку. Создание единой распределенной платформы и стандартов взаимодействия, позволяющих автоматизированным системам независимых предприятий согласовывать между собой результаты внутреннего планирования и находить баланс интересов с учетом заданных правил и ограничений в конкурентной среде, обеспечит повышение общей эффективности предприятий, устойчивости всей сети к изменениям, согласованности действий, конкурентоспособности таких сетей, в т.ч. на международном рынке.

Использование метода планирования на основе мультиагентной технологии позволяет быстро строить начальное допустимое (приемлемое) расписание, расширять состав критериев при построении расписания, обеспечивать адаптивное перестроение расписания по событиям.

Краткое неформальное описание базового метода сопряженных взаимодействий:

- 1) Вводятся агенты потребностей и ресурсов, у которых задаются критерии, предпочтения и ограничения.
- 2) Потребности стремятся найти ресурсы, а ресурсы – выгодные потребности, что реализуется специальными протоколами переговоров, причем для потребности, которую обеспечивает ресурс, сразу считается целевая функция, аналогично и для ресурса, занятого под обеспечение потребности, что позволяет агентам начать искать себе дополняющие решения на основе «контекста» ситуации, что резко снижает комбинаторный перебор.
- 3) При появлении новой потребности или другого события поднимается нужный агент, который начинает вести матчинг, искать лучше для себя способы выполнения и пытаться адаптировать план под событие.
- 4) В случае выявления конфликта запускается регламент переговоров, в результате которого происходит сдвиг или переход новой или ранее удовлетворенной потребности на другой ресурс.
- 5) Решающее правило метода для принятия решений о новой перестановке – повышение значения функции удовлетворенности (целевой функции) системы в целом, при этом уступки с ухудшением состояния агенту компенсируются удовлетворенной потребностью или самой системой.
- 6) Далее начинается проактивное улучшение состояние агентов, задетых событием, что позволяет им и далее улучшать свои показатели.
- 7) Вычисления останавливаются, когда ни один агент не может улучшить результат, или истекло время, отпущенное на решение, или по прерыванию от пользователя.

3 Описание системы Smart Supply Networks

Для решения задач оперативного управления сетями снабжения с помощью мультиагентного подхода была разработана система Smart Supply Networks, реализующая следующие основные блоки функций (рисунки 1, 2):

- Управление контекстами данных (сетями и их версиями), пользователями и правами доступа пользователей к управляемым сетям.
- Интерактивное редактирование структуры сети снабжения – узлов (поставщиков, производственных центров, мест хранения и распределения, мест реализации продукции), канала-

лов поставки между узлами и их параметров (длительности и себестоимости поставки по каналу, емкость складов, стоимость хранения).

- Редактирование перечня продукции и технологических процессов производства (требуемых материалов, промежуточных результатов, готовой продукции, отходов производства, длительности и себестоимости производственных операций, требуемых производственных линий).
- Редактирование текущих остатков продукции в сети на различных узлах.
- Редактирование фиксированных и утвержденных производственных операций.
- Редактирование фиксированных и утвержденных транспортных операций.
- Редактирование заказов на поставку продукции или прогноза спроса на продукцию по узлам сети.

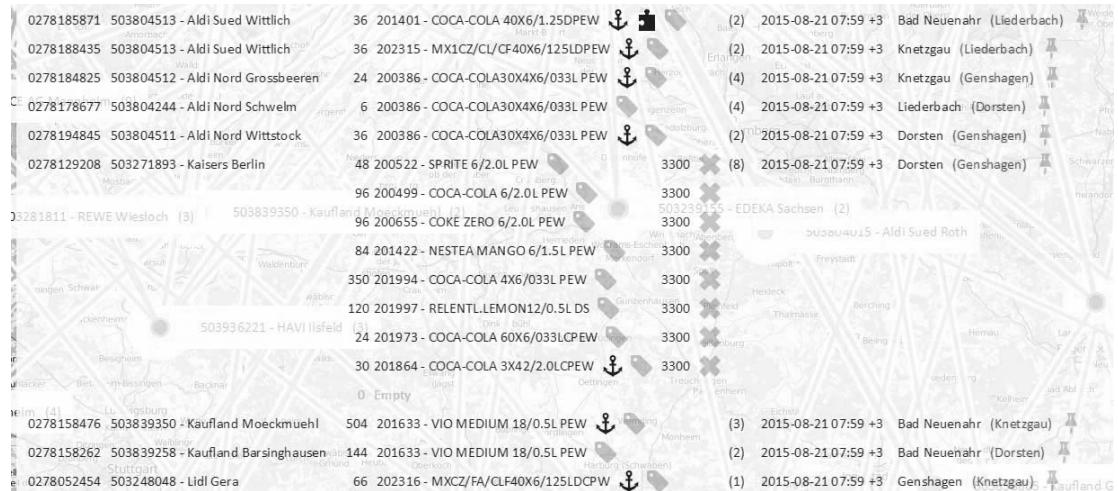


Рисунок 1 – Форма редактирования заказов

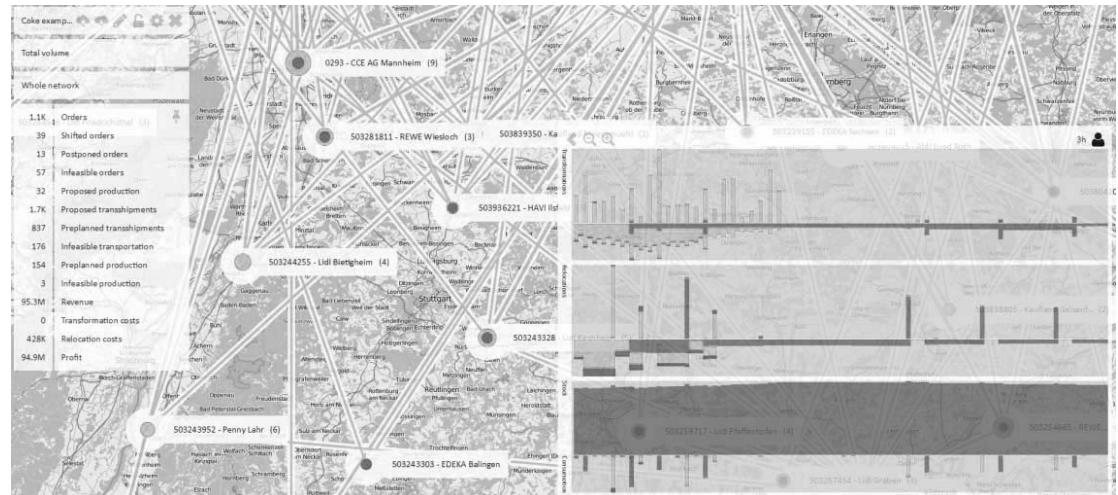


Рисунок 2 – Отображение результатов планирования

Разработанная система построена в соответствии с трехзвенной архитектурой, включающей три слоя (рисунок 3):

- Динамическое адаптивное планирование снабжения (обеспечения заказов, спроса и выполнения фиксированных операций в сети) путем построения оптимизированных по показателям эффективности планов закупки, хранения, производства и перемещения продукции в сети с учетом заданных ограничений.
- Просмотр и анализ результатов планирования, достигнутых показателей эффективности, отклонений полученного плана от предпочтений, микроэкономики выполнения заказов.
- Ручная интерактивная корректировка построенных системой планов (фиксация отдельных частей плана, ввод управляющих ограничений на производство и перемещения по отдельным каналам и участкам сети) с автоматической адаптацией плана под внесенные изменения.
- Отслеживание выполнения построенных планов, ввод данных по фактическому началу и окончанию операций, фиксация отклонений от плана и перепланирование в реальном времени с учетом отклонений и минимизацией потерь эффективности.
- Слой данных, обеспечивающий постоянное надежное хранение данных, не зависящее от функционирования остальных частей системы.
- Средний слой, включающий подсистемы, обеспечивающие выполнение бизнес-логики в процессе использования системы, модуль планирования, функции интеграции с внешними системами, разделение прав доступа, другие серверные функции.
- Слой визуализации и взаимодействия с пользователями, включающий подсистемы, обеспечивающие интерактивную работу системы с пользователями на различных устройствах, ввод, редактирование и визуализацию данных, результатов планирования и анализа.

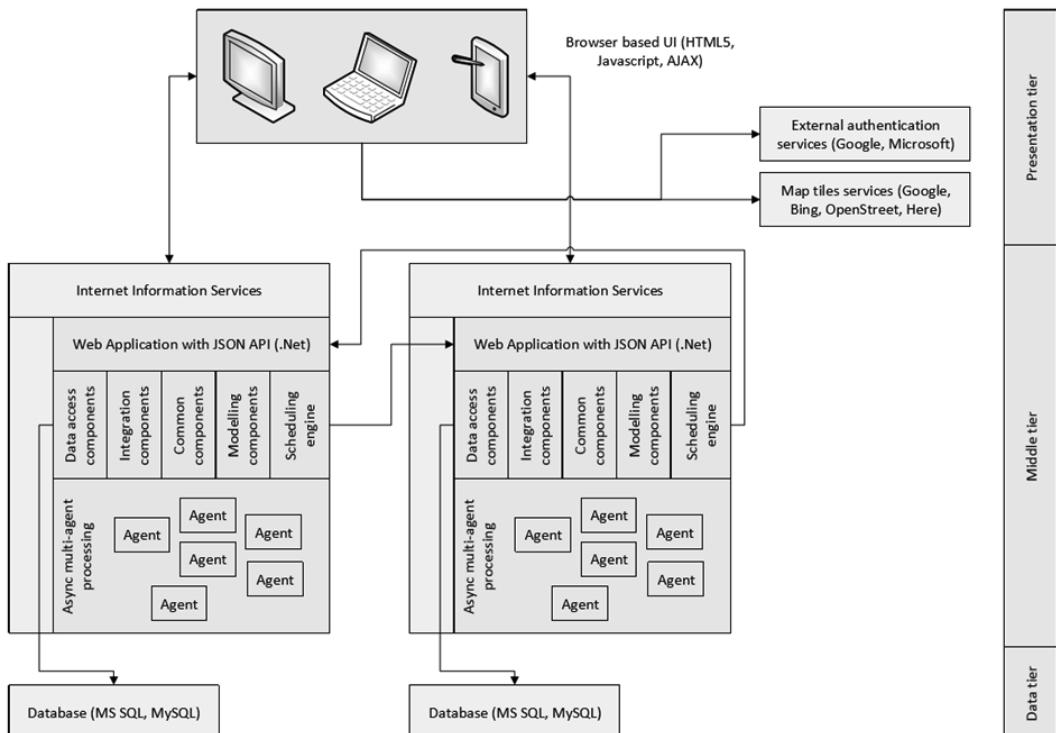


Рисунок 3 – Архитектура Smart Supply Networks

Используемая архитектура предполагает техническую возможность запуска нескольких экземпляров системы, отвечающих за управление разными частями сети снабжения, на отдельных серверах, в т.ч. удаленных. При этом системы могут быть интегрированы и обмениваться данными в процессе планирования для получения скоординированных планов в автоматическом и ручном режиме.

4 Метод планирования Smart Supply Networks

В таблице 1 представлены типы агентов, которые принимают участие в планировании.

Таблица 1 – Типы агентов, принимающие участие в планировании

Типы агента	Основные цели агента	Способы достижения целей	Протоколы взаимодействий (с кем, в чем конфликт, суть и момент взаимодействия)
Сайт (узел сети)	Балансирует потоки и координирует расписание с другими сайтами. Обеспечивает связность расписаний. Высокий профит. Обрабатывает внешние и внутренние события сети.	Отслеживает расписание, генерируемое в процессе взаимодействия агентов потребностей, производства и поставок. Поминает и принимает координирующие сообщения. Принимает решение о перепланировании или обновлении расписания на уровне сайта. Выполняет диспетчеризацию внутренних агентов сайта.	Запрашивает поставки от агентов вышестоящих сайтов в сети. Отправляет ответы по ограниченным или невозможным поставкам агентам нижестоящих сайтов. Оповещает нижестоящие сайты об уточненной стоимости выполнения запрошенных поставок. Отвечает на запросы по доступному рабочему времени. Запрашивает ставки по продуктам. Запрашивает приемлемые стоимости по заказам. Запрашивает расписание по поставкам.
Продукт	Обрабатывает все потребности. Высокий профит за период. Высокий уровень сервиса.	Отслеживает запасы, доступные для удовлетворения потребностей. Выделяет время на обработку потребностей. Собирает варианты удовлетворения потребностей. Конкурирует с другими продуктами. Избегает упущенных продаж.	Запрашивает варианты планирования у потребностей. Сообщает заявки на включение в план агенту сайта. Запрашивает доступное место в хранилище. Сообщает локальные стоимости другим сайтам, потребностям.
Потребность (спрос)	Высокий профит. Высокий уровень сервиса.	Ищет наиболее выгодные варианты планирования. Торгуется с производственными линиями, поставками и каналами. Координируется с хранилищем. Избегает упущенных продаж. Принимает решение о частичном удовлетворении. Планирует потребление.	Запрашивает доступные производственные линии. Запрашивает стоимость производства у производственных линий. Запрашивает доступные поставки. Запрашивает доступное место и стоимость включения в поставку. Запрашивает доступные каналы. Запрашивает стоимость новой поставки у канала. Создает новые поставки. Предлагает новое время потребления продукту. Сообщает варианты планирования и стоимость продукту. Отвечает на запросы о перепланировании.
Поставка	Высокая прибыльность и за-	Отслеживает прибыльность поставки. Обсуждает стоимость	Сообщает потребностям стоимость добавления в поставку.

	грузка.	поставки с потребностями спроса. Запрашивает перепланирование убыточных поставок.	Предлагает потребностям ограничения на поставку. Запрашивает у каналов стоимость. Запрашивает у контракта контрактные ограничения. Запрашивает перепланирование потребностей.
Канал	Эффективная загрузка канала. Соответствие типам передаваемой продукции.	Взаимодействует с потребностями по созданию новых поставок, правилам поставок, длительности и стоимости.	Запрашивает контрактные ограничения. Предлагает потребностям время поставки.
Хранилище	Эффективное использование хранилища. Учет ограничений на хранение.	Взаимодействие с потребностями и продуктами по стоимости хранения, потерях при хранении. Проверка ограничений на хранение.	Сообщает потребностям и продуктам стоимость хранения за период. Сообщает потребностям и продуктам потери при хранении за период. Сообщает продуктам, поставкам, потребностям и производственным линиям о наличии места для хранения.

В основе применяемых протоколов взаимодействия агентов лежит принцип локального построения планов. Перепланирование начинается с получения события агентом узла и передачи управления агентами потребностей, которые затронуты поступившим событием. Агенты потребностей пытаются удовлетвориться за счет возможностей, доступных на их узле, взаимодействуя с агентами хранилища, сформированными перевозками и агентами входящих каналов. После построения локального варианта плана управление передается агенту узла, который координирует подпотребности, возникшие в результате локального планирования, с агентами других узлов, которые должны отправить продукцию по каналу. Затронутые узлы формируют своих агентов подпотребностей и тоже запускают локальное планирование. Упрощенная логика обработки основных внешних событий агентом узла сети снабжения показана на рисунке 4.

Планирование отдельных узлов сети снабжения происходит параллельно и асинхронно, но планы, построенные в рамках каждого узла, постоянно согласовываются, себестоимости и ограничения, выявленные на узлах-поставщиках, передаются потребителям, чтобы они могли скорректировать свои планы. При этом, планирование всей сети завершается только тогда, когда согласовываются все расхождения между узлами и перестают выявляться новые ограничения и дополнительные себестоимости.

5 Задача распределенной обработки и переход к «системе систем»

Система Smart Supply Networks была успешно внедрена в компании Кока-Кола в Германии, обеспечив планирование сети снабжения из более чем 300 узлов, повысив качество выполнения заказов на 7% и сократив затраты на выполнение части заказов на 20%.

Однако, для дальнейшего развития системы и масштабирования ее на более крупные и сложные сети снабжения требуется модифицировать модуль планирования и выработать подходы к автоматическому координированному распределенному планированию.

В качестве примеров сложных сетей, требующих перехода к сетецентрическому планированию, можно рассматривать следующие ситуации:

- Сеть снабжения Кока-Кола Германия связана с сетями снабжения в других странах. Часть продукции, реализуемой на территории Германии, не производится на германских заводах, есть продукция, которая производится только в Германии. Очевидно, имеет смысл

взаимосвязанное планирование работы сетей снабжения в разных странах для более эффективного распределения продукции. Но простая централизация планирования не только технически сложна и снижает скорость получения результатов, но и организационно невозможна, т.к. компании, работающие в разных странах, юридически обособлены. В этих условиях было бы разумно развернуть систему управления в виде распределенной системы, в которой в каждой стране есть свой модуль планирования, и все модули взаимодействуют между собой, обеспечивая координацию в процессе планирования.

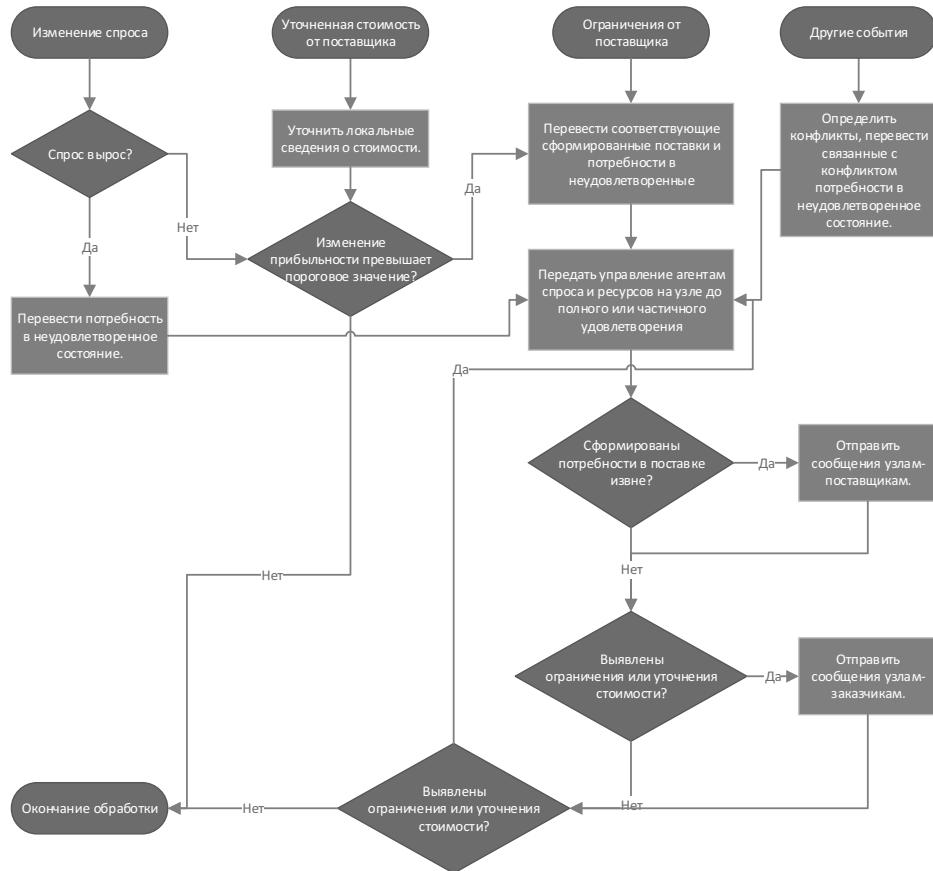


Рисунок 4 – Логика обработки событий на узле сети снабжения

- Поставки в сети Кока-Кола Германия происходят до центров дистрибуции ритейлерских сетей. Очевидно, изменения, происходящие в работе Кока-Кола, отклонения от плана, задержки выполнения заказов могут влиять на работу ритейлерских сетей. Их количество достигает нескольких десятков, а общее число узлов в ритейлерских сетях – десятков тысяч. Очевидно, попытка объединить планирование сетей ритейлеров и поставщиков в единое централизованное пространство делает невозможной быструю обработку и управление в реальном времени. В этой ситуации также можно построить систему систем планирования отдельных поставщиков и ритейлеров, работа которых взаимосвязана через поставки в центры дистрибуции.

- Точность и детализация производственных процессов, учитываемых при планировании сети снабжения, обычно занижена. Это связано с тем, что даже на одном заводе производственные процессы могут быть сложны, и их планирование занимает существенное время, а с учетом того, что сети снабжения могут включать много производственных центров, работа которых зависит друг от друга через поставки промежуточных результатов или через поставки общим потребителям (от общих поставщиков), становится невозможно построить единую централизованную систему планирования в реальном времени, учитывавшую все эти детали. Тем не менее, учет деталей производства остается важным аспектом, который может существенно повысить качество планирования и устранил человеческий фактор. В этой ситуации, разумно было бы построить систему планирования как комплекс из общей системы планирования снабжения и набора систем детального планирования производства, установленных отдельно для каждого производственного центра. Тогда системы производственного планирования могли бы планировать задания, предварительно сформированные системой управления сетью снабжения, учитывая детали производственных процессов и ситуацию на производстве, при этом не блокируя работу всей сети. По факту построения плана производства выявленные ограничения могут передаваться в систему управления сетью и учитываться там при перепланировании.

Все эти ситуации подразумевают временное расхождение планов различных систем, т.к. они должны работать асинхронно и не должны блокировать друг друга. Однако, это расхождение существенно меньше, чем то, которое существует без применения систем координированного планирования.

Для перехода к распределенному планированию предлагается использовать следующий подход. Рассмотрим условную глобальную сеть, состоящую из двух подсетей, обособленных друг от друга, но влияющие на работу друг друга через поставки определенной продукции (рисунок 5). Текущая архитектура и метод планирования системы Smart Supply Network позволяют создать две независимые сети в состав которых, кроме собственных узлов, войдут также пограничные (или «шлюзовые») узлы из смежной сети (рисунок 6). Агенты шлюзовых узлов в системе планирования должны иметь специальную логику.

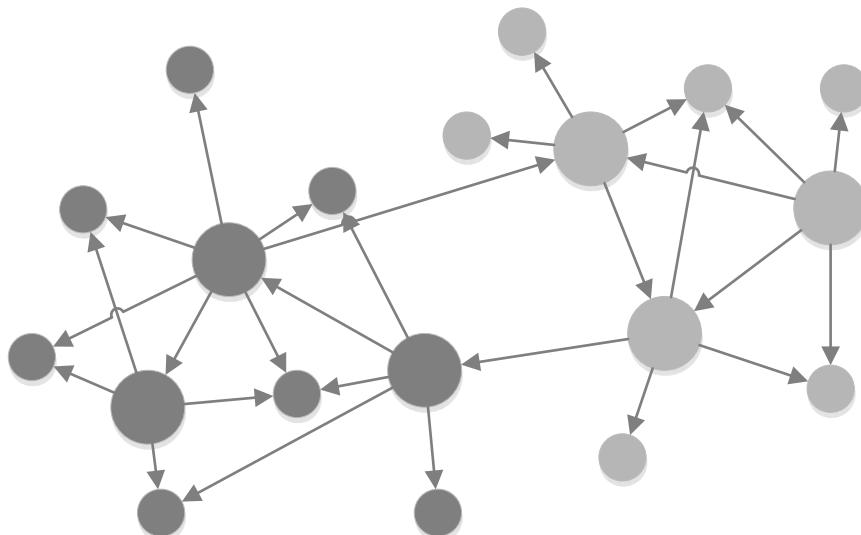


Рисунок 5 – Взаимосвязанные сети снабжения

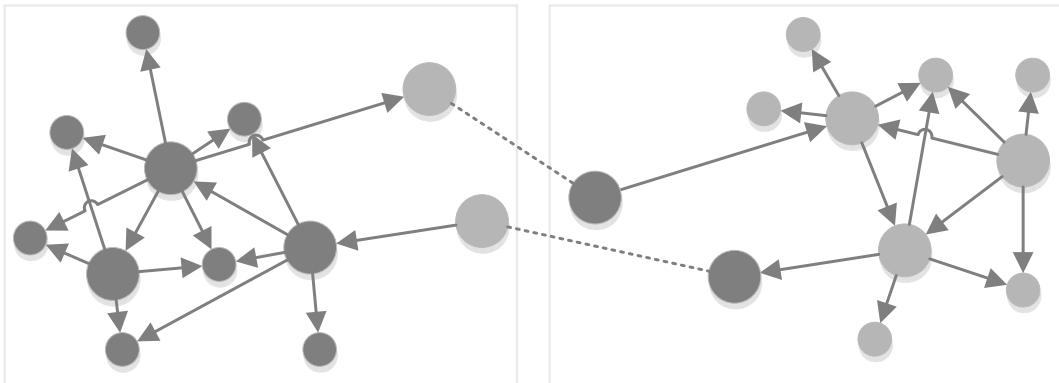


Рисунок 6 – Сети в двух взаимосвязанных системах планирования

Если шлюзовой узел имеет только входящие каналы из планируемой сети, то он не должен иметь никаких производственных мощностей (даже если они есть в реальном узле) и может содержать только заказы, выполнение которых не удалось на текущий момент запланировать в смежной сети. Таким образом, в этой ситуации шлюзовой узел становится дополнительной точкой сбыта для рассматриваемой сети, на которой извне появляется спрос и планируется наравне со спросом внутри сети.

Если шлюзовой узел имеет только исходящие каналы в планируемую сеть, то он, если явно не указано другое на начальный момент планирования, может иметь неограниченные производственные мощности, т.е. способен произвести любой объем продукции в любой момент времени по запросу из сети.

Если шлюзовой узел имеет и входящие и исходящие каналы, то можно представить его двумя независимыми узлами вышеуказанных типов.

Далее каждая система работает обособленно и планирует деятельность своей сети. После завершения очередного перепланирования полученный план может содержать следующие характерные ситуации:

- Все заказы на определенном шлюзовом узле полностью удовлетворены, узел получил уточненные себестоимости выполнения этих заказов внутри сети.
- Часть заказов на определенном шлюзовом узле не удовлетворена и узел получил ограничения на поставку различной продукции в определенные интервалы времени по определенным каналам из рассматриваемой сети.
- На определенном шлюзовом узле запланировано производство для поставки запрошенной продукции в рассматриваемую сеть.

Для обеспечения координации между сетями в мультиагентную среду нужно добавить агента сети. Он получает управление после завершения планирования сети, проверяет наличие шлюзовых узлов и сформированные на них планы (указанные выше ситуации). Далее он связывается с сервисом, отвечающим за планирование смежной сети для каждого шлюзового узла (сетей может быть любое количество) и передает ему события, характерные для каждой ситуации:

Если заказы запланированы на шлюзовом узле, то в сервис смежной сети на связанный с шлюзовым узлом (связи показаны пунктиром на рисунке 6) передается подтверждение планирования в виде снятых ограничений на производство, но с указанием себестоимости «производства» по каждой позиции в заказе. Т.е. поставка запрошенной продукции из одной сети в другую моделируется в принимающей сети производством этой продукции.

Если часть заказов не запланирована из-за обнаруженных в сети ограничений, то в сервис смежной сети в связанный с шлюзом узел передаются ограничения, в пределах которых можно сделать поставку.

Если на шлюзовом узле запланировано производство, это означает, что сеть ожидает получить из смежной сети определенный объем продукции. Тогда агент сети отправляет в сервис смежной сети новые заказы на узел, связанный с шлюзом.

Передача ограничений и себестоимости воспринимаются планировщиком смежной сети как новые события и вызывают перепланирование, в результате которого могут измениться производственные операции на шлюзовом узле в смежной сети, что означает, в свою очередь, передачу обновленного списка заказов на поставку и перепланирование в первой сети.

Теоретически, при изменениях ограничений и себестоимости в взаимодействии двух сетей могут формироваться циклические процессы. Чтобы избежать этого, сервис каждой сети должен накапливать ограничения в течение характерного периода координации и не позволять вернуть себя новыми (снятыми) ограничениями в одно из состояний, которые уже были раньше в процессе координации. После периода координации ограничения могут быть постепенно сняты, чтобы не ухудшать качество планирования при следующих перепланированиях.

В связи с тем, что в распределенной среде не гарантируется надежная обработка запросов всеми участниками, следует учитывать предельное время ожидания результатов обработки смежных сетей, после которого планирование переданных заказов считается неудачным и сеть, отправившая заказ, сама устанавливает нулевое ограничение на поставку из смежной сети.

Таким образом, для организации распределенного планирования в «системе систем» каждая система планирования должна поддерживать унифицированный программный интерфейс, позволяющий отправить в нее как минимум два типа сущностей:

- Заказ на поставку (узел сети, продукт, количество, время).
- Ограничения на поставку (узел сети, продукт, максимальное количество, себестоимость, интервал времени).

Это верно не только для случая координации двух сетей, но и для координации системы планирования сети с системами детального планирования производства и логистики. В последнем случае взаимодействие также строится на передаче заказов и ограничений. Например, система планирования сети строит план исходя из грубой оценки производственной мощности, на узле, отвечающем за производство, формируются производственные операции. Эти операции (или их результаты) передаются в сервис производственного планирования в виде заказов. Система производственного планирования строит детальный план и формирует точную потребность в материалах и ограничения по выполнению заказов (может выполнить не все). Потребность в материалах передается обратно в планировщик сети в виде заказа на поставку, а ограничения привязываются к производственному центру.

Единственным существенным требованием является поддержка системой производственного планирования такого же API, включая возможность привязки к шлюзовым узлам. Для системы производственного планирования это просто точки входа и выхода (или дескрипторы источников и приемников продукции).

Заключение

Предложенный подход обеспечивает унифицированное взаимодействие различных систем для координации и распределенного планирования, не накладывая существенных ограничений на внутреннее устройство этих систем.

Ожидается, что в результате развития метода планирования и перехода от изолированной системы планирования к сети взаимосвязанных систем планирования будут достигнуты следующие результаты:

- Будет решаться сложная задача координированного планирования и управления сложными большими сетями снабжения.
- Повысится прозрачность работы сети снабжения.
- Обеспечится быстрая реакция на непредвиденные события различных типов в реальном времени, происходящих в любой из взаимосвязанных систем.
- Работа станет более эффективной – работы будут планироваться и реализовываться на основе детального расчета, анализа и сопоставления вариантов.
- План работы будет гибким и открытым к любым изменениям «на лету», с учетом индивидуальных особенностей заказов и ресурсов.
- План гораздо лучше будет отражать реальность – поскольку будет корректироваться в ходе выполнения работ.
- Сократится трудоемкость планирования для взаимосвязанных предприятий.
- Уменьшится негативное влияние человеческого фактора (случайные ошибки, искажение данных и т.д.).

Список литературы

- [1] Иващенко А. В., Карсаев О. В., Скобелев П. О., Царев А. В., Юсупов Р. М. Мультиагентные технологии для разработки сетецентрических систем управления. // VI Всероссийская научно-практическая конференция "Перспективные системы и задачи управления", 4 - 6 апреля 2011 г. Таганрог. – Известия ЮФУ. Технические науки. 2011. №3 (116). С. 11-23.
- [2] Аксенов К.А., Неволина А.Л., Аксенова О.П., Смолий Е.Ф. Мультиагентное моделирование и планирование логистики [электронный ресурс] // Современные проблемы науки и образования. – 2013, выпуск №4 – С.1-9 // Современные проблемы науки и образования: [сайт]. – Режим доступа: <http://www.science-education.ru/110-9744>
- [3] Hernández J. E., Mula J., Poler R., Lyons Andrew C. Collaborative planning in multi-tier supply chains supported by a negotiation-based mechanism and multi-agent system / Group decision negotiation. – 2014.– Vol.23, iss. 2. – Pp. 235-269.
- [4] Ming Li, Xiao-Ning Fang, Chang-Chun Jiang The design of supply chain logistics information integration platform for auto parts enterprises based on multi-agent/In proceeding of Internetcational conference on management science and management innovation (MSMI 2015). – Pp. 91-95 // Atlantis Press : [site]. Available at URL: <http://www.atlantis-press.com/php/pub.php?publication=msmi-15&frame=http%3A//www.atlantis-press.com/php/paper-details.php%3Fid%3D25836017>

НЕОБХОДИМЫЕ И ДОСТАТОЧНЫЕ УСЛОВИЯ «САМОПОЖЕРТВОВАНИЯ» АГЕНТА

В.К.Абросимов

НПК «Сетецентрические системы»
443013, г. Самара, ул. Московское шоссе, 17, Россия
abrosimov@smartsolutions-123.ru
тел: +7 (916) 815-35-12

Ключевые слова: агент, жертва, самопожертвование, необходимые условия, достаточные условия, объект управления.

Abstract

The situations when agent of the multi-agent system voluntarily or involuntarily perform actions incompatible with its intended goal are considered. Such the property reflects the ability of the agent to becoming as «sacrifice». The necessity for self-sacrifice arises in an antagonistic environment when a restriction substantially hinder the performance of collective tasks. Example: group penetration through a highly organized hierarchical defense system. The necessary conditions for such agent's behavior is the training agent to sacrifice itself in order to fulfill the collective task. Sufficient conditions are: a) the availability of necessary resources, and b) the ability to solve facing the group of agent's problems. Practical algorithm of self-sacrifice decision-making can be used in an emergency situations problems using robotic tools, as well as in a military applications to building an effective strategies of defense.

Введение

Оценка практических возможностей использования многоагентных систем неразрывно связана с изучением их свойств. По умолчанию часто предполагается, что одним из основных свойств агентов является рациональность. Рациональное поведение агентов связано с оценкой ситуации, принятием решений и оптимальными действиями для достижения наилучшего ожидаемого результата.

В теории принятия решений широко распространены подходы, связанные с рациональным выбором. Рациональность ассоциируется с выбором оптимального решения из множества альтернатив и, как следствие, с эффективностью. В игровых задачах всегда предполагается, что обе стороны действуют рационально. Однако этот тезис иногда сокращает область возможных решений. Действительно если сторона А конфликта предполагает, что другая сторона В действует рационально, то, устранив насколько информационно возможно, объективную неопределенность ситуации, сторона А она может построить необходимые модели «за другую сторону», имитируя, моделируя и прогнозируя поведение стороны В, как рационального игрока. Но при этом мера адекватности принятых решений не всегда велика.

Таким образом, в задачах теории игр и принятия решений могут возникать ситуации, когда следствием рациональности является предсказуемость, что не всегда эффективно.

1 Возникновение проблемы и потребности в ее решении

Без потери общности рассмотрим для примера групповую задачу класса «диффузной бомбы» [1], решаемую группой подвижных объектов управления (ОУ). В этой задаче подвижные объекты в группе принимают решения по выбору траекторий движения. Применимельно к движению во враждебной среде проблема выражается в виде некоторого геометрического пространства G , в котором выполнение поставленной коллективной задачи как всей группой

ровкой, так и отдельными объектами управления становится затруднительным, если вообще возможным. Типовым подходом является определение оптимальных траекторий обхода таких опасных зон.

Будем рассматривать ОУ как агентов с соответствующими агентскими свойствами [2]. Определим способность враждебной среды противодействовать функционированию i -того ОУ через p_i^G ($p_i^G = 1$ будет означать вероятность гибели i -того агента при движении в области G). Введем в рассмотрение функцию вклада (полезности) i -того агента в выполнение общей коллективной задачи $w_i(t)$. Коллективная целевая функция в каждый текущий момент времени формируется как алгебраическая сумма функций вклада N отдельных агентов $W^\Sigma(t) = \sum_{i=1}^N w_i(t)$. Если агент будет жертвовать собой, то часть возложенных на него группировкой задач останется невыполненной, что можно описать потерями вклада агента $w_i^-(t)$ в $W^\Sigma(t)$. Поскольку современная среда противодействия является сетецентрической [2], то процесс увеличения $W^\Sigma(t)$ можно прогнозировать на некоторой интервал времени $[t - t^+]$. При этом производная функции $W^\Sigma(t^+)$ должна быть строго положительной. Невыполнение этого условия означает возникновение проблемы.

В состав группировки могут входить ОУ с различным функционалом. Но каждый i -тый ОУ обладает определенной ценностью λ_i , например, стоимостью. Если через область G проходят траектории $Q < N$ объектов управления и они могут не выполнить свои задачи, то потери всей группировки составят $W^q(t^+) = \sum_{q=1}^Q w_q(t^+)$ по целевой функции и $C^q(t^+) = \sum_{q=1}^Q \lambda_q$ по ценности потерянных ОУ.

Поэтому при возникновении проблемы G у группировки возникает необходимость выбрать агента-«жертву», который добровольно или принудительно выполнит действия, несогласимые с его дальнейшим функционированием, но решит проблему. В обозначениях F_p (необходимый функционал) и R_p (необходимые ресурсы) обозначим проблему ее кортежем (F_p, R_p) . Выбираемый в качестве потенциальной «жертвы» i -тый ОУ должен:

- обладать функционалом F_i^G для решения проблемы (так, беспилотный летательный аппарат (БПЛА)-разведчик не может уничтожить радар ПВО);
- иметь ресурсы R_i^G для решения проблемы (применительно к БПЛА: топливо, скорость, боевой заряд, аппаратуру и др.).

Группировка при этом должна решить проблему с минимальными допустимыми потерями $W^q(t^+) \rightarrow \min, C^q(t^+) \rightarrow \min$.

2 «Жертвенность» как антипод рациональности

Жертвенность с общеупотребительной точки зрения всегда связывается с потерей - эффективности, качества, оперативности и др. При выполнении группой коллективной задачи необходимость «жертвы» всегда связана с возникновением проблемы во враждебной среде. Различают пассивную и активную враждебность среды. В основе пассивной враждебности лежат объективные факторы – туман, дым от пожаров, дождь, ночные условия наблюдения, высокая радиоактивность и др. Пассивная враждебная среда образуется спонтанно, слабо регулируется, но общем случае прогнозируется. Активная враждебная среда (примеры: средства противовоздушной обороны, радиоэлектронное противодействие и др.) организовывается специально, но прогнозируется с трудом.

Пусть в сложных условиях враждебности среды в интересах достижения коллективной цели возникает необходимость решения возникающей природной или специально создаваемой проблемы ценой прекращения активного функционирования или снижения возможностей (функциональности, ресурсов и др.) одного или нескольких агентов. Иными словами, возникает потребность «жертвы». Свойство «жертвенности» в теории многоагентных систем в прямой постановке пока еще не выделялось. Однако в ряде случаев оно может оказаться полезным.

Так, например, в упоминавшейся «задаче о диффузной бомбе» при групповом проникновении на защищаемый объект посредством жертвы можно повысить вероятность безопасного движения в пространстве, нейтрализуя влияние системы обороны и создавая своего рода «окна безопасности».

Конечно, представить ситуацию самопожертвования со стороны пилотируемых средств достаточно сложно. Однако для класса активно развивающихся в настоящее время беспилотных летательных аппаратов, процессов построения систем групповой атаки с использованием дешевых боевых и/или ложных элементов, постановка такой задачи уже имеет смысл, в частности в смешанной группе. Особенно перспективно исследование возможности «жертвенности» при роевой и стайной форме группировки. Так, например, известное своими инновационными разработками американское агентство DARPA, рассматривая функции беспилотных летательных аппаратов, в числе основных (разведывательных, ударных и др.) направляющую выделяет функцию «камикадзе».

Сформулируем важный для дальнейшего обсуждения предикат в виде А: «*i*-тый агент готов к самопожертвованию в *s*-той проблемной ситуации». Сама формулировка предиката предполагает нечеткость его конкретного использования. Возможны различные трактовки как готовности, так и ситуации. Формализуем предикат А нечетким числом с функцией принадлежности $\mu_i^s \in [0, 1]$. Перед агентом, которому необходимо принимать решение в проблемной ситуации, возникают следующие три альтернативы [2]:

- жертвовать собой, отказавшись от выполнения собственных задач (агент-«альtruist» $\mu_i^s = 1$);
- не жертвовать, а продолжать выполнять возложенные задачи в рамках выполнения коллективной задачи (агент-«эгоист» $\mu_i^s = 0$);
- жертвовать собой при выполнении определенных условий (агент-«прагматик» $\mu_i^s \in [0, 1]$).

3 Формирование достаточных условий «самопожертвования»

Как известно, достаточными условиями истинности предиката А называются такие, при наличии которых утверждение А является истинным. Два условия: а) наличие функциональных возможностей F_i^s по решению *s*-той проблемы (пример для летательных аппаратов: способностью воздействия на систему обороны, возможностью маневрирования в зоне действия системы обороны и др.) и б) необходимых ресурсов R_i^s для решения *s*-той проблемы (примеры для летательных аппаратов: топливом, запасом характеристической скорости для достижения цели или аэродинамики при движении в режиме планирования в воздушном пространстве и др.) отнесем к достаточным условиям самопожертвования.

Рассмотрим случай существования необходимых, но не достаточных условий самопожертвования. Это означает, что в складывающейся пространственно-временной ситуации у агента, обученного парадигме «жертвенности», отсутствуют необходимые ресурсы и/или возможности для решения коллективной проблемы. В ситуациях, когда сформированы лишь достаточные условия самопожертвования, агент имеет ресурсы и возможности, но либо не был обучен «жертвенности», либо, по каким-то причинам не желает их использовать.

Ситуация характеризуется необходимыми и достаточными условиями «жертвенности», когда агент обучен «жертвенности» в парадигме $\mu_i^s \in [0, 1]$, имеет ресурсы R_i^s и возможности F_i^s по решению *s*-той коллективной проблемы. Обозначим агента- потенциальную «жертву»- как S-агент.

При наличии Лидера в группировке при получении информации по *s*-той проблеме, угрожающей выполнению групповой задачи, S-агент связывается с Лидером и выражает свою готовность к самопожертвованию. При отсутствии лидера группировка в процессе переговоров для решения *s*-той проблемы либо отыскивает агента, обладающего максимальной готов-

ностью к самопожертвованию (свойством $\mu_i^s = 1$), либо S-агент выбирается (назначается) из числа агентов группы, обладающих свойством $\mu_i^s \in [0, 1]$ с учетом различных критериев (его ценности, наличия требуемого функционала, ресурсоемкости, готовности к самопожертвованию и др.), если иначе задача неразрешима.

Кроме функционала и ресурсов S-агент должен оценить возможность дальнейшего функционирования после разрешения проблемы v_i^s . Тогда достаточное условие «самопожертвования» будет выражаться в виде логического выражения

$$F_p \subseteq F_i^s \wedge R_i^s \geq R_p \wedge v_i^s \geq p_i^s$$

С точки зрения возможности самопожертвования исключительно важно, могут ли агенты по своим ресурсам и функциональным возможностям «заменять» друг друга. Действительно, S-агент объективно не выполняет часть своих собственных задач; они должны быть перераспределены среди других агентов. Для этого могут быть задействованы как функциональные возможности агентов, так и их остаточные ресурсы. Распределение ресурсов других агентов по невыполненным задачам S-агента может быть реализовано с использованием подхода «потребности-возможности» [3].

4 Формирование необходимого условия «самопожертвования»

Как известно, необходимыми условиями истинности предиката A называются условия, без соблюдения которых A не может быть истинным. В работе [2] предложено ОУ рассматривать как агента, имеющего как потребности, так и возможности [3]. Это означает, что его система управления должна понимать термин «жертвенность», что можно осуществить в результате специального обучения (с учителем, без учителя, путем самообучения и др.). Тогда к необходимым условиям жертвенности агента следует отнести обученность агента жертвовать собой в интересах выполнения коллективной задачи.

Обучение агента действию определяется формированием стратегий его поведения в определенных типовых ситуациях. Такие ситуации существенно зависят от онтологии предметной области, в которой решается задача. При формировании группировки для выполнения коллективной задачи первичным является та роль Ω_i , которая отводится i-агенту в группировке. В свою очередь роль определяет требуемый функционал F_i , а функционал в свою очередь – требуемые ресурсы R_i . Иными словами $\Omega_i \rightarrow F_i \rightarrow R_i$.

Обучение агента жертвенности, как основное, включает два аспекта: создание образов ситуаций, в которых будет приниматься решение о жертвенности, как обучающих примеров, и направленное указание о выборе одной из трех стратегий поведения в таких ситуациях.

Для обучения жертвенности предлагается использовать аппарат нейронных сетей. Сформируем многослойную нейронную сеть с ансамблевой организацией [4], придавая нейронам и ансамблям нейронов различных слоев определенный смысл. На первом уровне разместим нейроны-акторы, описывающие враждебную среду (примеры: туман, система ПВО «Patriot» и др.). На втором-нейронные ансамбли, описывающие характеристики враждебной среды (для тумана: размеры облака, плотность, ожидаемое время рассеивания; для системы ПВО: дальность обнаружения, точность сопровождения объектов, высоты перехвата и скорости противоракет). На третьем разместим ансамбли нейронов с описанием пространственно-временных областей, в которых враждебная среда создает угрозы, и их последствий (характеристики эллипсоида, в котором высокая вероятность поражения самолетов, ошибки в распознавании объектов вследствие проблем в работе оптической аппаратуры беспилотников и др.). При описании типовой модельной ситуации Z нейроны каждого слоя возбуждают нейроны-представители ансамблей следующего слоя. Возбуждение организуется за счет заранее заданных нейронных связей. Таким образом, вся область пространства, в которой могут возникнуть угрозы для решения коллективной задачи, заполняется нейронными ансамблями, возбужден-

ными с разной степенью активности; степень возбуждения ассоциирована с вероятностью не выполнения задач агентами данного вида в выбранной области пространства.

Образ объекта управления как агента создается на основе принципа фоторобота [5]. Это позволяет синтезировать необходимые для моделирования различные летно-технические облики объектов управления, задавать их требуемые характеристики и функциональные возможности. В качестве одной из характеристик системы управления закладывается признак «готовности в самопожертвованию». Осуществим, наконец, необходимое движение объекта управления синтезированного облика по нейронным траекториям в различных практически интересных ситуациях [4]. В качестве исходных данных при этом используется потенциально возможная роль Ω_i агента (пример: разведка, постановщик радиопомех, ударное средство, командный пункт-лидер группировки и др.), его функционал и стоимость (ценность).

В результате такого моделирования будут вырабатываться правила типа:

$$R: \text{for } \Omega_i^j \wedge F_i^k \wedge \lambda_i \text{ в ситуации } z \rightarrow \mu_i^{jkz} \in [0, 1].$$

Здесь

- $j \in J$ – множество потенциально возможных ролей ОУ-агента i -того облика;
- $k \in K$ – множество потенциально возможных функций ОУ-агента i -того облика;
- $z \in Z$ – множество ситуаций, в которых ОУ-агент i -того облика должен или может проявлять свойство жертвенности;
- λ_i – ценность (стоимость) ОУ-агента i -того облика.

Таким образом, в результате обучения каждой роли, функции, ситуации будет поставлена в соответствие степень готовности агента с данной ценностью к самопожертвованию. Обобщенные результаты такого обучения систематизированы в табл.1.

Таблица 1 – Результаты обучения агента свойству «жертвенности»

Характеристики	Результаты обучения жертвенности		
	«Альтруист»	«Эгоист»	«Прагматик» (степень pragmatизма ϵ)
Стоимость объекта управления	Низкая	Высокая	Средняя
Функционал	F_i	F_i	F_i
Ресурсы	$R_i \geq R_i^G$	\sim	$R_i \geq \epsilon R_i^G$
Возможность продолжать функционирование после факта жертвенности	\sim	$v_i^s = 1$	$v_i^s \geq p_i^s$
Обязательства α перед группировкой	$\mu_A(\alpha) = 1$	$\mu_A(\alpha) = 0$	$\mu_A(\alpha) \in [0, 1]$
Убежденность β в способности решить проблему	$\mu_B(\beta) = 1$	\sim	$\mu_B(\beta) \in [0, 1]$
Намерение γ решить проблему	$\mu_C(\gamma) = 1$	$\mu_C(\gamma) = 0$	$\mu_C(\gamma) \in [0, 1]$
Степень μ готовности к жертвенности	$\mu_i^s = 1$	$\mu_i^s = 0$	$\mu_i^s \in [0, 1]$
Стратегия поведения в процессе переговоров агентов	«self-sacrifice»,	«self-preservation»	«sacrifice on demand»
Типовая роль i в группе	Ложный объект управления	Лидер	Исполнитель

5 Алгоритм реализации стратегии «самопожертвования»

Сформируем следующий алгоритм выбора агента-жертвы в парадигме самопожертвования.

- 1) В процессе выполнения коллективной задачи прогнозируется характер изменения производной $W^{\Sigma'}(t^+)$. Если $W^{\Sigma'}(t^+) \leq 0$, то принимается решение о возникновении s -той проблемы. Проблема фиксируется парой $\{F_s, R_s\}$.
- 2) Оцениваются потери группы вследствие возникновения s -той проблемы в виде $\Delta W^{\Sigma}(t)$.
- 3) Если потери превышают допустимые $\Delta W^{\Sigma}(t) \geq \Delta W^{\Sigma*}(t)$, то принимается решение о поиске агента – «жертвы».
- 4) Выбирается группа агентов \tilde{F} , функционал которых удовлетворяет условию $F_s \subseteq F_i^s \forall i, i \in \tilde{F}$.
- 5) Из группы \tilde{F} выбирается группа агентов $\tilde{R} \in \tilde{F}$ из условия $R_i^s \geq R_s^* \forall i, i \in \tilde{R}$.
- 6) Из группы \tilde{R} выбирается группа агентов $\tilde{V} \in \tilde{R}$ из условия $v_i^s \geq p_i^s \forall i, i \in \tilde{V}$.
- 7) Из группы \tilde{V} выбирается группа агентов \tilde{I} с заданной величиной готовности к самопожертвованию из условия $\mu_i^s \geq \mu_i^{s*} \in [0, 1], i \in \tilde{I}$.
- 8) Если количество агентов $\tilde{I} > 1$, то в качестве жертвы выбирается тот агент, у которого ценность минимальна s : $\lambda_s = \min_i \lambda_i$.

Обсуждение

Таким образом, одним из важных свойств агентов является слабо исследованное свойство жертвенности. Для его реализации необходимо и достаточно, чтобы летательный аппарат, как агент, был обучен соответствующим стратегиям поведения, имел необходимый функционал и ресурсы в ситуации, когда группировкой в процессе переговоров или Лидером будет принято решение о жертвенности.

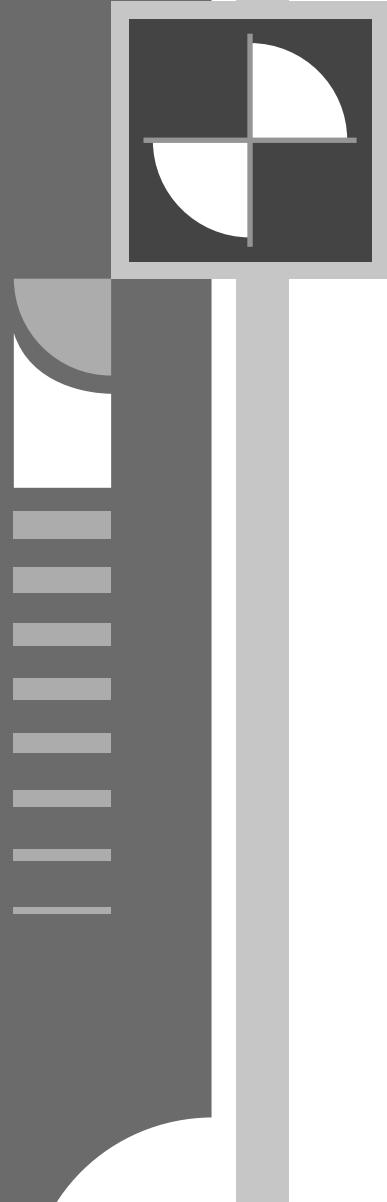
Подчеркнем, что важно не распространять возможные аналогии поведения живых существ, связанные с жертвенностью, на технические объекты. Жертвенность для летательных аппаратов, представляемых в виде агентов - не что иное, как просто одно из свойств, которому система управления обучается заблаговременно. Далее это свойство реализуется как необходимое поведение агента в соответствующей ситуации.

Благодарность

Настоящая работа частично поддержана грантом РФФИ № 16-08-00832-а.

Список литературы

- [1] Корепанов В.О., Новиков Д.А. Модели стратегического поведения в задаче о диффузной бомбе // Проблемы управления, №2, 2015, с.38–44.
- [2] Абросимов В.К. Моделирование мониторинга местности в активной враждебной среде с использованием свойства «жертвенности» агента. // Труды 7 Всероссийской научно-практической конференции «Имитационное моделирование. Теория и практика» (ИММОД-2015), Часть 1, с. 4-9.
- [3] Ржевский Г.А., Скobelев П.О. Как управлять сложными системами? Мультиагентные технологии для создания интеллектуальных систем управления предприятиями. - Самара, ООО «Офорт», 2015.- 290 с.
- [4] Абросимов В.К. Нейронная пространственно-временная модель движения объектов управления // Нейрокомпьютеры. Разработка, применение, № 3, 2014, с.26-35.
- [5] Отчет по гранту РФФИ № 13-08-00721-а, Москва, РАН РФ, фонд РФФИ, 2015. – 20 с.



Information Technologies in Control and Management Systems
Информационные технологии в управлении

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ СТРАТЕГИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЕМ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

Л.В. Массель, А.Г. 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: интеллектуальные технологии, ситуационное управление, энергетическая инфраструктура, семантическое моделирование, экспертная система.

Abstract

In the article the authors describe the proposed approach to the development of intelligent semiotic systems for strategic situational management in critical infrastructures (for example, in energy sector). It's considered a converting of the general scheme of situational management offered by D.A. Pospelov into the author's semantic modeling tools. The ontological engineering of situational management problems is performed. The architecture of the situational polygon is proposed, as the prototype of a semantic intelligent system, which includes, in addition to semantic modeling tools, expert system Advice, contingency management language CML management Repository. A general description of the CML is given and metaontologies of situational management and CML are shown.

Введение

Авторы развиваюают высказанную ими ранее идею применения концепции ситуационного управления для управления в энергетике и предлагают расширить область ее применения для поддержки принятия стратегических решений по управлению развитием не только энергетической, но других критических инфраструктур. Реализация концепции выполняется на основе интеграции интеллектуальных технологий: семантического моделирования и экспертных систем. Предлагается семиотический подход к построению интеллектуальных систем стратегического ситуационного управления в критических инфраструктурах, основанный на базовых понятиях семиотики и семиотической модели в трактовке Д.А. Поспелова и Г.С. Осипова. Авторами выполнено отображение идей Поспелова на современные информационные технологии, в частности, семантическое моделирование. Последнее рассматривается как одно из направлений семиотического моделирования, в котором преобладает графическое представление разрабатываемых моделей. Предложена архитектура Ситуационного полигона, как прототипа интеллектуальной системы семиотического типа для ситуационного управления. Помимо инструментальных средств семантического моделирования, в него включены экспертная система Advice, обеспечивающая сопоставление ситуаций, требующих вмешательства, и соответствующих управляющих воздействий Репозитарий. В качестве инструмента реализации правил изменения базовых множеств классической формальной модели (что и превращает ее в семиотическую) предлагается язык ситуационного управления CML. Разработка языка CML выполнена на основе онтологического инжиниринга проблемы ситуационного управления. Приводится метаонтология CML и дается краткое описание языка CML, который обеспечивает функции как создания и пополнения баз знаний, так и интеграции всех компонентов Ситуационного полигона.

1 Энергетика как одна из критических инфраструктур

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. В исследованиях критических инфраструктур 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.

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» [2]. 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.

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.

Авторы считают, 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 [3], и развитие семиотического подхода к построению интеллектуальных систем в рамках этого направления [4].

2 Семиотический подход к построению интеллектуальных систем сituационного управления

Основы семиотического подхода к построению интеллектуальных систем для управления техническими системами в нашей стране также заложены в работах Д.А. Поспелова.

Семиотика - это наука, исследующая свойства знаков, знаковых и символьных систем, используемых в процессе коммуникации. В настоящее время в мире она активно развивается. В 2014 г. состоялся 12-й Всемирный конгресс по семиотике (Болгария, София), в котором принимали участие более 600 человек, в том числе, авторы статьи [5]. Рассматривались всевозможные приложения семиотики в самых различных предметных областях. В областях, близких к информатике, это искусственные языки, процессы обработки информации (например, языки программирования, языки для индексирования документов, записи научно-технических фактов и знаний), алгоритмы, обеспечивающие обработку текстов на естественном языке (машиинный перевод, автоматическое индексирование и реферирование, перевод с естественного языка на формальный язык), составления картографических изображений, специальных схем и планов др. Ведущими учеными-семиотиками (А. Соломоник, (Израиль), А.

Володченко (Германия), К. Банков (Болгария) и др.) отмечалось недостаточное распространение семиотики в технических областях, а точнее, практическое отсутствие таких работ.

Д.А. Поступовым было введено определение семиотической модели [6], которое потом было детализировано Г.С. Осиповым [7]. Согласно последнему, семиотическую модель можно определить как восьмерку:

$$W = \langle T, R, A, P, \tau, \rho, \alpha, \pi \rangle,$$

где:

- T - множество основных символов;
- R - множество синтаксических правил;
- A - множество знаний о предметной области;
- P - множество правил вывода решений (прагматических правил);
- τ - правила изменения множества T ;
- ρ - правила изменения множества R ;
- α - правила изменения множества A ;
- π - правила изменения множества P .

Иначе говоря, в отличие от формальных моделей, в которых элементы, образующие множество T , обладают жестким синтаксисом, жесткой семантикой и жесткой прагматикой, в семиотической модели все эти свойства элементов множества T становятся доступными для изменения; именно такой особенностью обладают знаки – элементы знаковых, или семиотических систем, изучаемых в семиотике. Такие системы тесно связаны со всей человеческой деятельностью, именно изменчивость и условность знаков делают эту деятельность эффективной.

Следует отметить, что семиотический подход в нашей стране развивается, в частности, в работах Осипова Г.С., Вагина В.Н., Еремеева А.П. (интеллектуальные системы реального времени семиотического типа), Кулинича А.А. (семиотическая модель когнитивного опыта) и др. Эти работы носят преимущественно теоретический характер. Сведений о развитии этого подхода в области энергетики и применительно к системам ситуационного управления авторам найти не удалось.

3 Онтологический инжиниринг проблемы ситуационного управления в энергетике

Современное состояние и тенденции развития ситуационного управления рассматривались авторами в ряде работ, и, в частности, на этих конференциях [8]. Под руководством и при участии авторов был выполнен онтологический инжиниринг проблемы ситуационного управления в энергетике [9].

Онтологический инжиниринг включает выявление: основных классов сущностей (базовых понятий) в описании реальных взаимодействующих процессов, отношений между этими классами, а также совокупности свойств, которые определяют их изменение и поведение во взаимодействии.

Целями онтологического инжиниринга являются: повышение уровня интеграции информации, необходимой для принятия управленческих решений; повышение эффективности информационного поиска; предоставление возможности совместной обработки знаний на основе единого семантического описания пространства знаний [10].

В результате онтологического инжиниринга проблеммы ситуационного управления 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 рисунке 1.

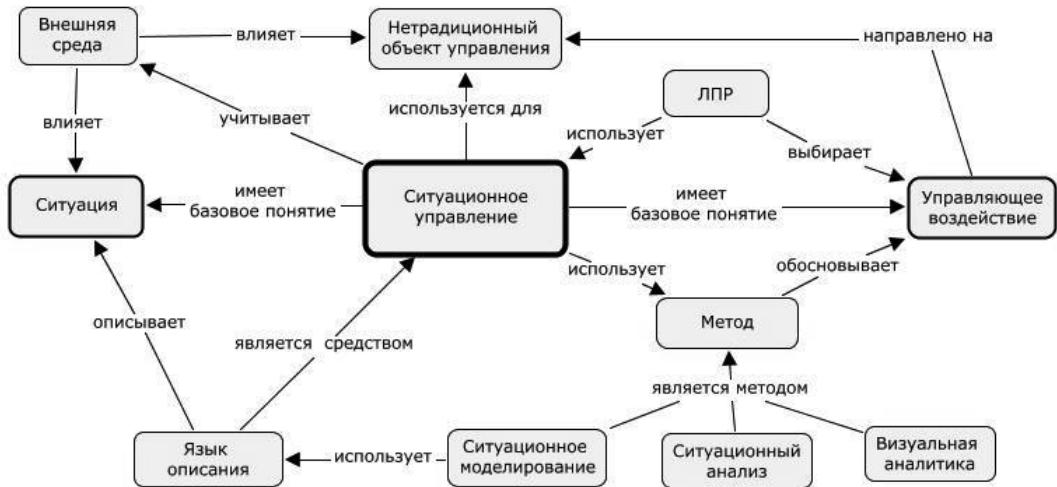


Рисунок 1 – Метаонтология ситуационного управления

4 Интеллектуальные системы семиотического типа

Д.А. Поспеловым была предложена общая схема ситуационного управления на основе семиотического подхода [5]. Основными блоками схемы были определены: *Анализатор* - оценивает сообщения и определяет необходимость вмешательства системы управления в процесс, протекающий в объекте управления; *Классификатор* - использует хранящуюся в нём информацию, относит текущую ситуацию к одному или нескольким классам, которым соответствуют одношаговые решения; *Коррелятор* – определяет то логико-трансформационное правило (ЛТП), которое должно быть использовано. В случае наличия нескольких подходящих ЛТП Коррелятор прибегает к помощи *Экстраполятора*, который выбирает лучшее ЛТП из выбранных Коррелятором на основе прогноза возможного развития ситуации. Если решение не может быть принято, то срабатывает *Блок случайного выбора* и выбирается одно из действий, оказывающих не слишком большое влияние на объект, или система отказывается от какого-либо воздействия. К сожалению, в 80-е годы прошлого столетия эта схема так и не была полностью реализована.

Авторами выполнено отображение этой схемы на современные информационные технологии, а именно, сопоставление блокам общей схемы ситуационного управления семиотического типа разработанных в авторском коллективе средств семантического моделирования и разрабатываемой экспертной системы Advice [4]. Предлагается для выполнения функций Классификатора в системе семиотического типа использовать авторские библиотеки онтологического и когнитивного моделирования OntoMap и CogMap. Функции Экстраполятора могут выполнять инструментальные средства событийного и вероятностного моделирования: авторские библиотеки EventMap и BayNet. Для анализа ситуаций и выбора мероприятий, соответствующих конкретным ситуациям, разрабатывается экспертная система Advice. Для хранения баз знаний и семантических моделей предполагается использовать Репозитарий, первоначально разработанный в рамках ИТ-инфраструктуры исследований в энергетике и используемый в интеллектуальной ИТ-среде [11].

Результаты, полученные авторами, применяются в области, связанной с энергетической безопасностью (ЭБ), поэтому ситуационное управление в данном контексте рассматривается как управление в условиях экстремальных ситуаций в энергетике (Contingency Management)

[12]. Под экстремальными ситуациями (ЭкС) понимаются как критические, так и чрезвычайные ситуации, в соответствии со шкалой «норма – предкризис – кризис». Авторы уделяют большее внимание именно критическим ситуациям.

5 Ситуационный полигон как прототип интеллектуальной системы ситуационного управления семиотического типа

Учитывая наличие факторов неопределенности, при ситуационном управлении зачастую не удается построить и использовать математические модели, поэтому авторы предлагают использовать методы семантического моделирования, к которым они относят онтологическое, когнитивное, событийное и вероятностное моделирование (моделирование на основе байесовских сетей доверия - БСД-моделирование) [13]. Семантические модели представляются, как правило, в графическом виде.

Семантическое моделирование рассматривается авторами, как одна из разновидностей семиотического моделирования, в которой преобладает графическое представление моделей. В качестве инструмента для реализации правил изменения базовых компонентов формальной модели (что и превращает ее в семиотическую) предлагается язык ситуационного управления.

В лаборатории Информационных технологий в энергетике ИСЭМ СО РАН под руководством и при участии авторов была разработана интеллектуальная ИТ-среда, интегрирующая инструментальные средства семантического моделирования для поддержки онтологического (OntoMap), когнитивного (CogMap), событийного (EventMap) и вероятностного (BayNet) моделирования и геокомпонент для 3D-геовизуализации результатов моделирования [11]. Она рассматривается как основа для построения Ситуационного полигона – прототипа интеллектуальной системы ситуационного управления семиотического типа (рис. 2).

Далее рассмотрим вопросы разработки языка описания и управления знаниями для целей ситуационного управления.

6 Общее описание языка ситуационного управления CML

Авторами разработана концепция такого языка, ориентированного на управление в экстремальных ситуациях в энергетике (CML – Contingency Management Language) [14]. При разработке CML авторы опирались на систему онтологий, построенную в результате онтологического инжиниринга проблемы ситуационного управления в энергетике.

Предлагается использовать язык ситуационного управления CML, в соответствии с рисунком 2, для нескольких целей, как:

- 1) язык описания знаний и манипулирования знаниями;
- 2) инструмент классификации ситуаций («норма», критические ситуации, чрезвычайные ситуации);
- 3) средство инициации ЭС для установления соответствия между ситуациями и управляющими воздействиями;
- 4) средство вызова соответствующих инструментальных средств семантического моделирования и модулей отображения (для перехода от одного типа моделей к другому);
- 5) средства обращения к геокомпоненту для 3D-геовизуализации результатов моделирования.

CML включает *словари, описания знаний и операторы манипулирования знаниями*. Словари включают: словарь имен (понятий), словарь отношений, словарь действий, причем в первом выделяются подразделы, в которых хранятся основные понятия (концепты) предметной области, имена объектов и/или наименования программных компонентов, вызываемых с помощью CML. Словарь имен и понятий будет проблемно-ориентированным, т.е. ориентированным на конкретную предметную область.



Рисунок 2 – Архитектура Ситуационного полигона

Иными словами, CML рассматривается как надстройка над существующей версией Ситуационного полигона [15] и выполняет функции как создания и пополнения баз знаний, так и функции интеграции всех компонентов Ситуационного полигона (рис. 2), что, по сути дела, и превращает его в *интеллектуальную систему управления семиотического типа*, поскольку именно с помощью CML можно описывать правила изменения компонентов классической формальной модели (T, R, A, P : множества основных символов T ; множества синтаксических правил R ; множества знаний о предметной области A ; множества правил вывода решений (pragmatical rules) P).

На рисунке 3 приведена метаонтология языка CML, включающая два базовых компонента: Компонент описания знаний и Компонент манипулирования знаниями. Для описания знаний используется простая ядерная конструкция (XYZ) , предложенная в [5], где X, Z – понятия или имена, Y – отношение или действие.

Авторы считают, что разработка универсального языка ситуационного управления навряд ли возможна и целесообразна. Скорее всего, универсальным может быть компонент манипулирования знаниями. В компоненте описания знаний, вероятно, будут выделены базовое ядро и проблемно-ориентированные составляющие. Так, отношения принадлежности и обобщения объектов, классификации ситуаций, обобщения и сравнения явно носят проблемно-ориентированный характер, а отношения именования и оценки критических ситуаций, пространственные, временные и каузальные (причинно-следственные) могут быть универсальными.

Операторы манипулирования знаниями (далее – операторы действия) включают операторы и операнды. CALL – оператор вызова инструментальных средств, CONVERT – оператор преобразования семантических моделей (перехода от одного вида модели к другой); RECORD, FIND и READ – операторы взаимодействия с Репозитарием (см. рис.2). Более подробное описание CML приведено в [14].

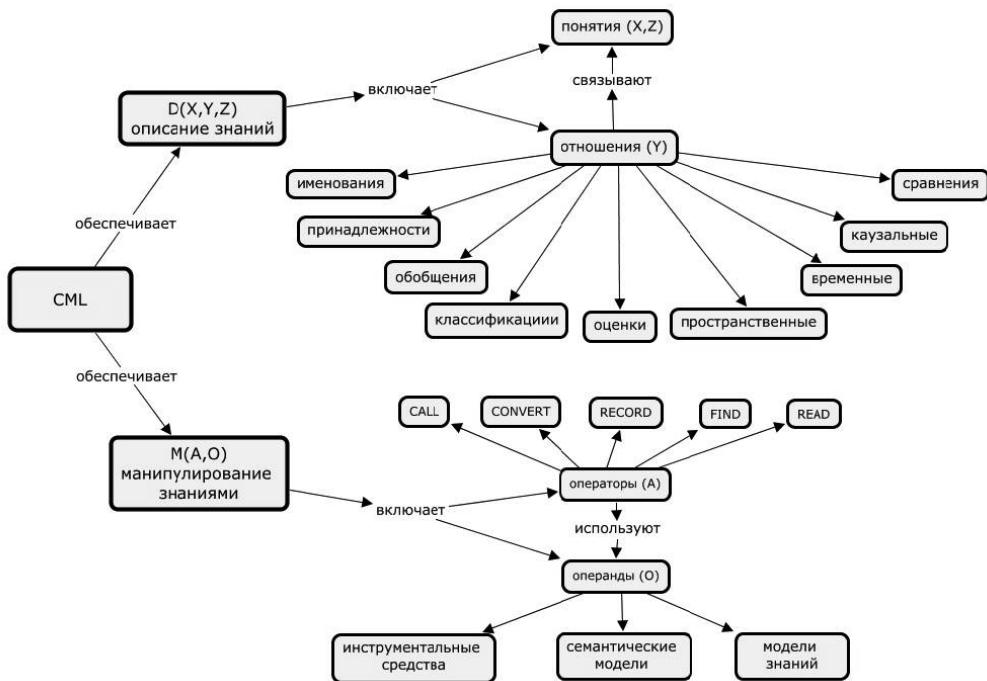


Рисунок 3 – Метаонтология языка ситуационного управления CML

Заключение

Статья посвящена вопросам разработки интеллектуальных технологий для стратегического управления развитием критических инфраструктур на примере энергетической инфраструктуры. Под интеллектуальными технологиями понимаются в первую очередь технологии семантического моделирования (онтологического, когнитивного, событийного и вероятностного) и технологии экспертизы систем. Интеграция этих технологий выполняется в рамках интеллектуальной системы семиотического типа для ситуационного управления в критических инфраструктурах (на примере энергетики). Авторы предлагают рассматривать развиваемое ими семантическое моделирование как одно из направлений семиотического моделирования, в котором преобладает графическое представление разрабатываемых моделей. Предложена архитектура Ситуационного полигона, который рассматривается как прототип интеллектуальной системы семиотического типа для ситуационного управления. Язык ситуационного управления предлагается в качестве инструмента для реализации правил изменения базовых компонентов формальной модели (что и превращает ее в семиотическую). Его разработка выполняется на основе онтологического инжиниринга. Даётся краткое описание основных конструкций предлагаемого языка CML, который выполняет функции как создания и пополнения баз знаний, так и интеграции всех компонентов Ситуационного полигона.

Благодарности

Результаты, представленные в статье, получены при частичной финансовой поддержке гранта Программы Президиума РАН №229 и грантов РФФИ №15-07-01284, №15-07-04074 Бел_мол_a, № 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_kriticheskoi_infrastruktury_v_zarubezhnoj_stranakh_2012/19-1-0-2082 (дата обращения 7.09.2015)
- [2] Кобец Б.Б., Волкова И.О. Инновационное развитие электроэнергетики на базе концепции Smart Grid. – М.: ИАЦ Энергия, 2010. – 208 с.
- [3] 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.
- [4] Массель Л.В., Массель А.Г. Семиотический подход к созданию интеллектуальных систем ситуационного управления в энергетике. Труды XLIII Международной конференции «Информационные технологии в науке, образовании и управлении», под ред. проф. Е.Л. Глориозова.- Москва, 2015. - С. 182-193.
- [5] New Semiotics: Between Tradition and Innovation / Abstracts.- Bulgaria, Sofia: New Bulgarian University. Southeast European Center For Semiotic Studies, 2014.- 218 p.
- [6] Поступов Д.А. Ситуационное управление. Теория и практика. – М.: Наука, 1986. – 284 с.
- [7] Осипов Г.С. От ситуационного управления к прикладной семиотике / Новости искусственного интеллекта.-2002.-№6(54).- С. 2-12.
- [8] Массель Л.В., Массель А.Г. Инструментальные средства ситуационного управления в энергетике. В сборнике: «Информационные системы и технологии». Труды Четвертой Международной научной конференции. Отв. ред.: Ю. С. Попков, А. В. Мельников. 2015. –Челябинск: ЧелГУ.- С. 168-172.
- [9] Массель Л.В., Массель А.Г., Ворожцова Т.Н., Макагонова Н.Н. Онтологический инжиниринг ситуационного управления в энергетике // Материалы Всероссийской конф. с международным участием «Знания, онтологии, теории». Т. 2, 2015.-Новосибирск: ИМ СО РАН.- С. 36-43.
- [10] Черняховская Л.Р., Федорова Н.И. Ситуационный подход к управлению взаимодействием сложных процессов на основе онтологического инжиниринга /Труды XX Байкальской Всероссийской конференции «Информационные и математические технологии в науке и управлении». Часть III.- Иркутск: ИСЭМ СО РАН, 2015.-261 с.
- [11] 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.
- [12] Массель Л.В., Массель А.Г. Технологии и инструментальные средства интеллектуальной поддержки принятия решений в экстремальных ситуациях в энергетике / Вычислительные технологии. - 2013.- Т.18.- - С. 37-44
- [13] Массель Л.В., Массель А.Г. Семантические технологии на основе интеграции онтологического, когнитивного и событийного моделирования / Материалы III международной научно-технической конференции OSTIS-2013. – Беларусь, Минск: БГУИР, 2013. – С. 247-250.
- [14] Массель Л.В., Массель А.Г. Язык описания и управления знаниями в интеллектуальной системе семиотического типа / Информационные и математические технологии в науке и управлении // Труды XX Байкальской Всероссийской конференции. Т. 3. – Иркутск: ИСЭМ СО РАН, 2015. – с. 112 - 124.
- [15] Массель А.Г. Иванов Р.А. Ситуационный полигон как инструмент ситуационного управления в энергетике // Труды IV Международной конференции OSTIS. –Минск: БГУИР. – 2014.– С. 277-280.

Biography

Massel Liudmila Vasilievna graduated from the Tomsk Polytechnic Institute, Faculty of Automation and Computer Engineering in the specialty "Applied Mathematics" in 1971, D. of T. Sc. (1995). Chief Researcher, Head of Information Technologies Laboratory in Melentiev Energy Systems Institute SB RAS. Profio 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.

ДИНАМИЧЕСКИЕ КОГНИТИВНЫЕ КАРТЫ ДЛЯ ОБОСНОВАНИЯ РЕШЕНИЙ ПО СТРАТЕГИЧЕСКОМУ УПРАВЛЕНИЮ РАЗВИТИЕМ ЭНЕРГЕТИКИ

А.Г. Массель

Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН
664033, Иркутск, ул. Лермонтова, 130, Россия
amassel@isem.irk.ru
тел: +7 (3952) 500-646*408, факс: +7 (3952) 496-796

Ключевые слова: когнитивное моделирование, системы поддержки принятия решений, стратегическое управление.

Abstract

This article describes the tools of intelligent decision-making support in the research of energy security problems using the cognitive approach. The application of dynamic cognitive modeling and the notion of dynamic cognitive modeling are described. The author propose the future directions of this approach development.

Введение

В ИСЭМ СО РАН традиционно проводятся исследования проблем энергетической безопасности (ЭБ). В настоящее время в исследованиях преимущественно используется количественный подход к оценке уровня ЭБ, обеспечиваемый применением традиционных программных комплексов. Использование этих программных комплексов, как правило, требует достаточно много времени на подготовку информации, формирование и корректировку информационных моделей, задание чрезвычайных ситуаций (ЧС) и выбор стратегии проведения вычислительных экспериментов.

Для уменьшения нагрузки эксперта коллективом, в котором работает автор, предложена двухуровневая технология исследований, поддерживаемая интеллектуальной ИТ-средой, в которой на первом уровне проводится качественный анализ с использованием онтологического, когнитивного и событийного моделирования [1, 2]. На основании результатов качественного анализа лицами, принимающими решения (ЛПР), отбираются варианты, для которых необходимо детальное обоснование, эти варианты рассчитываются на втором уровне.

Данный подход на настоящее время активно применяется в ИСЭМ СО РАН для обоснования решений по стратегическому управлению развитием энергетики. Одна из таких работ проводилась по заказу Российского энергетического агентства для решения задачи логического моделирования улучшения/ухудшения ситуации с обеспечением энергетической безопасности страны на федеральном уровне. В ходе работы были замечены некоторые недостатки применения когнитивного моделирования в классическом его понимании, которые могли бы быть решены с введением динамических когнитивных карт.

1 Интеллектуальная ИТ-среда

Предложена концепция интеллектуальной ИТ-среды, поддерживающей двухуровневую технологию исследований направлений развития ТЭК с учетом требований ЭБ [3]. Интеллектуальная ИТ-среда определяется как $V_{IT} = \{O, E, M_C, M_S\} \cup T_V$, где $\{O\}$ – множество онтологий, $\{E\}$ – множество описаний прецедентов чрезвычайных ситуаций, $\{M_C\}$ – множество когнитивных моделей, $\{M_S\}$ – множество событийных моделей, T_V - инструментальные

средства поддержки ИТ-среды, включающие описание знаний, представленных в виде онтологий, описаний прецедентов ЧС, когнитивных и событийных моделей и средства оперирования ими.

Таким образом, интеллектуальная ИТ-среда включает пространство знаний, интегрирующее: онтологические модели знаний в области исследований ЭБ, базу знаний о прецедентах ЧС в энергетике и базы знаний, содержащие когнитивные модели стратегических угроз ЭБ и событийные модели развития и последствий ЧС в энергетике, а также инструментальные средства описания знаний и оперирования ими (рисунок 1).

Совместное использование онтологического, когнитивного и событийного моделирования дает эксперту более полное представление об экстремальной ситуации в энергетике.

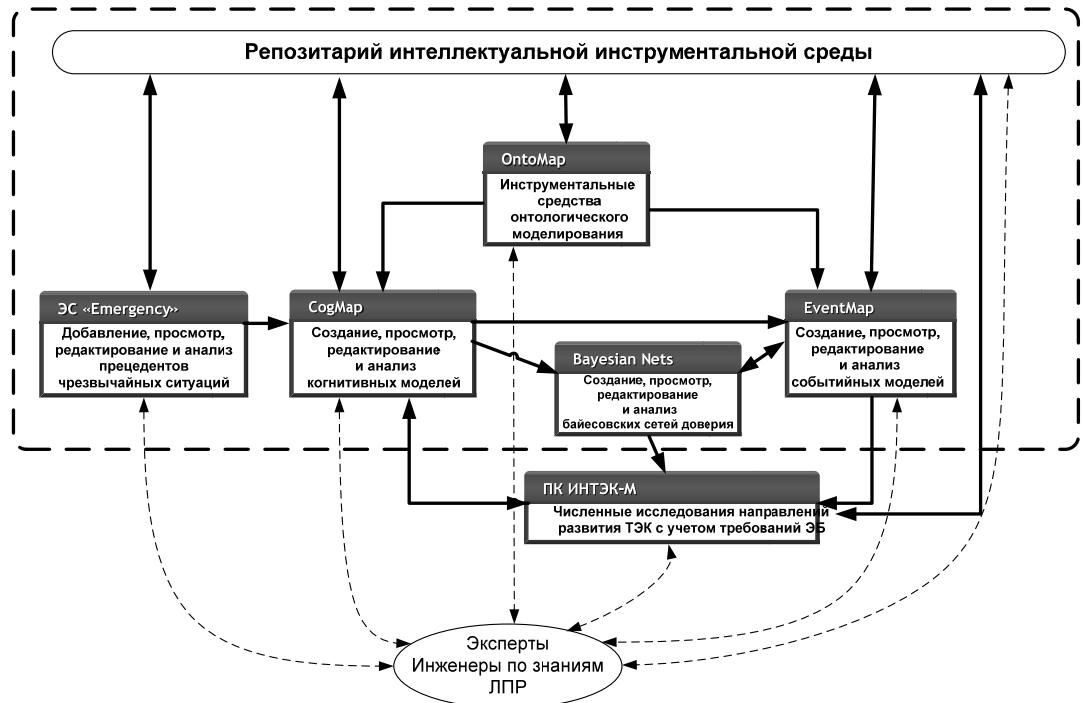


Рисунок 1 – Взаимосвязь инструментальных средств интеллектуальной ИТ-среды

2 Когнитивный подход в исследованиях проблем 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.

Чаще всего используют нечеткие когнитивные карты, причем в простейшем случае вес связи определяется как +1 или -1.

Когнитивное моделирование рассматривается, в частности, в работах [4, 5] и используется преимущественно для анализа социально-экономических ситуаций. Автором предложено использовать когнитивный подход в исследованиях проблем ЭБ [6, 7]. Такой подход дает возможность получать сценарии устойчивого и кризисного развития энергетики региона, выделять факторы, влияющие на сценарии развития энергетической системы, а также вырабатывать

вать планы парирования угроз ЭБ. В качестве методологии моделирования энергетической системы региона выбрано сценарное программирование, с математической точки зрения представляющее собой логико-вероятностное расширение системы когнитивных карт [7].

Проиллюстрируем когнитивное моделирование на примере природной угрозы ЭБ, а именно угрозы «Похолодание» (рисунок 2).

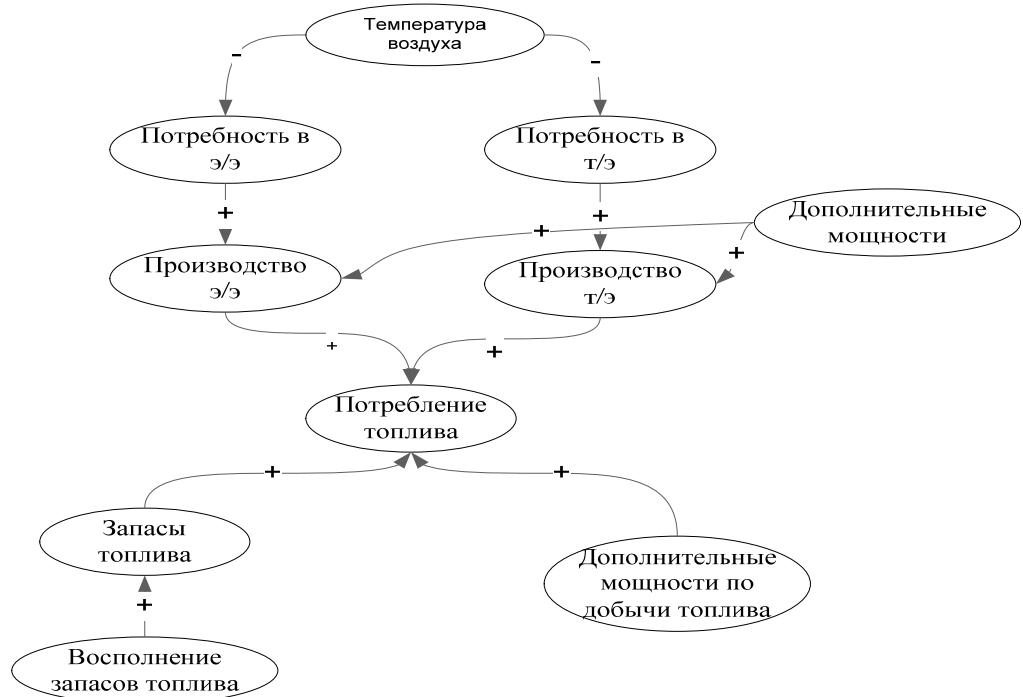


Рисунок 2 – Когнитивная карта природной угрозы «Похолодание»

На когнитивной карте природной угрозы «Похолодание» отражены основные факторы, влияющие на принятие решений ЛПР, выявлены факторы – угрозы и факторы – мероприятия. Данная карта отображает причинно-следственные связи между факторами. Весовые коэффициенты связей назначаются экспертами, по умолчанию весовые коэффициенты составляют +1 и -1.

Когнитивные карты, в свою очередь, не всегда могут дать полное, и главное однозначно трактуемое, представление о ситуации эксперту, в связи с чем автор предлагает ввести понятие динамических когнитивных карт.

3 Динамические когнитивные карты

Когнитивная карта по своей природе статична и одновременно отображает только характер связи факторов, а при моделировании экстремальных ситуаций в энергетике желательно динамическое представление. В связи с этим автором предложено использование динамических когнитивных карт.

В отличие от событийного моделирования, направленного на анализ развития и последствий чрезвычайных ситуаций, динамические когнитивные карты сохраняют возможность выявления причинно-следственных связей концептов, направленных на анализ угроз ЭБ. Отличие от нечетких когнитивных карт, которые использовались в исследованиях ЭБ ранее, за-

ключается в том, что эксперт сможет увидеть и оценить влияние связей относительно временной шкалы, а главное, при моделировании может ограничиться рассмотрением только одного фактора влияния.

Динамическая когнитивная карта (ДКК) отличается от обычной когнитивной карты тем, что представляет собой набор когнитивных карт, представленных в разные моменты времени, т.е.:

$\{D\} = \{D_{t_0}, D_{t_1} \dots D_{t_n}\}$, где $\{D\}$ – множество динамических когнитивных карт; $\{D_{t_0}\}, \{D_{t_1}\}, \{D_{t_n}\}$ – множество когнитивных карт в моменты времени t_0, t_1, t_n .

В результате возникает необходимость внесения в ДКК весов связей, которые отображали бы влияние факторов (и/или объектов) друг на друга в зависимости от времени.

Тогда вес связи мы представим как некоторую функцию $W(t)$.

Проанализировав имеющуюся базу знаний когнитивных карт, и исходя из методики когнитивного моделирования угроз ЭБ, выделим несколько основных классов факторов, для которых можно определить простейшие случаи взаимодействия весов $W(t)$: 1) класс угроз ЭБ; 2) класс мероприятий (превентивных, оперативных и ликвидационных); 3) класс энергетических объектов.

В большинстве случаев вес связи в ДКК можно представить простыми функциями.

Рассмотрим простейший случай, характерный для класса угроз ЭБ: возникновение события. Представить его можно в виде единичного импульса. Данная зависимость характерна тем, что момент возникновения и действия события намного меньше или равен выбранному временному шагу.

Следующий вид связей и их весов имеет более сложное влияние на динамические когнитивные карты, так как степень его воздействия может продолжаться в течение нескольких шагов, причем самые простые связи будут иметь линейный вид.

Одна из проблем при создании ДКК – это взаимовлияние различных связей на одни и те же факторы. Для определения степени влияния необходимо вводить для факторов набор параметров, на которые будут оказывать влияние различные связи с другими факторами. В связи с разнородностью некоторых моментов возникает необходимость отображения неявных связей.

Примером таких неявных связей может служить наличие в когнитивной карте превентивного мероприятия и угрозы, которая в момент времени t перерастает в чрезвычайную ситуацию (ЧС). Причем эффективное проведение превентивных мероприятий может предотвратить перерастание угрозы ЭБ в ЧС.

Нечеткие ДКК (НДКК). Исходя из предложенного подхода, в рамках двухуровневой технологии предполагается использование когнитивных карт для качественного анализа проблем ЭБ. В этом случае применение ДКК ставит вопрос определения веса связи и скорости его влияния на остальные факторы в КК, в связи с чем предлагается дополнительно ввести лингвистическую шкалу, наподобие той, которая применяется в нечетких КК, с тем отличием, что введенная градация будет отображать скорость изменения веса и его влияние на выбранный фактор.

Если в нечеткой когнитивной карте можно определять вес в диапазоне «слабо – сильно», то в НДКК связь можно определять в диапазоне «быстро – долго».

Иначе говоря, если взять t_n – как конечный шаг, то событие, которое длится временной промежуток $T \geq t_n / 2$, есть длительное (долгое) событие.

Заключение

В статье рассмотрено применение когнитивного моделирования в исследованиях проблем энергетической безопасности и перспективы его развития. Когнитивный подход применяется в рамках двухуровневой технологии на верхнем уровне, что позволяет осуществлять качест-

венную оценку ситуаций. Предложено расширить когнитивный подход за счет применения динамических когнитивных карт, что, в свою очередь, должно дать новый эффект восприятия и облегчить задачу анализа ситуации экспертом.

Благодарности

Результаты, представленные в статье, получены при частичной финансовой поддержке гранта Программы Президиума РАН №229 и грантов РФФИ №15-07-01284, №15-07-04074 Бел_мол_а, № 16-07-00474, № 16-07-00569.

Список литературы

- [1] Массель Л.В. Применение онтологического, когнитивного и событийного моделирования для анализа развития и последствий чрезвычайных ситуаций в энергетике // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. - №2.- 2010. - С. 34-43.
- [2] Массель Л.В., Аршинский В.Л., Массель А.Г. Интеллектуальные информационные технологии поддержки принятия решений в исследованиях и обеспечении энергетической безопасности/ Труды Международной конференции «Интеллектуальные системы принятия решений и проблемы вычислительного эксперимента», Евпатория, 2010. – 192-196.
- [3] Массель А.Г. Интеллектуальная ИТ-среда для исследований проблем энергетической безопасности // Информационные технологии в науке, образовании, телекоммуникации и бизнесе: Труды Международной конференции – Украина, Гурзуф, 2010. – С. 306-309.
- [4] Прангишивили И.В. Системный подход и общесистемные закономерности. – М.: СИНТЕГ, 2000. -528 с.
- [5] Трахтенгерц Э.А. Компьютерная поддержка принятия решений.-М.: СИНТЕГ, 1998.-376 с.
- [6] Массель А.Г. Методологический подход к организации интеллектуальной поддержки исследований проблем энергетической безопасности / Информационные технологии. – №9. – 2010. – С. 32-36.
- [7] Массель А.Г. Когнитивное моделирование угроз энергетической безопасности / Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал), отдельный выпуск №17. – М.: Издво «Горная книга», 2010. – С. 194 – 199.

Biography

Massel Aleksei Genadievitch graduated from the Irkutsk State University, Faculty of Physic in the specialty "Information System and Technologies" in 2007, Candidat of Technical Sciences (2011). Senior Researcher of Information Technologies Laboratory in Melentiev Energy Systems Institute SB RAS. Assistant professor of Automated Systems Department of the Cybernetic Institute in the Irkutsk National Research Technical University. The list of scientific works includes about 60 articles in the field of semantic modeling and the development of intelligent decision support systems in the field of energy solutions.

ПРИМЕНЕНИЕ ГИБРИДНОЙ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ УПРАВЛЕНИИ СЛОЖНЫМИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫМИ ПРОЦЕССАМИ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

В.Е. Гвоздев, Л.Р. Черняховская, Н.И. Федорова

Уфимский государственный авиационный технический университет

450000, Уфа, ул. К. Маркса, 12, Россия

wega55@mail.ru, lrchern@yandex.ru, nf_2002@mail.ru

тел: +7 (347) 273-78-35, факс: +7 (347) 273-77-17

Ключевые слова: гибридная интеллектуальная система, поддержка принятия решений, производственный процесс, онтология, неопределенность.

Abstract

This article considers of the hybrid intelligence decision support system (IDSS) based on models, methods and algorithms of ontological analysis and knowledge management under uncertainty. The main purpose of IDSS is the hybrid decision support with the use of knowledge (analytical and intelligent) embedded in the ontology. The architecture IDSS for modeling business activities is presented. Application of intelligence decision support system discussed on the example of decision support in the processes of material resources planning on machine-building enterprise.

Введение

Современный этап развития методологии управления сложными системами характеризуется тенденцией к объединению многочисленных участников (профессионалов и других заинтересованных лиц), работающих в разных деловых процессах, для решения сложных задач с применением методов и инструментов обработки и хранения данных и знаний, а также соответствующих средств коммуникации. Управление производственными, техническими, транспортными системами происходит в условиях неопределенности, неполноты и нечеткости информации, следовательно, задача принятия решений в процессе управления является весьма сложной, что обусловлено многомерностью признаков описания проблемных ситуаций (ПС), динамичностью объектов управления, неопределенностью исходных данных. Управление знаниями является эмерджентной деятельностью, в которой взаимодействие специалистов на основе формализации представления и обработки знаний способствует созданию новых знаний [1, 2]. В процессе управления необходимо обеспечить совместимость используемых концепций, моделей и методов управления знаниями на основе их формализации для повышения качества и оперативности управленческих решений. Эффективное решение данной научной проблемы возможно на основе использования известных подходов к управлению знаниями [3-10]. Управление знаниями определяется как содействие в непрерывном процессе создания, сохранения, распространения и использования знаний при обеспечении совместимости используемых концепций управления знаниями, методов, моделей и алгоритмов принятия решений, что трудно реализовать с применением только классических методов управления. Эффективное решение данной научной проблемы возможно на основе использования технологий управления знаниями, а также моделей и методов Semantic Web [6, 7, 10].

1 Данные и знания для реализации деловой деятельности

Источниками данных и знаний о реализации деловой деятельности являются результаты мониторинга процессов, знания, получаемые непосредственно от экспертов в рассматриваемой предметной области, а также в процессе обобщения опыта. В организации определяются следующие классы знаний: интуитивные, неявные знания (эвристики, интуиция, опыт, навыки); формализованные, концептуальные знания (математические модели, правила для организации эффективных действий); фоновые, контекстные знания (знания, задающие когнитивный контекст концептуализации деятельности) [9, 10]. Разрабатываемая система поддержки принятия решений относится к классу гибридных интеллектуальных систем, в которых для решения задачи используется более одного метода имитации интеллектуальной деятельности человека [3].

Неявные знания для интеллектуальной поддержки принятия решений представлены в форме прецедентов проблемных ситуаций. Формализованные, явные знания представлены в форме математических моделей, а также правил, деревьев решений и других формальных моделей, регламентирующих управление процессом. Математические знания – весьма широкий термин, который используется для описания различных компонентов. В данной работе рассматриваются математические модели и схемы, предназначенные для аналитической поддержки принятия решений (модели и методы математического программирования, многокритериального, коллективного принятия решений, в том числе в условиях стохастической, нечеткой неопределенности и риска). Сложные задачи принятия решений в условиях неопределенности и риска зачастую требуют принятия коллективных решений, следовательно, моделирование поддержки принятия решений желательно выполнять, руководствуясь следующими соображениями: «Нечелесообразно стремиться к разработке одной единственной и поэтому заведомо сложной и нерелевантной оригинал модели.... В таком подходе за «систему координат», смена которых и определяет относительность знаний, принимается точка зрения, профессиональные знания участника коллектива, принимающего решения» [6]. Архитектура компонентов моделирования деловой деятельности показана на рисунке 1.



Рисунок 1 – Архитектура моделей, алгоритмов и средств моделирования деловой деятельности

База знаний встроена в онтологию поддержки принятия решений. Онтологический подход к представлению математических знаний предложен в работах [7, 8, 11]. В данных исследованиях онтологическая модель предназначена для представления знаний о математических моделях и методах поиска решений применительно к задачам конкретной предметной области [11, 13]. Алгоритм управления знаниями (рисунок 2) включает процедуры логического вывода на правилах и поиск решений, основанный на прецедентах. Поиск решений с применением правил осуществляется с применением механизма вывода (механизма интерпретации правил). Механизм вывода в продукционной системе выполняет интерпретацию текущего состояния предметной области (набора конкретных фактов) на базу знаний и реализацию указаний из заключения продукции. Механизм логического вывода позволяет получить факты (экстенсиональную составляющую базы знаний) на основе логических выражений (аксиом), содержащихся в интенсиональной составляющей базы знаний; осуществить проверку базы знаний на противоречивость; пополнить интенсиональную составляющую базы знаний знаниями, отражающими специфику сложно структурированной предметной области [11, 14]. Реализация интеллектуальной советующей системы выполнена с применением технологии Semantic Web. Semantic Web создается на основе ряда стандартов и инstrumentальных средств, включающих языки представления знаний и обмена данными и знаниями.

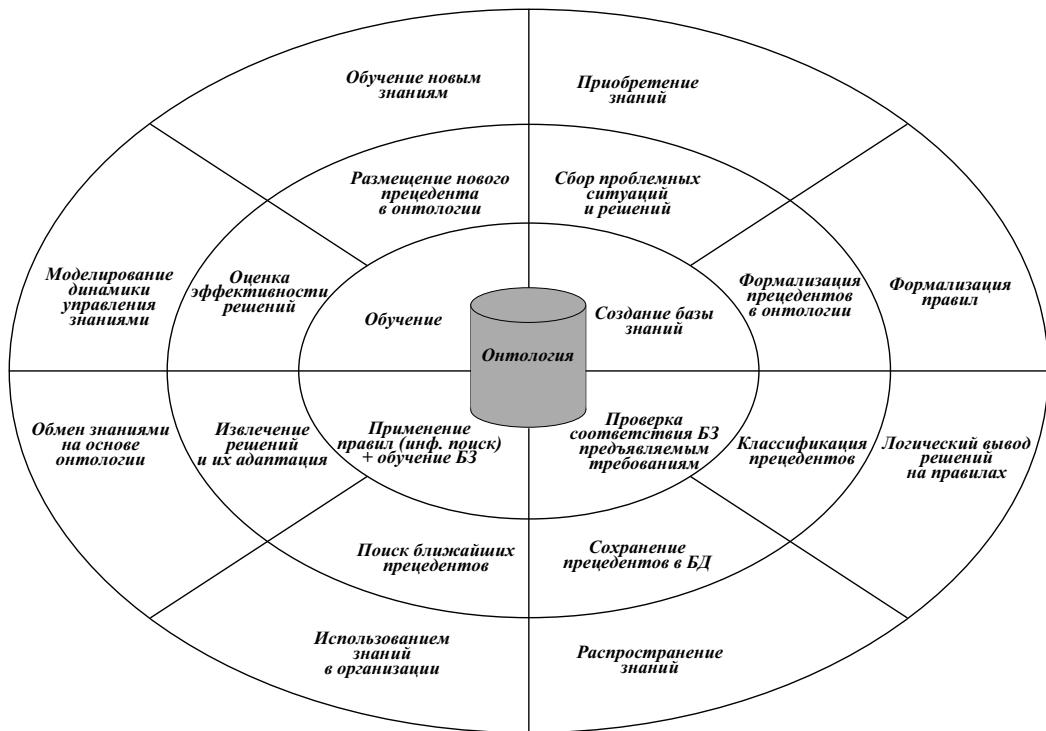


Рисунок 2 – Схема цикла управления знаниями

Цикл поиска решений на основе прецедентов включает следующие этапы: получение информации о текущей проблемной ситуации, сопоставление этой информации со свойствами прецедентов, хранящихся в базе знаний, выявление прецедента, наиболее близкого к текущей проблеме, адаптация выбранного решения, проверка эффективности каждого вновь полученного решения и занесение информации о новом прецеденте в базу прецедентов. В цикле обработки знаний, основанном на прецедентах, важные этапы во многом зависят от наличия у со-

трудников соответствующих знаний, готовности к сотрудничеству с коллегами, способности к применению формализованных методов принятия решений, пониманию ценностей и предпочтений других членов коллектива и согласованию оценок вариантов организационных решений. Реализация перечисленных этапов требует активного участия работников организаций, наилучшего использования их компетенций.

В онтологической базе знаний прецеденты представлены в качестве примеров действия в конкретных ситуациях и могут применяться для формирования решений в процессе интеллектуального поиска в базе знаний информационно-управляющей среды. Поиск, основанный на прецедентах, применяется в проблемных ситуациях, сложность которых не позволяет провести их конструктивную формализацию, но по которым имеется опыт (прецеденты) их успешного разрешения. Подход к поиску решений в прецедентах основан на принципе аналогии. При управлении в проблемных ситуациях это означает, что подобные проблемы имеют подобные решения.

В терминологическую иерархию представленной онтологии поддержки принятия решений входят понятия, характеризующие методы поиска решений на основе моделей аналитической поддержки принятия решений, а также алгоритмы их реализации. Для каждой из перечисленных моделей существует множество методов поиска решений. Формализованное представление прецедентов применения математических методов основано на разработке в онтологии иерархии классов сущностей и отношений между ними, наиболее характерных для процессов математического моделирования.

В разработанном алгоритме поиска решений на основе прецедентов установлены новые процедуры поиска ближайших прецедентов с использованием структуры прецедентов принятия решений в проблемных ситуациях, определенной в онтологии поддержки принятия решений. Данная модель основана на идее, что управляемое решение, принимаемое группой лиц, принимающих решение (ЛПР), в текущей ситуации, может быть основано на опыте, аккумулированном в базе прецедентов, совместно с множеством правил пополнения описаний ПС, адаптации принятого ранее решения к особенностям текущей проблемной ситуации, а также к результатам выполнения процедур по согласованию оценок вариантов управляемых решений в группе ЛПР. По результатам принятия решения с использованием предлагаемых системой прецедентов применения тех или иных моделей, методов и алгоритмов аналитической поддержки принятия решений производится оценка качества работы интеллектуальной системы поддержки принятия решений (ИСПР). Она представляет собой взвешенную оценку, данную членами коллектива, принимающего решения, с учетом опыта и квалификации ЛПР.

Технология вывода решений, основанная на прецедентах, является самообучаемой, так как способствует накоплению новых прецедентов, а следовательно, обучению базы знаний. Однако использование навыков и накопленного опыта специалистов организации не вполне обеспечивает создание новых знаний. Открытие новых знаний и генерация новых решений должны осуществляться на основе стратегического партнерства, коллективного принятия решений и совершенствования качества решений на основе использования математических моделей. Синергетический подход, основанный на обеспечении коммуникационных потребностей членов групп, принимающих решения, и подготовке обоснованных решений с применением математических методов, способствует организационному обучению и развитию корпоративных знаний [14].

Наиболее эффективной является информационная поддержка следующих решений: решений, принимаемых в таких масштабах, что их последствия оказывают влияние на эффективность управления всей организацией; решений, которые принимаются в режиме реального времени; решений, которые принимаются в режиме удаленного доступа; коллективных решений (задачи оптимизации распределения ресурсов, анализа инвестиционных проектов, диагностики состояния сложных систем, оценки производственных рисков и др.). Анализ эффективности поддерж-

ки принятия решений может производиться на основе оценки соответствия решений достижения требуемой доходности предприятия, или на основе оценки снижения затрат от ошибочных решений. Это комплексные критерии, которые определяются на основе следующих частных критериев: точность результатов, последовательность во времени и по всем управляемым процессам, гибкость, скорость и издержки на поддержку принятия решений, а также критерий согласия лиц, принимающих решения, с рекомендуемыми вариантами решений.

2 Интеллектуальная поддержка при управлении производственными процессами

В качестве примера применения гибридной интеллектуальной поддержки принятия решений в управлении сложными производственными процессами рассмотрим осуществление процесса закупки и выбора поставщика для промышленного предприятия (на примере ПАО «УМПО»). Обеспечение предприятия материально-техническими ресурсами, потребляемыми в процессе функционирования, является одним из ключевых бизнес-процессов деятельности любого предприятия, тесно взаимосвязанным и встроенным в другие ключевые бизнес-процессы. В зависимости от типа предприятия и категории закупок, источников финансирования процесса осуществления закупок строго регламентируется нормативно-правовой базой (положение о закупках, положение о комиссии). Из анализа документов видно, что в процессе осуществления закупочной процедуры основной упор делается на регламентацию, но при этом не полностью решаются вопросы распределения ресурсов, управления процессом и оценка его эффективности. Анализ уровня конкуренции при осуществлении закупочной деятельности промышленного предприятия позволил сделать вывод том, что при осуществлении закупок посредством электронной торговой площадки конкурентная среда практически отсутствует. В целях повышения эффективности закупочной деятельности предприятия предложены следующие направления, вытекающие из результатов анализа: приоритетное использование процедуры конкурсных торгов, которая предполагает формализованный подход к принятию решения при выборе поставщика; включение в состав ЛПР тех представителей бизнес-процессов, в интересах которых осуществляется закупка (возможно, при уменьшении численности представителей экономического блока); разработка формализованных процедур принятия решений по закупочной деятельности; формирование типовых пакетов конкурсной документации для основных групп закупаемых товаров и услуг с целью минимизации времени на подготовку конкурсной документации [12]. Основой реализации данных направлений повышения эффективности закупочного процесса на промышленном предприятии является применение системы поддержки принятия решений, включающей несколько этапов (рисунок 3).

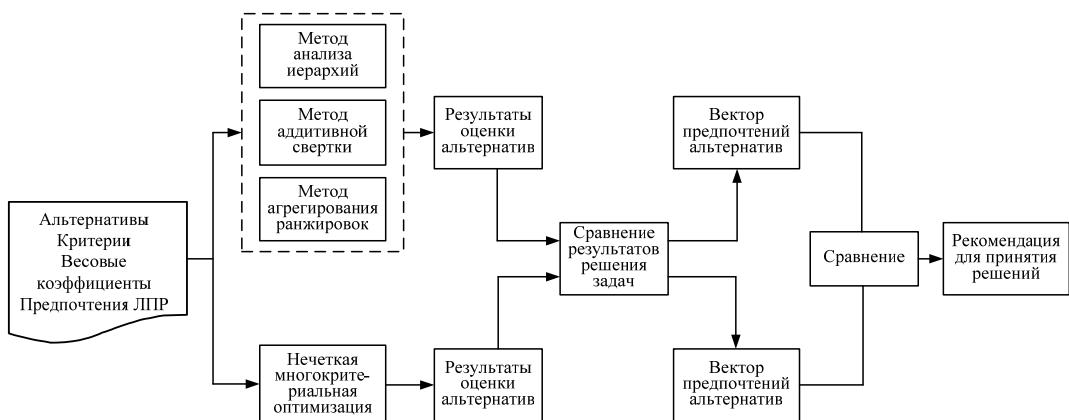


Рисунок 3 – Последовательность этапов выполнения аналитической поддержки принятия решений

Таким образом, задача выбора поставщика в данной системе решается путем выполнения следующих этапов: разрабатывается система критериев оценки поставщика при поставке конкретного вида товара или услуги; выбирается процедура закупки с преимущественным использованием конкурса; формируется (или используется типовая) конкурсная документация, включающая в себя, в том числе, разработку критериев оценки поставщика; выполняется аналитическая поддержка принятия решений с применением различных методов многоокритериального принятия решений: метода анализа иерархии, метода аддитивной свертки, метода агрегирования вариантов ранжирования альтернатив и метода нечеткой многоокритериальной оптимизации; формируется вектор предпочтений альтернатив; осуществляется оценка степени согласованности вариантов ранжирования; в зависимости от степени согласованности результатов ранжирования формируется рекомендация для принятия решения.

Формирование базы данных типовой закупочной документации и использование математического инструментария позволит повысить эффективность закупок за счет объективного подхода к проблеме выбора поставщика на основе использования формализованных методов и процедур и сокращения времени на проведение конкурса. Таким образом, отработка предлагаемого инструментария и формирование базы данных по результатам множества закупочных процедур по всем видам закупаемых товаров и услуг позволит сформировать весь необходимый набор конкурсной документации, позволяющий при использовании поддержки принятия решений получать согласованные ранжирования альтернатив решений математическими методами.

Заключение

Таким образом, применение гибридной интеллектуальной поддержки принятия решений в управлении сложными производственными процессами в условиях неопределенности, неполноты и нечеткости информации позволяет объединить многочисленных участников, работающих в разных деловых процессах одного производства, для решения сложных задач с применением методов и инструментов обработки и хранения данных и знаний, а также соответствующих средств коммуникации. Взаимодействие специалистов на основе формализации представления и обработки знаний способствует созданию новых знаний. В процессе управления обеспечивается совместимость используемых концепций, моделей и методов управления знаниями на основе их формализации, что позволяет повысить качество и оперативность управленческих решений.

Благодарности

Работа выполнена при поддержке гранта Российского фонда фундаментальных исследований № 14-08-97023 р_поволжье_а «Интеллектуальная поддержка принятия решений при управлении инновационными проектами на основе обработки знаний и математического моделирования».

Список литературы

- [1] Чернавский Д.С. Синергетика и информация (динамическая теория информации). – М.: Едиториал УРСС, 2004. – 288 с.
- [2] Виттих В.А. Эволюционное управление сложными системами // Известия Самарского научного центра Российской Академии наук. 2000. № 1.
- [3] Клачек П.М., Корягин С.И., Колесников А.В., Минкова Е.С. Гибридные адаптивные интеллектуальные системы. – Ч.1. Теория и технология разработки. – Калининград: Изд-во БФУ им. И. Канта, 2011. – 374 с.
- [4] Букович У., Уильямс Р. Управление знаниями: руководство к действию. – М: Инфра-М, 2002. 504 с.

- [5] Рассел К., Норвиг П. Искусственный интеллект. Современный подход. 2-е изд. – М.: Вильямс, 2007. – 1410 с.
- [6] Гаврилова Т.А., Муромцев Д.И. Интеллектуальные технологии в менеджменте: Учеб. пособие. – СПб.: «Высшая школа менеджмента», Издат. дом СПбГУ, 2008. – 488 с.
- [7] Тузовский А.Ф., Чириков С.В., Ямпольский В.З. Системы управления знаниями (методы и технологии) / Под общ. ред. В.З. Ямпольского. – Томск: Изд-во НТЛ, 2005. – 260 с.
- [8] Системы управления знаниями и применение онтологий: Учеб. пособие // Д.В. Кудрявцев. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2010. – 343 с.
- [9] Нонака И., Такеучи Х. Компания – создатель знания. Зарождение и развитие инноваций в японских фирмах. – М.: Олимп-Бизнес, 2003. – 384 с.
- [10] Choo, CW. Information Management for the Intelligent Organization: Roles and Implication for Information Professions. Digital Libraries Conference, March 27-28, 1995, Singapore.
- [11] Поддержка принятия решений при стратегическом управлении предприятиями на основе инженерии знаний / под ред. Л.Р. Черняховской. – Уфа: АН РБ, Гилем, 2010. – 128 с.
- [12] Черняховская Л.Р., Федорова Н.И. Ситуационный подход к управлению взаимодействием сложных процессов на основе онтологического инжиниринга // Труды XX Байкальской Всероссийской конференции «Информационные и математические технологии в науке и управлении». – Иркутск: ИСЭМ СО РАН, 2015. Т.3. С. 166-174.
- [13] Гвоздев В.Е., Ровнейко Н.И. Численное моделирование процессов формирования требований к программному продукту. Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета, Вып. № 8, том 16, 2012.
- [14] Черняховская Л.Р., Малахова А.И. Разработка моделей и методов интеллектуальной поддержки принятия решений на основе онтологии организационного управления программными проектами // Онтология проектирования. - 2014. – №4(10). - С. 42-50.

ОЦЕНКА ЗНАЧИМОСТИ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ДЕФЕКТОВ, ДОПУЩЕННЫХ НА СТАДИИ ФОРМИРОВАНИЯ ВНЕШНЕГО ОБЛИКА АППАРАТНО-ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА

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

Уфимский государственный авиационный технический университет
450000, Уфа, ул. К. Маркса, 12, Россия
wega55@mail.ru, blinova.darya@gmail.com
тел: +7 (347) 272-74-65

Ключевые слова: дефект, вредная функция, полезная функция, аппаратно-программный комплекс, базовый образец, эталонный образец, актор.

Abstract

The paper discusses the problem of estimating the importance of admitted defects at the design of hardware-software complexes. Useful and harmful functions of complex systems are described, vector model for describing the properties of the hardware-software complexes is proposed. Presented a formal procedure for analysis of the compliance of the base object's functional properties and actors' representations about object's standard properties.

Введение

В настоящее время безотказность аппаратно-программных комплексов (АПК), входящих в качестве компонента в состав сложных систем различного назначения, стала критическим фактором безопасности функционирования этих систем [1-3]. В открытых источниках приводятся многочисленные свидетельства огромного материально ущерба и, более того, гибели моделей, обусловленных непреднамеренными дефектами на разных стадиях жизненного цикла объектов.

Основу управления дефектами составляет, в том числе, их классификация. Можно предложить различные критерии классификации дефектов, один из подходов основан на оценке проявлений последствий дефектов.

В [4] подчеркивается, что 50% функциональных возможностей АПК остаются невостребованными пользователями, 30% используются время от времени, и лишь 20% функционала представляют непосредственный интерес. Исходя из этого, критерием выделения дефектов может служить несоответствие содержания технического задания ожиданиям и желаниям пользователей.

В литературе, посвященной проблематике безопасности и надежности сложных систем, к числу которых относятся АПК, обосновывается необходимость перехода от методов оценивания возможных негативных последствий аварий с позиций «максимальной проектной аварии» [5] к методам, учитывающим вероятностную природу негативных событий [6-8]. Выделенное обстоятельство обосновывает необходимость развития методологической, методической, модельной и инструментальной базы решения проблемы управления функциональной безопасностью, включая методы выявления отклонения свойств компонентов АПК от базовой линии¹, а также комплексного исследования последствий различных событий.

¹ Термин «базовая линия» понимается в смысле, определенном в ГОСТ Р ИСО/МЭК 15288-2005

1 Базовый и эталонный образцы объекта

Понятие «дефект» неразрывно связано с понятием «базовый образец» [9], «эталонный образец». Это обусловлено тем, что о проявлении дефекта можно говорить лишь в том случае, если определены «базовые», либо «эталонные» свойства объекта.

Базовые свойства должны соответствовать консолидированному мнению неоднородных акторов о желаемых свойствах объекта, представленному в официально утвержденных документах [9]. Однако, ожидания и желания пользователей, именуемые как эталонные свойства объекта, не в полной мере совпадают с базовыми свойствами объектов, они не представлены в каких-либо официальных документах.

Одним из основных понятий управления качеством является понятие базового образца; базовых значений показателей качества, определение допустимых отклонений показателей от базовых [10]. Это, в свою очередь, создает основу нормирования трудоемкости мероприятий, направленных на уменьшение количества не устранимых дефектов до уровня, соответствующего приемлемому риску [7].

Задача оценивания значения отклонения показателей качества от эталонных давно и успешно решается применительно к техническим системам. Примером может служить раздел теории надежности технических изделий – надежность аппаратных компонентов автоматизированных систем [3]. Возрастание роли программной составляющей в обеспечении функциональной пригодности систем управления и обработки информации, вынуждает корректировать подходы к оцениванию значений базовых показателей. Это обусловлено определяющей ролью акторов в постановке задач, связанных с проектированием и конструированием систем управления и обработки информации; в определении подходов к сравнению соответствия показателей качества объектов показателям качества базовых образцов; в интерпретации результатов сравнения отдельных показателей качества.

2 Полезные и вредные функции

Одним из базовых условий построения эталонных/базовых моделей, по мнению авторов, должен быть учет того, что при функционировании сложных систем разной природы и различного назначения, имеет место одновременная реализация как полезных (англ. - useful), так и вредных (англ. - harmful) функций. На это обстоятельство обращается внимание, например в работах [11-13]. В [14] отмечается, что «... основная проблема многих больших программных систем – огромное количество независимых побочных эффектов, создаваемых компонентами системы...».

В дальнейшем под полезной функцией АПК понимается такая функция, которая увеличивает ценность продукта (услуги), поставляемого пользователю, либо уменьшает затраты, связанные с получением ценного результата.

Под вредной функцией понимается такая функция, которая уменьшает ценность продукта (услуги), поставляемого пользователю, либо увеличивает затраты, связанные с получением ценного результата.

Функционированию АПК может быть поставлен в соответствие кортеж вида:

$$\langle HF, UF, \varepsilon, SH, Q \rangle,$$

где HF – множество вредных функций,

UF – множество полезных функций,

ε – множество режимов использования,

SH – множество групп правообладателей,

Q – множество критериев оценивания функциональной пригодности.

Заранее определенное предельное соотношение между полезными и вредными функциями определяет границы функциональной пригодности объектов.

В разных режимах использования ε_k ($k = \overline{1; K}$) может реализовываться с точки зрения пользователей различное число полезных и вредных функций. При этом отнесение одной и той же функции к классу «полезных», либо «вредных» зависит от режима использования и ценностных установок пользователей (внешних правообладателей).

Предполагая число режимов использования счетным и равным K , можно определить полное множество функций F_Σ , которое объект может реализовать во всех режимах, как $F_\Sigma = \bigcup_{k=1}^K \{F^{(\varepsilon_k)}\}$. Здесь $\{F^{(\varepsilon_k)}\}$ – множество функций, реализуемых объектом в режиме ε_k , т.е. F_Σ определяет границы качества АПК в рамках функционального подхода [10].

Пронумеровав элементы множества F_Σ , каждому режиму ε_k с учетом ценностных установок m -й группы внешних правообладателей ($m = \overline{1; M}$), можно поставить в соответствие вектор вида:

$$(1) \quad L = (1, 0, -1, \dots, 0, \dots, 1).$$

Число компонент вектора L совпадает с мощностью множества F_Σ . Компоненты вектора имеют следующий смысл: «1» – функция реализуется в объеме, оговоренном в техническом задании (т.е. в объеме, соответствующем «базовому» объекту), и является для m -й группы правообладателей полезной; «0» – функция не реализуется; «-1» – функция реализуется в объеме, определенном в техническом задании, и для m -й группы правообладателей является вредной.

Множеству режимов использования объекта ε_k ; множеству групп правообладателей $\{m\}_1^K$, множеству функций F_Σ с учетом (1) можно поставить в соответствие многомерную модель, представленную на рисунке 1.

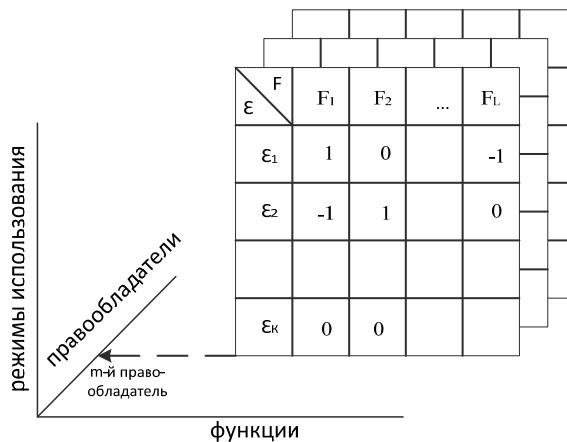


Рисунок 1 – Многомерное представление эталонных моделей

Преобразуем (1) к виду $(\alpha_1^{(\varepsilon_k)(m)}, \alpha_2^{(\varepsilon_k)(m)}, \dots, \alpha_L^{(\varepsilon_k)(m)})$, где $\alpha_l^{(\varepsilon_k)(m)}$ – показатель (вес), характеризующий полноту реализации l -й функции относительно функции, реализуемой «базовым образцом» в режиме ε_k с точки зрения m -го правообладателя, $\alpha_l^{(\varepsilon_k)(m)} \in [-1; \infty)$.

Заметим, что показатель $\alpha_l^{(\varepsilon_k)(m)}$ может отличаться от эталонного значения как в большую, так и в меньшую сторону.

Отклонение в меньшую сторону свидетельствует о наличии дефектов, возникающих при переводе требований пользователей в программные продукты и конфигурацию АПК. Нижняя граница $\alpha_l^{(\varepsilon_k)(m)}$ подчеркивает то обстоятельство, что наличие непреднамеренного дефекта может сделать «полезную» функцию «вредной». Отклонения в большую сторону соответствуют наличию функциональных возможностей, превышающих потребности пользователей, иными словами, свидетельствуют о наличии организационных дефектов программного проекта: бюджет проекта тратится на то, чего заказчик не требует. Вопрос о наличии в программных продуктах излишних функциональных возможностей как признака низкого качества управления обсуждается, например, в [15].

3 Анализ наличия дефектов на стадии формирования внешнего облика объекта

Неотъемлемым свойством моделей сложных объектов является свойство полиморфизма – использование различных подходов для построения моделей одного назначения. В настоящей работе применяется один из подходов, основанный на понятии мер подобия.

Предположим, что модель базового образца («базовая» матрица), являющаяся результатом соглашения неоднородных акторов, имеет вид, аналогичный матрицам, представленным на рисунке 1. При этом значения ячеек матрицы («+1», «0», «-1») являются результатом соглашения неоднородных акторов.

Выбирая последовательно таблицы с номерами ($m = \overline{1; M}$) из куба матриц (рисунок 1) и сопоставляя k -е ($k = \overline{1; K}$) строки m -й и базовой матриц, рассчитываются меры подобия S_{km} . Эти меры подобия являются характеристикой степени совпадения представления m -го актора о составе функций, которые должен реализовывать эталонный образец в режиме ε_k с функциональными возможностями базового образца, определяемыми соглашениями неоднородных акторов. Расчет мер подобия может осуществляться, например, с использованием функций Рассела и Rao; Сокала и Минчера; Жаккарда; Чупрова и др. [16, 17]. Полученные результаты представляются в виде матрицы, представленной на рисунке 2.

актор режим	a_1	a_2	...	a_M
ε_1	S_{11}	S_{1M}
...
ε_K	S_{K1}	S_{KM}

Рисунок 2 – Количественная характеристика степени совпадения представлений акторов о функциональном эталоне с функциональными возможностями базового образца

Задаваясь экспертино для выбранной меры подобия границами классов [16], выделим три класса, которым будет присваиваться смысл высокой степени подобия («сильное совпадение»), средней степени подобия («среднее совпадение»), малой степени подобия («слабое совпадение»). Определение границ классов позволяет построить на основе матрицы (рисунок 2) пузырьковую диаграмму [18] (рисунок 3), дающую наглядное представление о степени совпадении представлений неоднородных акторов о функциональных свойствах эталонного объекта и базового образца.

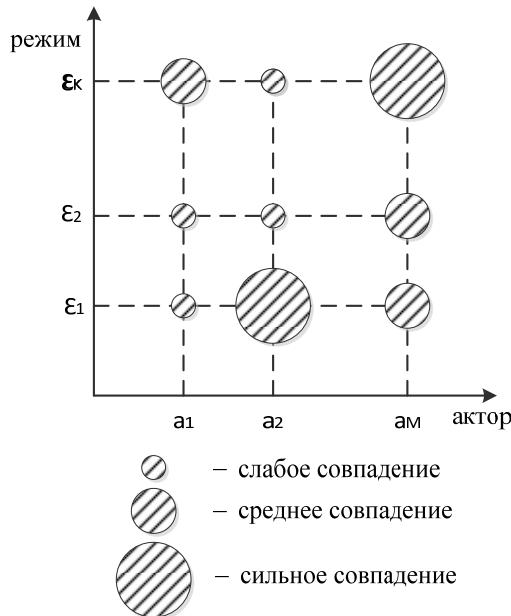


Рисунок 3 – Пузырьковая диаграмма

Полученная пузырьковая диаграмма является квадратичной характеристикой качества внешнего облика базового образца. Большое число окружностей с малым радиусом является ранним индикатором того, что личные представления отдельных актеров существенно расходятся с достигнутыми соглашениями. Это свидетельствует о наличии дефектов в результатах проектирования внешнего облика объекта. Это, в свою очередь, является предпосылкой того, что при возникновении проблемных ситуаций в ходе реализации объекта, актеры могут покидать проект.

Заключение

В работе предложен подход к оцениванию степени совпадения базовых свойств аппаратно-программных комплексов, определенных в техническом задании и представлений пользователей о свойствах эталонных объектов. Применение данного подхода служит основой для оценивания несоответствия содержания технического задания ожиданиям и желаниям пользователей.

Для оценки значимости дефектов, допущенных на ранних стадиях проектирования, предложено использование классификационной шкалы, графически представленной в виде пузырьковой диаграммы.

Благодарности

Работа поддержана грантом РФФИ 16-08-00442 «Управление функциональной безопасностью аппаратно-программных комплексов в составе сложных технических систем».

Список литературы

- [1] Ахин М.Х., Беляев А.М., Ицыксон В.М. Обнаружение дефектов в программном обеспечении путем объединения ограничений проверки моделей и аппроксимации функций // Моделирование и анализ информационных систем. – 2013. – Т 20, № 6. – С. 22-35

- [2] Бородакий Ю.В., Юсупов Р.М., Пальчун Б.П. Проблема имитационного моделирования дефектоскопических свойств компьютерной инфосферы // Труды третьей всероссийской научно-практической конференции «Имитационное моделирование. Теория и практика». – Санкт-Петербург, 2007. – С. 87-92.
- [3] Черкесов Г.Н. Надежность аппаратно-программных комплексов: Учеб. пособие. – СПб.: Питер, 2005. – 479 с.
- [4] CHAOS Manifesto 2011: The Laws of CHAOS and the CHAOS 100 Best PM Practices. – The Standish Group International, Incorporated
- [5] Александровская Л.Н., Аронов И.З., Круглов В.И., Кузнецов А.Г., Патраков Н.Н., Шолом А.М. Безопасность и надежность технических систем: Учебное пособие. – М.: Университетская книга, Логос, 2004. – 376 с.
- [6] ГОСТ Р ИСО/МЭК 31010-2011. Менеджмент риска. Методы оценки риска
- [7] Липаев В.В. Анализ и сокращение рисков проектов сложных программных средств. – М.: СИНТЕГ, 2005. – 224 с.
- [8] ESA PSS-05-10 Guide To Software Verification And Validation (MAR 1995)
- [9] ГОСТ Р ИСО/МЭК 15288-2005 – Информационная технология. Системная инженерия. Процессы жизненного цикла систем.
- [10] Чекмарев А.И. Квалиметрия и управление качеством. Часть 1. Квалиметрия: Учеб. пособие – Самара: СГАУ, 2010. – 172 с.
- [11] Лапыгин Ю.Н. Стратегический менеджмент. Учебное пособие – М.: Высшее образование, 2007. – 174 с
- [12] Гвоздев В.Е., Блинова Д.В. Концептуальные основы анализа дефектов функциональной безопасности АПК // Труды XVII международной конференции «Проблемы управления и моделирования в сложных системах». – Самара, 2015. – С. 590-595
- [13] Гвоздев В.Е., Блинова Д.В. Элементы теории управления непреднамеренными дефектами в информационно-коммуникационных системах // Системная инженерия. – 2015. – №2. – С. 104-113.
- [14] Майерс Г. Надежность программного обеспечения. – М.: Мир, 1980. – 360 с.
- [15] CHAOS MANIFESTO 2014: Value versus Success & The Orthogonals. – The Standish Group International, Incorporated
- [16] Мамиконов А.Г., Кульба В. В., Косяченко С. А., Ужастов И. А. Оптимизация структур распределенных баз данных в АСУ. – М.: Наука, 1990. – 235 с.
- [17] Парницкий Г. Основы статистической информации. – М.: Финансы и статистика, 1981. – 200 с.
- [18] Милошевич Д. Набор инструментов для управления проектами – М.: Компания АйТи; ДМК Пресс, 2008. – 729 с.

ИНФОРМАЦИОННАЯ ПОДДЕРЖКА ПЛАНИРОВАНИЯ РЕСУРСОВ ДЛЯ УСТРАНЕНИЯ ДЕФЕКТОВ НА СТАДИИ РЕАЛИЗАЦИИ КОМПОНЕНТОВ АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫХ КОМПЛЕКСОВ

В.Е. Гвоздев, А.С. Субхангулова, О.Я. Бежаева

Уфимский государственный авиационный технический университет
450008, Уфа, ул. К. Маркса, 12, Россия
aliyasr21@gmail.com
тел: +7 (937) 837-78-33

Ключевые слова: дефект программного продукта, метрика сложности, линейная регрессионная зависимость.

Abstract

The study's results of the linear regression models properties obtained on the basis of the proposed approach. The estimating methods the defects number in the software and hardware components to determine the expected number of defects in component software and hardware that serves as the basis for the planning of the resources needed to locate and eliminate defects.

Введение

Неотъемлемой частью функциональной безопасности аппаратно-программных комплексов (АПК) является устранение дефектов до приемлемого уровня, что требует планирования объемов ресурсов. В настоящее время известен подход к оцениванию количества дефектов на основе характеристики сложности компонента АПК. В силу того, что разработкой и тестиированием компонентов занимаются различные специалисты, объемы исходных данных о характеристиках сложности и количестве выявленных дефектах различны.

Реализация компонентов АПК есть многостадийный процесс, и дефекты на разных стадиях имеют разную природу. Причем дефекты, которые допускаются на ранних стадиях создания этих компонентов, являются наиболее дорогостоящими [1].

В работе рассматривается метод прогнозирования количества не выявленных дефектов на основе показателя структурной сложности.

1 Анализ подходов к управлению дефектами в компонентах АПК

Один из основных вопросов, связанных с управлением дефектами, является соотношение негативных последствий от проявлений дефекта с затратами на его локализацию и устранение, а именно: должен быть разумный баланс между негативными последствиями проявления дефекта и затратами, связанными с локализацией и устранением дефекта.

Управление дефектами – это сложный процесс, и одной из задач в рамках этого процесса является планирование ресурсов, необходимых для локализации и устранения дефектов. Одним из факторов, влияющих на распределение ресурсов, является число предполагаемых дефектов. Компоненты системы поддержки управления функциональной безопасностью и надежностью на основе оценивания количества дефектов представлены на рисунке 1.

Реализация системного подхода к управлению дефектами возможна при достижении организацией-разработчиком определенного уровня зрелости. В основе прогнозирования ожидаемого числа дефектов на стадии программной реализации лежат исторические данные о ранее выявленных дефектах в аналогичных разработках. Из этого следует, что в организаци-

разработчике должна существовать система сбора, систематизации, организации хранения и доступа к информации о ранее допущенных ошибках и обусловленных этим дефектах.

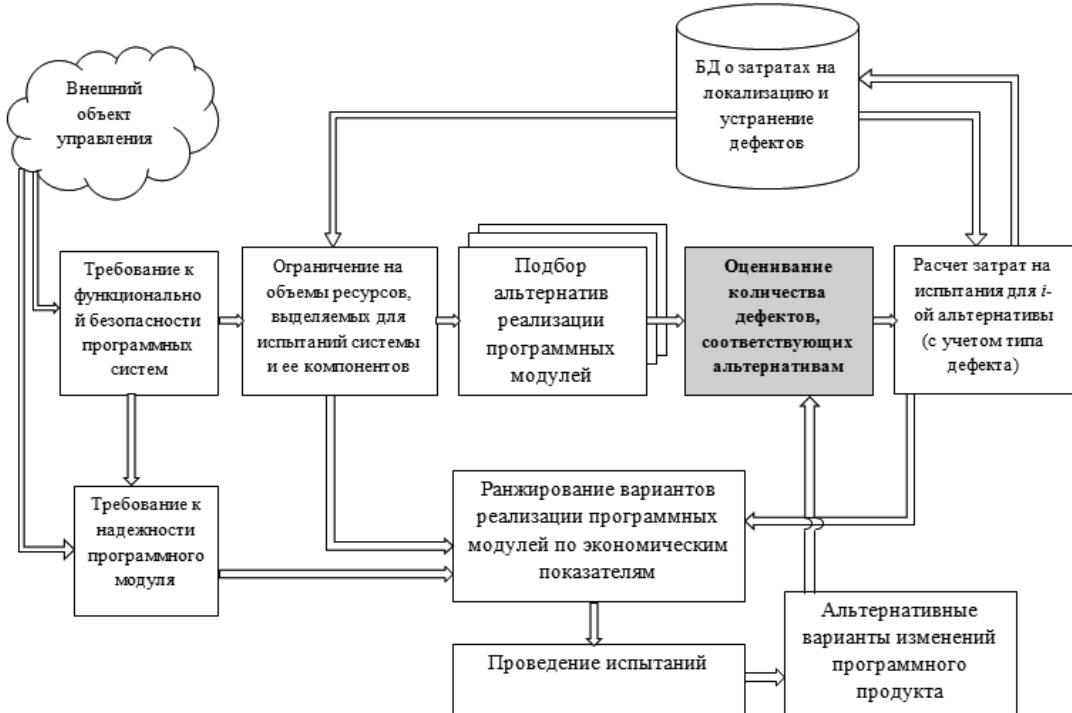


Рисунок 1 – Компоненты системы поддержки управления функциональной безопасностью и надежностью

В работах [2,3] постулируется положение о наличии линейной зависимости между показателями сложности компонентов программных систем и количеством дефектов. Однако здесь использование традиционных подходов к построению эмпирических линейных регрессионных моделей в случае количественного оценивания дефектов оказывается неприемлемым, поскольку возникает проблема формирования корреляционной таблицы наблюдаемых значений. В работе [4] отмечается, что реализацией программных продуктов и их испытаниями должны заниматься разные группы разработчиков, т.е. разработка и испытания осуществляются в различные моменты времени. Это приводит к тому, что сформировать корреляционную таблицу не представляется возможным. Кроме того, объемы данных, характеризующих структурную сложность и число выявленных дефектов, заведомо оказываются различными, поскольку в одной программе могут быть выявлены различного рода дефекты. Отмеченные обстоятельства обосновывают необходимость разработки метода оценивания количества дефектов в компонентах АПК на основе исторических данных о ранее выявленных дефектах и количественной характеристики сложности программных компонентов в случае независимой регистрации зависимой и независимой случайных величин, т. е. в случае отсутствия корреляционной таблицы.

2 Метрики сложности программных компонентов

В литературе описано множество метрик сложности, где также обсуждается эффективность их использования. Причем результаты у разных авторов различаются. Следует отметить,

что большинство метрик сложности программ ориентируются на формальный анализ исходных структурных схем алгоритмов и текстов программ, что делает возможным автоматизацию расчета показателей сложности. Известны публикации [5], в которых обсуждаются различные метрические характеристики структурной сложности программных компонентов. К числу таких метрических характеристик относятся: метрика Холстеда, метрики сложности потока управления программ, метрика сложности *McCabe*, определение логической сложности программы с помощью выражения *IF THEN ELSE*, метрика Чепина.

В стандарте [ESA-PSS-05-10] приведен простой инженерный критерий для оценки структурной сложности *McCabe*, именуемый цикломатическим показателем сложности. В данной работе в качестве метрики сложности предполагается использовать именно этот показатель. Выбор обоснован тем, что, во-первых, он описан в нормативном документе, а во-вторых, он является очень простым в практическом использовании, что важно с инженерной точки зрения.

Таким образом, в настоящей статье рассматривается подход, который сводится к решению следующей задачи.

Дано:

$$A: \{x\}_1^N, \{y\}_1^M \rightarrow \{a, b\},$$

где $\{x\}_1^N, \{y\}_1^M$ – выборки x и y из N и M чисел соответственно, полученных в одинаковых условиях при наблюдениях за одним и тем же объектом, причем измерения выполняются одним и тем же способом;

$\{a, b\}$ – параметры линейной зависимости $y = a + bx$;

A – оператор, позволяющий получать значения $\{a, b\}$ на основе выборок $\{x\}_1^N, \{y\}_1^M$.

Зависимая переменная связана с независимой соотношением $y = x$. На независимые выборочные значения x_i ($i = \overline{1, N}$) накладывалась помеха $\varepsilon_i^{(x)}$ ($i = \overline{1, N}$), а на y_i ($i = \overline{1, M}$) накладывалась помеха $\varepsilon_i^{(y)}$ ($j = \overline{1, M}$).

Требуется:

- 1) проанализировать свойства математической модели;
- 2) разработать методику оценки количества дефектов в компонентах АПК.

3 Математическая основа прогнозирования ожидаемого числа дефектов

В работе [6] показано, что построение линейной регрессионной модели в случае отсутствия корреляционной таблицы может быть сведено к использованию соотношений:

$$(1) \quad a = M[y] - M[x] \cdot \frac{\sigma_y}{\sigma_x}, \quad b = \frac{\sigma_y}{\sigma_x},$$

где $M[y]$, σ_y – математическое ожидание и среднеквадратическое отклонение характеристики количества дефектов; $M[x]$, σ_x – математическое ожидание и среднеквадратическое отклонение характеристики показателя сложности.

В работе [7] показано, что известный метод наименьших квадратов является частным случаем предлагаемого подхода и соответствует ситуации, когда объемы измеримых измерений x и y одинаковые.

Полученные соотношения справедливы для случая, когда законы распределения входной и выходной случайной величины отличаются от нормальных и соответствуют непрерывной случайной величине с левосторонним ограничением. Приведенные результаты соответствуют случаю, когда выборочные данные были «зашумлены», т.е. на них накладывались помехи. В качестве примера на рисунке 2 приведены результаты исследования свойств па-

раметров модели и свойств модели для показательного закона распределения в случае, когда объем выборок составляет 50, закон распределения помехи равномерный, а масштаб помехи (определенный посредством величины среднеквадратического отклонения помехи), составляет 50% от масштаба независимой случайной величины. Подробно эти результаты рассматриваются в работе [6].

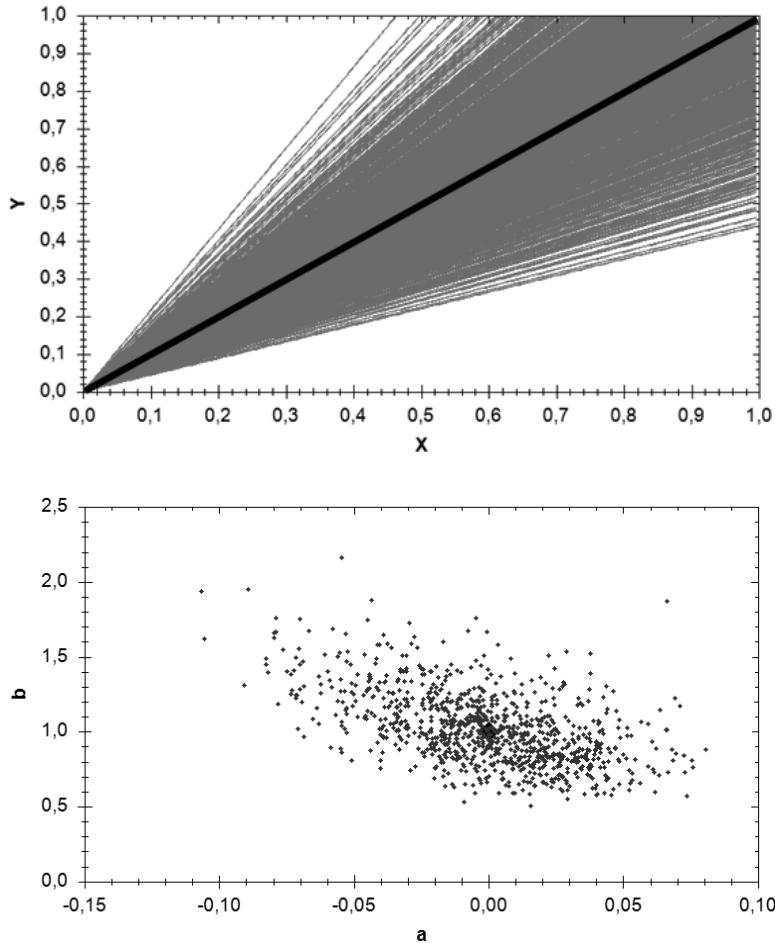


Рисунок 2 – Линейные регрессионные зависимости и поля рассеяния параметров a и b

При проведении исследований в случае, когда имелось левостороннее ограничение на область допустимости значений аргумента $X \in [0; +\infty)$, следовали правилу: если при наложении погрешности на выборочные значения $x_i^* = x_i + \varepsilon_i$ значение x_i^* оказывалось меньше нуля, оно принималось равным нулю.

По результатам исследований можно заключить, что форма поля рассеяния оценок параметров модели $\{\hat{a}\}$, $\{\hat{b}\}$ меняется в зависимости от типа закона распределения аргумента. Из формы и вида поля рассеяния можно заключить, что при прочих равных условиях наибольшая неопределенность значений параметров соответствовала показательному закону аргумента при нормальном законе распределения погрешности. В качестве характеристики неопределенности выбиралась площадь поля рассеяния H параметров a и b .

На рисунке 3 показаны зависимости характеристики неопределенности H от объема выборки N в случае равномерного закона распределения аргумента и нормального закона распределения погрешности. На рисунке цифра 1 соответствует случаю, когда масштаб помехи составлял $\sigma_\varepsilon = 0$; цифра 2 – когда масштаб помехи составлял $\sigma_\varepsilon = 0.1 \sigma_x$; цифра 3 – $\sigma_\varepsilon = 0.5 \sigma_x$; цифра 4 – $\sigma_\varepsilon = 0.9 \sigma_x$.

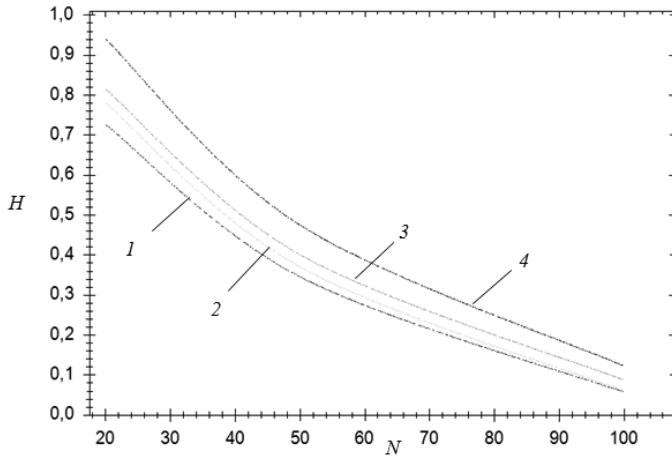


Рисунок 3 – Зависимости характеристик неопределенности H от объема выборки N

Таким образом, предложенный метод позволяет на основе независимой регистрации входных и выходных значений случайных величин строить линейные зависимости при условии, что обоснован факт наличия такой зависимости.

4 Методика оценивания количества дефектов на основе метрики сложности

Укрупненная методика оценки количества дефектов с использованием предлагаемого метода к построению линейных зависимостей сводится к реализации шагов, показанных на рисунке 4. В приведенном ниже алгоритме под метрикой понимается численная характеристика сложности.

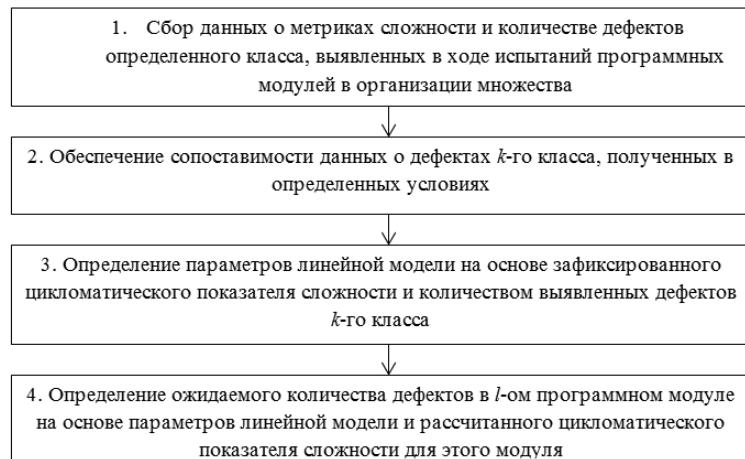


Рисунок 4 – Методика оценки количества дефектов

Полученная оценка ожидаемого числа дефектов в программном компоненте служит основанием для планирования объемов ресурсов, необходимых для локализации и устранения дефектов.

Заключение

Таким образом, разработанная математическая модель позволяет рассчитывать ожидаемое количество дефектов, что в свою очередь, на основе исторических данных о среднем времени, затрачиваемом на устранение дефектов, позволяет обоснованно планировать затраты ресурсов для локализации и устранения дефектов в программных компонентах АПК. Данный подход может использоваться в качестве информационной основы при оценивании ресурсов, необходимых для испытания компонентов АПК в случае, если в техническом задании определены требования к характеристикам надежности.

Благодарности

Работа выполнена при поддержке гранта Российского фонда фундаментальных исследований № 16-08-00442.

Список литературы

- [1] Макконнелл С. Сколько стоит программный проект. – М.: Русская редакция, СПб.: Питер, 2007. – 297 с.
- [2] Липаев В.В. Функциональная безопасность программных средств. Москва: СИНТЕГ, 2004.
- [3] Мороз Г.Б., Коваль Г.И., Коротун Т.М. Определение целей и задач инженерии надежности программного обеспечения// Проблемы программирования – 1997. Т. 1 – С. 98 – 106.
- [4] Майерс Г. Надежность программного обеспечения. Москва: Мир, 1980.
- [5] www3.msiu.ru/~vag4/lec2MPO.DOC
- [6] Субхангулова А.С., Гвоздев В.Е., Бежаева О.Я. Оценивание линейных взаимосвязей параметров технических объектов при отсутствии корреляционной таблицы эмпирических данных// Вестник УГАТУ. Том 19, № 4(70), Уфа: УГАТУ, 2015 – С. 106–117.
- [7] Subhangulova A.S., Gvozdev V.E., 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.

УПРАВЛЯЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СРЕДСТВ КОГНИТИВНОЙ ГРАФИКИ

А.Е. Янковская¹⁻⁵, Ю.Н. Дементьев³, Д.Ю. Ляпунов^{3,6}

¹Томский государственный архитектурно-строительный университет
634003, Томск, пл. Соляная, 2, Россия
ayyankov@gmail.com
тел: +7 (3822) 65-07-82

²Национальный исследовательский Томский государственный университет
634050, Томск, пр. Ленина, 36, Россия
ayyankov@gmail.com
тел: +7 (3822) 65-07-82

³Национальный исследовательский Томский политехнический университет
634050, Томск, пр. Ленина, 30, Россия
ayyankov@gmail.com, dementev@tpu.ru, lyapdy@gmail.com
тел: +7 (3822) 65-07-82, +7 (913) 855-08-04, +7 (903) 913-61-37

⁴Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники
634050, Томск, пр. Ленина, 40, Россия
ayyankov@gmail.com
тел: +7 (3822) 65-07-82

⁵Сибирский государственный медицинский университет
634050, Томск, Московский тракт, 2, Россия
ayyankov@gmail.com
тел: +7 (3822) 65-07-82

⁶Научно-исследовательский университет автоматики и электромеханики
Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники
634034, Томск, ул. Белинского, 53, Россия
lyapdy@gmail.com
тел: +7 (903) 913-61-37

Ключевые слова: управляющие технологии, принятие решений, обоснование, средства когнитивной графики, распознавание образов, интеллектуальная система, нечеткая логика, пороговая логика, смешанные диагностические тесты, моделирование.

Abstract

For a number of problem areas control technologies for decision-making with cognitive graphic tools (CGT) implementation are given. Some problematic and interdisciplinary areas are considered, such as medicine, ecobiomedicine, clinical psychology and education. The control technologies are based on intelligent, including hybrid intelligent systems. The systems are based on the test methods of pattern recognition, and also on fuzzy and threshold logics, mixed diagnostic tests (MDT) construction, decision-making rules based on the MDT and on a voting procedure. Decision-making justification is performed via using of CGT, invariant to problematic areas. Since the decision-making rules are described in a number of papers, the basic attention is directed to the use of CGT, the justification of diagnostic decision-making, the development of processes in the considered areas and the modeling of possible scenarios of future events.

Введение

В настоящее время управляющие технологии (УТ) для принятия решений используются для большого количества проблемных и междисциплинарных областей, таких как медицина,

экобиомедицина, клиническая психология, образование и многие другие [1–16]. Следует отметить, что весьма актуально для медицины использование УТ в управлении процессом лечения, а в области образования – процессом формирования траектории обучения.

Растущий интерес к разработке и использованию УТ на базе прикладных интеллектуальных систем (ИС) стимулирует спрос на создание графических, включая когнитивные, средств принятия и обоснования принятия решений.

Одним из направлений при создании УТ является выявление параметров, на которые целесообразно воздействовать, осуществляя управление тем или иным процессом принятия решения. Впервые в публикации [17] были предложены так называемые сигнальные признаки (СП), значения которых необходимо изменить с целью перехода рассматриваемого объекта (субъекта) из одного состояния в другое. В настоящей публикации рассматривается использование воздействий на СП с целью изменения состояния здоровья обследуемого, а также применение управляющих обучающих технологий на основе различных подходов, в том числе, и развиваемых нами [9–14]. Принятие решений в прикладных ИС, являющихся основой УТ, осуществляется с использованием смешанных диагностических тестов (СДТ) [5], представляющих собой оптимальное сочетание безусловных и условных составляющих, а обоснование принятия решений – с применением средств когнитивной графики (СКГ), значительный вклад в развитие которых внесли Д.А. Постелов [2], А.А. Зенкин [3], а в области медицины – Б.А. Кобринский [4], А.Е. Янковская [5–7, 9, 11–14].

Ниже приводится способ представления данных и знаний, используемых в прикладных медицинских и обучающе-тестирующих ИС (ОТИС), являющихся основой построения УТ; вкратце математические основы принятия и обоснования решений с использованием СКГ; иллюстрирующие примеры в области медицины и образования.

1 Способы представления данных и знаний. Основные понятия. Закономерности

Составляющая основу УТ ИС базируется на матричной модели представления данных и знаний [5, 6], включающей целочисленную матрицу описаний Q , задающую описание объектов в пространстве характеристических признаков (ХП) и целочисленную матрицу различий R , задающую разбиение объектов на классы эквивалентности по каждому механизму классификации. Столбцы матрицы R сопоставлены классификационным признакам, разбивающим объекты из рассматриваемой проблемной области на классы эквивалентности. Если значение ХП несущественно для объекта, то данный факт отмечается прочерком ("–") в соответствующем элементе матрицы Q . Множество всех неповторяющихся строк матрицы R со-поставлено множеству выделенных образов, представленных одностолбцовой матрицей R' , элементами которой являются номера образов. В представленной модели недопустимо пересечение объектов из разных образов. Вышеописанная модель позволяет представлять не только данные, но и экспертные знания, поскольку одной строкой матрицы Q можно задавать в интервальной форме подмножество объектов, для которых характерны одни и те же итоговые решения, заданные соответствующими строками матрицы R . Отметим, что в матричной модели для решения различных задач в области медицины используются матрицы различения трех типов: диагностического (R_1), лечебно-профилактического (R_2) и организационно-управленческого (R_3).

Диагностическим тестом (ДТ) [1, 5, 6] называется совокупность признаков, отличающих любые пары объектов, принадлежащих разным образам (классам). ДТ называется безызбыточным (туниковым [1]), если содержит безызбыточное количество признаков.

Безусловный безызбыточный ДТ (ББДТ) характеризуется одновременным предъявлением всех входящих в него признаков исследуемого объекта при принятии решений.

Под минимальными подмножествами СП 1-го рода будем понимать минимальные подмножества ХП, отличающие объекты, принадлежащие к 2-м разным образам. Под минималь-

ными подмножествами СП 2-го рода будем понимать минимальные подмножества ХП, различающие описание исследуемого (распознаваемого) объекта, принадлежащего одному образу от описания объектов, принадлежащих другому образу [15, 17].

Применяемое при матричном подходе представления данных и знаний понятие закономерностей, как подмножество признаков с определенными свойствами, приведено в [5, 17].

К упомянутым подмножествам будем относить константные (принимающие одно и то же значение для всех образов); устойчивые (константные внутри образа, но не являющиеся константными); неинформативные (не различающие ни одной пары объектов); альтернативные (в смысле включения в ДТ); зависимые (в смысле включения подмножеств различимых пар объектов), несущественные (не входящие ни в один безызбыточный ДТ); обязательные (входящие во все безызбыточные ДТ); псевдообязательные (не являющиеся обязательными, но входящие во все ББДТ, участвующие в принятии решений) признаки; отказоустойчивые (признаки устойчивые к ошибкам измерения) ББДТ (ОУ ББДТ); ОУ СДТ и СП 1-го и 2-го рода, включая отказоустойчивые; а также все минимальные и все (либо часть при большом признаковом пространстве) безызбыточные, включая отказоустойчивые различающие подмножества признаков, являющиеся, по сути, соответственно отказоустойчивыми минимальными и ББДТ. Весовые коэффициенты ХП, также как их информационный вес [1] относятся к закономерностям.

К сожалению, рамки статьи не позволяют привести другие используемые нами способы представления данных и знаний для принятия решений в ИС, основанных на пороговой и нечёткой логиках [8, 16], а также в ОТИС [9, 13, 14].

2 Математические основы, выявления различного рода закономерностей, принятия и обоснования решений

Математический аппарат выявления различного рода закономерностей, включая алгоритмы построения ОУ ББДТ, ОУ СДТ, ОУ минимальных подмножеств СП (ОУ МП СП) 1-го и 2-го рода, а также выбора оптимальных подмножеств (ОП) ОУ ББДТ, ОП ОУ СДТ сводится к решению NP-полной задачи. На множестве ОП ОУ ББДТ и ОП ОУ СДТ строятся правила принятия решений, на базе которых принимается итоговое решение путем применения процедуры голосования с учетом весовых коэффициентов правил принятия решения по каждому из ОП ОУ ББДТ, ОП ОУ СДТ. Математические основы принятия и обоснования решений, используемые для управляющих технологий, и реализуемые в прикладных ИС, основанных на тестовых методах логико-комбинаторного и логико-комбинаторно-вероятностного распознавания образов, выявлении различного рода закономерностей, включая ОП ОУ ББДТ, ОП ОУ СДТ и ОП ОУ СП, а также обосновании результатов принятия решений с использованием СКГ. К сожалению, рамки статьи не позволяют представить даже вкратце математические основы принятия и обоснования решений, которые изложены в большом количестве публикаций [5–7, 15], а также математические основы построения ОТИС [9–14].

Весьма большую роль в управлении процессом лечения играет процедура выявления ОП ОУ СП, используемых в медицинских диагностических ИС для определения в каждый текущий момент совокупности тех ХП, значение которых нужно изменить с целью улучшения состояния организма. Это могут быть признаки, например, составляющие основной синдром, определяющий тяжесть состояния пациента. Именно на него должно быть и направлено лечение.

Использование СДТ в ОТИС в рамках парадигмы смешанного образования и обучения, основанных на пороговой и нечёткой логиках, позволяет оптимизировать индивидуальную траекторию обучения [11, 12, 14] с целью сокращения временных и стоимостных затрат на образовательный процесс.

3 Использование средств когнитивной графики в области медицины и образования

Обоснование принятия решений для различных проблемных областей, включая медицину и образование, осуществляется на базе разработанных нами СКГ, имеющих [5, 18, 19] и не имеющих отображения в обычной реальности [5–7, 9, 11, 13, 14]. Рассмотрим только СКГ, не имеющие отображение в обычной реальности, впервые предложенные в статье [20], где была сформулирована и доказана теорема о преобразовании пространства признаков в пространство образов на основе n -симплексов. Далее были развиты СКГ, а именно, 2-симплекс и 3-симплекс [5–7, 9, 13, 14], используемые для принятия решений и их обоснования в более чем 25-и ИС для различных проблемных областей, включая медицинские диагностические и ОТИС. Далее было предложено применение СКГ 3-симплекс для исследования образовательной траектории [14].

Приведем пример 3-симплекса (рисунок 1, *a* и *б*), используемого в УТ для медицины и образования. Рассмотрим пример диагностики и выбора интервенции (управляющего воздействия) в зависимости от стадии организационного стресса (ОС) с использованием 3-симплекса. В зависимости от управляющего воздействия (выбора интервенции (минимального подмножества сигнальных признаков) на базе сконструированного опросника), осуществляющегося в ИС экспресс-диагностики и интервенции ОС (ДИОС) [8, 16], основанной на идеи трехступенчатой диагностики и выбора интервенции от стадии истощения до отсутствия стресса по каждой из трех стадий ОС (0 – отсутствие стресса, 1 – напряжение; 2 – адаптация; 3 – истощение). На рисунке 1, *а* показаны 3 различных пути выбора интервенции и соответствующие им пути изменения состояния обследуемого при осуществлении интервенции от стадии истощения к стадии адаптации, далее к стадиям напряжения и отсутствия стресса.

Процесс обучения индивидуален для каждого обучаемого, что требует применения различных подходов для достижения поставленных целей. Считаем, что все обучаемые имеют одинаковый исходный уровень знаний, что отображено красной точкой на рисунке 1, *б*. В результате обучения, а затем прохождения тестирования, обучаемые приходят к заданному уровню знаний по разным траекториям и за разные промежутки времени. Границы 3-симплекса сопоставлены оценкам, а 3 ломаные линии сопоставлены 3-м траекториям обучения 3-х обучаемых.

В 2015 году для исследования динамических процессов было разработано новое СКГ 2-симплекс призма [11], используемая для принятия и обоснования решений в динамических ИС, а также в управляющих технологиях.

СКГ 2-симплекс призма основано на 2-симплексе и представляет правильную треугольную призму, содержащую основание и срезы в виде 2-симплексов, соответствующие заданным моментам времени. Ниже приводятся примеры применения СКГ 2-симплекс призмы для управляющих технологий в области медицины и образования. На рисунке 2, *а* и *б* приводятся иллюстрирующие примеры СКГ 2-симплекс призмы в области медицины, а на рисунке 3 – в области образования.

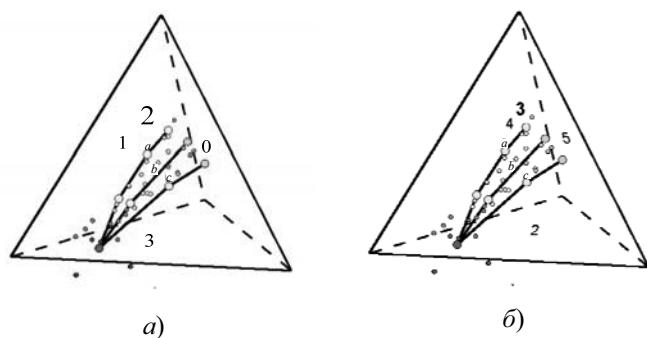


Рисунок 1 – СКГ 3-симплекс *а*) в области медицины, *б*) в области образования

тощения до отсутствия стресса по каждой из трех стадий ОС (0 – отсутствие стресса, 1 – напряжение; 2 – адаптация; 3 – истощение). На рисунке 1, *а* показаны 3 различных пути выбора интервенции и соответствующие им пути изменения состояния обследуемого при осуществлении интервенции от стадии истощения к стадии адаптации, далее к стадиям напряжения и отсутствия стресса.

Процесс обучения индивидуален для каждого обучаемого, что требует применения различных подходов для достижения поставленных целей. Считаем, что все обучаемые имеют одинаковый исходный уровень знаний, что отображено красной точкой на рисунке 1, *б*. В результате обучения, а затем прохождения тестирования, обучаемые приходят к заданному уровню знаний по разным траекториям и за разные промежутки времени. Границы 3-симплекса сопоставлены оценкам, а 3 ломаные линии сопоставлены 3-м траекториям обучения 3-х обучаемых.

В 2015 году для исследования динамических процессов было разработано новое СКГ 2-симплекс призма [11], используемая для принятия и обоснования решений в динамических ИС, а также в управляющих технологиях.

СКГ 2-симплекс призма основано на 2-симплексе и представляет правильную треугольную призму, содержащую основание и срезы в виде 2-симплексов, соответствующие заданным моментам времени. Ниже приводятся примеры применения СКГ 2-симплекс призмы для управляющих технологий в области медицины и образования. На рисунке 2, *а* и *б* приводятся иллюстрирующие примеры СКГ 2-симплекс призмы в области медицины, а на рисунке 3 – в области образования.

2-симплекс призма одновременно отображает только три образа, однако, как упомянуто выше, ИС ДИОС выявляет как 3 стадии ОС (возбуждение, адаптация, истощение), так и отсутствие стресса. В связи с этим предлагается для отображения динамики использовать две 2-симплекс призмы: 1-я предназначена для отображения динамики для 3-х стадий ОС – 3-я, 2-я, 1-я (рисунок 2, а), а 2-я 2-симплекс призма – для отображения 2-ой, 1-ой и 0-ой стадий (рисунок 2, б). Заметим, что в 2-симплекс призме используются и когнитивные свойства, представленные цветовой палитрой для отображения опасности диагнозов и сопоставляемых им образов. Красным цветом отображается самая тяжелая стадия ОС – истощение.

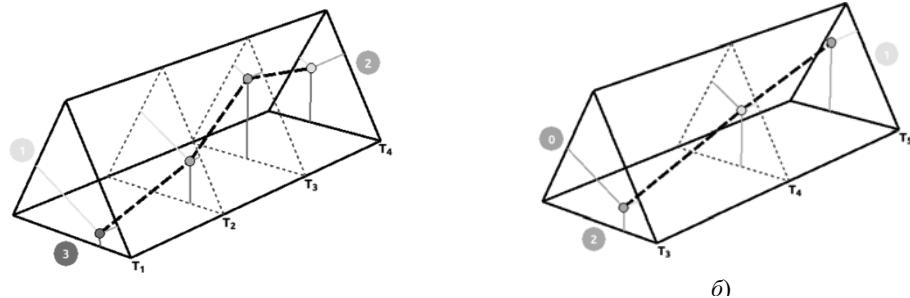


Рисунок 2 – Отображение результатов диагностических тестов ОС в 2-симплекс призме:
а) с 1-го по 4-й тест, б) с 3-го по 5-й тест

Рассмотрим отображение результатов тестирования качества знаний обучаемого после процесса обучения, связанного с управляющим воздействием на изучение необходимого учебного материала в ОТИС с использованием оценочных коэффициентов, определяющих насколько хорошо обучаемый справился с соответствующим заданием. В ОТИС обучаемый проходит СДТ, а результат изучения выбранной дисциплины, представленный на рисунке 3 точкой соответствующего цвета и его насыщенностью, оценивается по СДТ количеством баллов на основе оценочных коэффициентов.

С применением 2-симплекс призмы предлагается осуществлять управление развитием способностей как обучаемого, так и группы обучаемых, а также моделировать формирование управляющих воздействий для получения необходимых результатов как в медицине, так и в образовании.

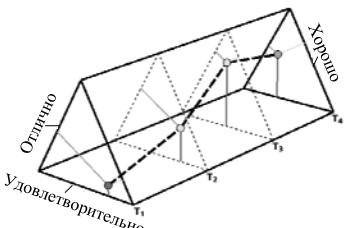


Рисунок 3 – Отображение динамики обучения (результатов СДТ) в 2-симплекс призме

Заключение

Показано, что одним из направлений при создании УТ является выявление сигнальных признаков, на которые целесообразно воздействовать, осуществляя управление процессом принятия решения. Обоснование принятия управляющих решений осуществляется на основе СКГ. Приведены наглядные примеры управления в области медицины и образования.

Показано, что использование в медицинских диагностических ИС предложенных ОП ОУ СП для определения факта и момента изменения психического состояния пациента даёт возможность достоверно прогнозировать динамику этого изменения с учетом преднамеренного или случайного искажения значений ХП, описывающих состояние пациента.

Благодарности

Работа поддержанна РФФИ (проект №16-07-00859 и частично проект №14-07-00673).

Список литературы

- [1] Журавлев Ю.И., Гуревич И.Б. Распознавание образов и анализ изображений // Искусственный интеллект: В 3-х кн. Кн.2. Модели и методы: Справ. / Под ред. Д.А.Поспелова. М.: Радио и связь, 1990. – С. 149–191.
- [2] Поспелов Д.А. Когнитивная графика – окно в новый мир // Программные продукты и системы, 1992. Т. 2. С. 4–6.
- [3] Зенкин А. А. Когнитивная компьютерная графика. – М.: Наука, 1991. – 192 с.
- [4] Кобринский Б.А. Подходы к построению когнитивных лингво-образных моделей представления знаний для медицинских интеллектуальных систем // Искусственный интеллект и принятие решений, №3, 2015. – С. 10–17.
- [5] Янковская А.Е. Логические тесты и средства когнитивной графики. Издательский Дом: LAP LAMBERT Academic Publishing. – 2011. – 92 с.
- [6] Янковская А.Е. Тестовые распознающие медицинские экспертные системы с элементами когнитивной графики// Компьютерная хроника. – 1994. – № 8/9. – С. 61–83.
- [7] Янковская А.Е. Принятие и обоснование решений с использованием методов когнитивной графики на основе знаний экспертов различной квалификации // Известия РАН. Теория и системы управления. – 1997. – № 5. – С. 125–128.
- [8] Янковская А.Е., Корнетов А.Н., Ильинских Н.Н., Силаева А.В., Обуховская В.Б. Расширение комплекса интеллектуальных систем экспресс-диагностики и профилактики психического здоровья // Шестая Международная конференция «Системный анализ и информационные технологии» САИТ – 2015 (15-20 июня 2015 г., г. Светлогорск, Россия): Труды конф. В 2-х т. –Т. 2. М.: – С. 170–177.
- [9] Янковская А.Е., Ямшанов А.В. Интеллектуальные обучающе-тестирующие системы с применением когнитивных технологий // XII Всероссийское совещание по проблемам управления ВСПУ-2014. Москва, 16-19 июня 2014 г.: Труды. [Электронный ресурс] М.: Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, 2014. – 9616 с., стр. 4183–4191.
- [10] Янковская А.Е., Семенов М.Е. Принятие решений в интеллектуальных обучающе-тестирующих системах, основанное на смешанных диагностических тестах // Искусственный интеллект и принятие решений. – 2012. – №1. – С. 95–104.
- [11] Yankovskaya A., Yamshanov A. Family of 2-simplex cognitive tools and their application for decision-making and its justifications // Computer Science & Information Technology (CS & IT) Volume 6, Issue 1, Jan 02-03, 2016, Zurich, Switzerland, pp. 63–76.
- [12] Yankovskaya A., Dementyev Y., Lyapunov D., Yamshanov A., Design of Individual Learning Trajectory Based on Mixed Diagnostic Tests and Cognitive Graphic Tools // Proc. of the 35th IASTED Intern. Conf. Modeling, Identification and Control (MIC 2016), Feb. 15-16, 2016 Innsbruck, Austria. – 2016, pp. 59–65.
- [13] Yankovskaya A., Krivdyuk N. Cognitive graphics tool based on 3-simplex for decision-making and substantiation of decisions in intelligent system // IASTED Conf. on Technology for Education and Learning Proc., 2013. P. 463–469.
- [14] Янковская А.Е., Семенов М.Е., Ямшанов А.В., Семенов Д.Е. Когнитивные средства в обучающе-тестирующих системах, основанных на смешанных диагностических тестах // Искусственный интеллект и принятие решений, 2015, Т. 4, С. 51–61.
- [15] Yankovskaya A., Ametov R. Construction of Fault Tolerant Signal Feature Subsets // Pattern recognition and image analysis. – Vol. 25. – №. 1. – 2015. – Р. 111–116.
- [16] Yankovskaya A., Ametov R., Kitler S. Decision-Making for Diagnostic and Intervention of Organizational Stress in Intelligent System DIOS // Pattern Recognition and Image Understanding (OGRW-8-11). Proc. of 8th Open German-Russian Workshop.–Nizhny Novgorod Lobachevsky State University, 2011.–P. 353-356.
- [17] Yankovskaya A. New Kinds of Regularities in Knowledge and Algorithms of Their Revealing // 7th Open German/Russian Workshop on Pattern Recognition and Image Understanding. Aug. 20–23, 2007 Ettlingen, Germany.
- [18] Янковская А.Е., Тетенев Ф.Ф., Черногорюк Г.Э. Отражение образного мышления специалиста в интеллектуальной распознающей системе патогенеза заболевания // Компьютерная хроника, 2000. №6. С. 77–92.

- [19] Yankovskaya A., Galkin D., Chernogoryuk G. Computer visualization and cognitive graphics tools for applied intelligent systems // IASTED Conf. on Automation, Control and Information Technology Proc., 2010. Vol. 1. P. 249–253.
- [20] Янковская А.Е. Преобразование пространства признаков в пространство образов на базе логико-комбинаторных методов и свойств некоторых геометрических фигур// Распознавание образов и анализ изображений: новые информационные технологии. Тез. докладов I Всесоюzn. конф. Часть II.– Минск, 1991. – С. 178–181.

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ТРАНСПОРТНОЙ ЛОГИСТИКИ

Н.И. Юсупова, О.Н. Сметанина, Е.Ю. Рассадникова

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: информационные технологии, транспортная логистика, системы управления транспортом, обработка информации, сеть задач принятия решений в логистике, ограничения в задаче маршрутизации, корпоративные информационные системы, системы поддержки принятия решений, опасный груз.

Abstract

The article deals with basic characteristics of information systems and information technologies of transport logistics. Authors pay particular attention to issues of information processing for systems of planning for transport process of petrochemical enterprise, which are required to plan informational and software.

Введение

Современное развитие информационных технологий (ИТ) не могло не учитываться при разработке информационных систем (ИС) транспортной логистики. Такие системы, как правило, используют данные других корпоративных ИС (систем управления ресурсами предприятия, взаимодействием с клиентами, информацией и документами, персоналом, цепочками поставок, сбора, анализа и представления бизнес-информации и др.). Некоторыми предприятиями используются системы поддержки принятия решений (СППР) при управлении транспортом в виде надстроек над корпоративными ИС.

Несмотря на то, что в настоящее время, как в России, так и за рубежом, уже создано немало ИС управления транспортом, так называемых, Transportation Management System (TMS), и сложно выявить недостатки у разработанных приложений, однако, существует несколько проблем использования готовых ИС в транспортной логистике на предприятиях малого и среднего бизнеса. К таким проблемам могут быть отнесены избыточность функционала готовых программных решений в данной области, и, соответственно, увеличение их цены; требования к повышению квалификации персонала; сложность адаптации функционала ИС, к бизнес-процессам предприятия, что приводит к необходимости проведения реинжиниринга, зачастую необоснованного, а, следовательно, и значительных дополнительных ресурсов, в том числе, и временных. Таким образом, при внедрении готовых TMS к необходимости существенных финансовых вложений добавляется необходимость и существенных временных затрат.

Еще одной из проблем можно отметить используемое в ИС математическое обеспечение, например, для формирования рациональных маршрутов. Характеристики перевозимого груза порой требуют введения в математическую модель множества специфических условий и ограничений, что не позволяет сделать модель универсальной. И, если предоставить возможность пользователям системы самим формировать математическую модель, то это повлечет за собой необходимость значительного повышения их квалификации. Из чего следует потребность для малых и средних предприятий разрабатывать собственные ИС транспортной логистики или надстройки над ИС в виде СППР при управлении

транспортировкой. В рамках создаваемых СППР в области транспортной логистики авторы неоднократно обращались к вопросам создания математического и информационного обеспечения [3-9]. В статье рассматриваются основные характеристики ИС и ИТ транспортной логистики, особое внимание уделяется вопросам обработки информации для ИС планирования транспортного процесса нефтехимического предприятия, ее информационного и математического обеспечения.

1 Характеристики информационных систем и информационных технологий транспортной логистики

Сравнительный анализ зарубежных и российских ИС, представленных на российском рынке, проведен в разрезе функционала, используемого авторами статьи для автоматизации задач транспортной логистики (таблица 1).

Таблица 1 – Сравнительный анализ представленных на российском рынке программных решений в области транспортной логистики

Характеристики	Наименование программного решения				
	ESRI: ArcLogist ics Route (Esri, Inc)	IBM ILOG Transportation Analyst (IBM)	Roadnet Transportation Suite (Roadnet Technologies)	АНТОР: Logistics Master (АНТОР), РФ	ТопПлан: TopLogistic (ТопПлан), РФ
Интеграция в 1С	+	-	-	-	-
Учет заявок на доставку	+	+	+	+	+
Построение маршрутов для одного заказа	+	+	+	+	+
Построение маршрутов для нескольких заказов одновременно	+	+	+	+	+
Учет временных окон	+	+	+	-	-
Учет транспортных пробок	+	+	+	-	-
Возможность разбиения заказов по ТС	+	+	+	+	+
Учет нескольких депо	+	+	+	-	-
Учет постоянных затрат	+	+	+	-	-
План-факт (анализ)	+	+	+	-	-
Итоговые отчёты	+	+	+	+	+
Используемая карта в ПО	Esri Inc., NAVTEQ or custom	IBM Views	различные виды карт	GPS/Глонасс	GPS/Глонасс
Стоимость, у.е. (2013)	28421	отсутствует информация	26315	1754	2105

В процессе разработки ТМС информационные аспекты отражаются в вопросах анализа бизнес-процессов предприятия в области логистики с целью выявления необходимой для обработки информации, информационных потоков и источников информации, и, как следствие, в вопросах использования ИТ при управлении транспортными процессами.

Результаты анализа ИС транспортной логистики позволили выявить базовые ИТ: передача информации (при импорте/экспорте информации из других/в другие ИС предприятия; для решений, имеющих клиент-серверную архитектуру; для решений, использующих Интернет-ресурсы, например, Яндекс-карты; при использовании системы GPS мониторинга транспорта и пр.); хранение информации в виде БД, в отдельных файлах; обработка информации (например, решение задач выбора логистического перевозчика на основе предложенных

критериев; формирования маршрута транспортировки груза с учетом факторов и ограничений и др.); поиск информации (поиск данных в системах, в Интернет); представление информации для систем с участием человека (в виде текста, пиктографических (схема, пиктограмма и др.), идеографических (диаграмма, таблица, формула и др.) форм представления; сбор информации (например, с использованием устройств считывания штрихкодов). Использование системы GPS мониторинга транспорта кроме ИТ передачи предусматривает также прием, хранение, обработку и анализ данных.

Перечисленные ИТ, неразрывно связаны и влекут за собой рассмотрение множества других вопросов. Так, хранение информации в БД различных ИС предприятия и необходимость их использования в системе управления транспортом влечет за собой рассмотрение вопросов интеграции данных как процесса, который включает объединение данных, находящихся в различных источниках и предоставление данных пользователям в унифицированном виде. В свою очередь интеграция данных на семантическом уровне основана на онтологии, что также связано с рассмотрением особенностей хранения знаний, представленных онтологией. При использовании рассуждений на основе прецедентов (например, в виде ранее сформированных маршрутов) в технологиях поддержки принятия решений возникают вопросы хранения информации в виде используемых ранее и адаптированных к новой ситуации. Использование рассуждений на основе прецедентов может быть целесообразно в ряде случаев, например, когда формируется маршрут с посещением более 70 клиентов.

При передаче информации возникают проблемы, связанные с ее достоверностью, проблемы электронной цифровой подписи и пр. Вопросы электронной цифровой подписи могут рассматриваться, например, при получении разрешения на перевозку особо опасных грузов в соответствующих органах. В настоящее время значительное внимание также уделяется вопросам организации сервисов с использованием облачных технологий.

Особое значение при рассмотрении ИТ занимают вопросы обработки информации в транспортной логистике, которые непосредственно связаны с разработкой математических моделей и методов их решения. Математические модели строятся исходя из целевой направленности. Так при построении рациональных маршрутов авторами предложена математическая модель, целевой функцией которой выступает минимизация общих затрат [4]. Кроме того используется принцип «точно в срок». Учет ограничений в математической модели требует использования множества данных, среди которых: стоимость использования транспортного средства; затраты, зависящие от пройденного расстояния и времени в пути; стоимость времени ожидания и сервисного обслуживания; штрафные величины при нарушении времени обслуживания клиентов; риски на маршруте; расстояния и пр. Свойства перевозимого груза могут накладывать дополнительные ограничения. Например, для опасных грузов – это проезд только по определенным типам дорог, передвижение транспорта только в светлое время суток. Также для опасных грузов характерны ограничения, учитывающие то, что маршруты транспортировки не должны проходить вблизи крупных промышленных объектов, зон отдыха, архитектурных, природных заповедников, а также через крупные населенные пункты. Любые ограничения учитываются при разработке математического и информационного обеспечения.

Результаты анализа информационных потоков логистических систем показывают, что потоки представлены различными видами данных: структурированными (например, данные, хранящиеся в БД, импортируемые из других ИС) и слабоструктурированными (например, карты или документы). Разнообразие данных требует от разработчиков ИС использовать адекватные методы их обработки.

2 Сеть задач принятия решений в логистике нефтехимического предприятия

Анализ логистических бизнес-процессов (с привязкой к структурным подразделениям) и анализ информационных потоков позволили выявить функции бизнес-процессов; адресатов передаваемой информации (источники/приемники, как структурные подразделения предприятия, так и внешние организации, с которыми взаимодействует данное подразделение); номенклатуру документов (сообщений), поступающих или создаваемых в подразделениях предприятия (внешних организациях); номенклатуру справочных данных, формы документов и законодательные документы, используемые в работе подразделений; количество и периодичность составления документов; список показателей, содержащихся в каждом конкретном документе (сообщении), поступающем в структурное подразделение (в другую организацию) или из него (из другой организации); используемые в подразделении показатели.

Вся логистическая система представлена в виде «сети принятия логистических решений на предприятии» (рисунок 1). Предложенный Diane Riopel, Andre Langevin, James F. Campbell [1] граф адаптирован авторами, и включает логистические задачи оперативного управления нефтехимического предприятия. При анализе логистических бизнес-процессов предприятия был выявлен ряд проблем: задержки в обслуживании потребителей; частые ДТП при транспортировке; нехватка собственных транспортных средств, расположенных в нескольких депо; затраты на поиск дополнительных возможностей транспортировки готовой продукции.

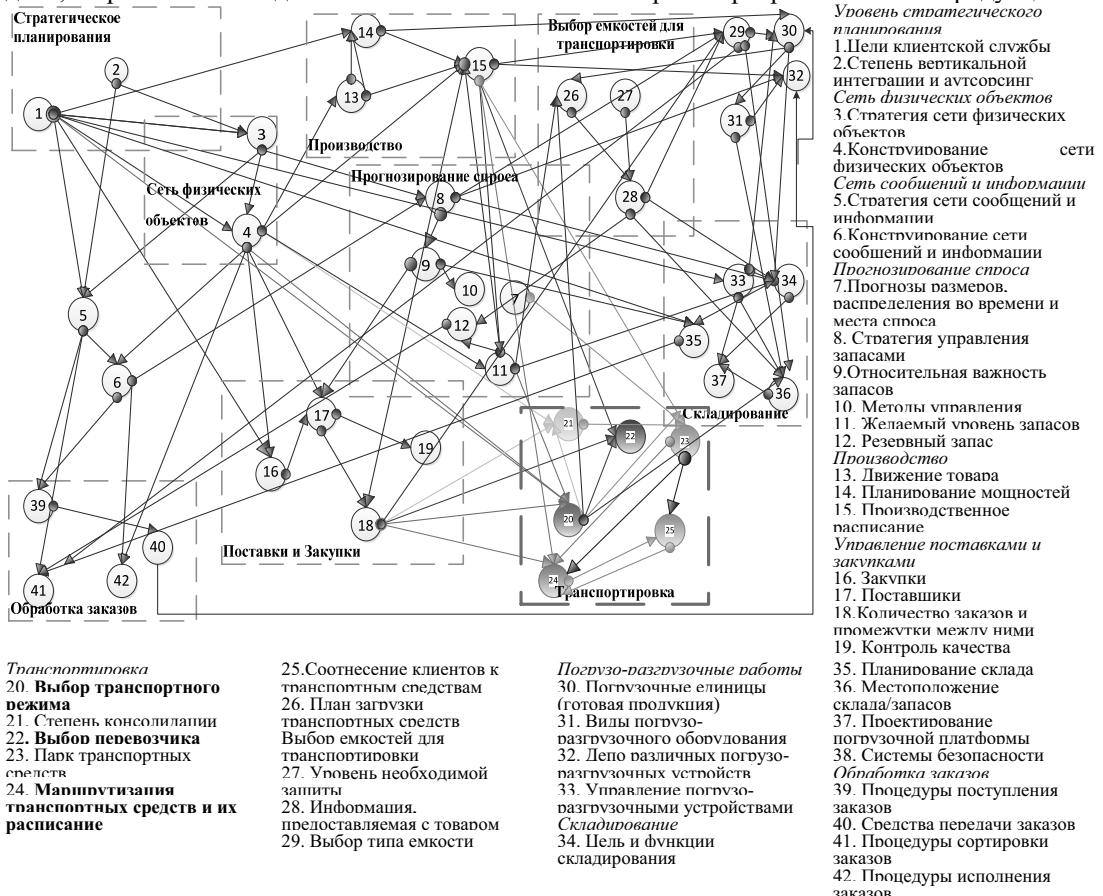


Рисунок 1 – Модифицированная сеть принятия логистических решений

Также следует отметить, что на эффективное планирование транспортного процесса влияет множество факторов: внешние (ситуация на дорогах, требования клиентов, диапазон выбора логистических перевозчиков и др.), законодательная база (ГОСТы, законы, постановления), внутренние нормативные документы (документы регламентирующие транспортный процесс готовой продукции на предприятии, технологические требования), внутренняя политика предприятия (требования, предъявляемые к времени обслуживания, к безопасности доставки готовой продукции), средства планирования (трудовые и материальные ресурсы и др.) [8].

Выявленные проблемы позволили сформулировать комплекс задач транспортной логистики на уровне оперативного планирования: выбор транспортного режима, логистического перевозчика, формирование рационального маршрута с учетом ресурсных, технологических и дорожных ограничений (рис. 1). Технология обработки информации будет рассмотрена на примере решения задачи формирования рационального маршрута с учетом ограничений.

Постановка задачи: Требуется найти рациональные маршруты, минимизирующие общие затраты, которые включают в себя фиксированную стоимость использования транспортных средств cf^v ; стоимость, зависимую от пройденного расстояния CV^v и времени в пути $c_t^v \times TV^v$; стоимость времени ожидания и сервисного обслуживания Δa_i^v и Δb_i^v ; штрафные величины – $\rho^v \times \Delta TV^v$ и ρ_i ; величину риска в маршруте $d^v \times R^v$.

Анализ известных математических моделей позволил в качестве базовой для решения задачи маршрутизации транспорта (ЗМТ) с временными окнами, несколькими депо и с использованием различных ТС выбрать модель MDHVRPTW [1] и модифицировать ее путем введения требуемых дополнительных ограничений.

$$L = \min(cf^v \sum_{d \in D} X_{dv} + c_t^v \times TV^v_{sum} + c^{dist} \times CV^v + \rho^v \times \Delta TV^v + d^v \times R^v) + \sum_{i \in E} \rho_i \times (\Delta a_i^v + \Delta b_i^v), \text{ где } v \in V'.$$

Вводимые в модель ограничения (ресурсные, дорожные и технологические) более подробно описаны в [4], [7].

Для решения различных задач маршрутизации транспортных средств могут быть использованы точные (ветвей и границ), эвристические, двухфазные, метаэвристические методы и др.

3 Информационное и алгоритмическое обеспечение задачи формирования маршрута для транспортировки продукции нефтехимического предприятия

Разработанная ИС транспортной логистики использует технологии поддержки принятия решений и технологии экспертных систем. Принятие решений необходимо при выборе одного из сформированных систем маршрут, логистического перевозчика, транспортного режима. Экспертная информация используется для формирования оценочных значений транспортного режима и логистического перевозчика. В предложенной ИС используются данные, хранящиеся в БД ИС отделов закупок и снабжения, производственного, транспортного и отдела сбыта. Внешние данные несут сведения о способах транспортировки и видах транспорта; характеристиках логистического перевозчика, предлагающих услуги перевозок; информацию о координатах клиентов и различных депо, расстоянии между пунктами, сведения о транспортной ситуации на дорогах (транспортные пробки, список платных дорог и стоимость их использования, список дорог, соответствующих определенному типу дорог, риск ДТП на каждом из типов дорог и др.).

Требования, предъявляемые к информационному обеспечению ИС транспортной логистики при планировании транспортного процесса, сводятся к обеспечению доступности (простота и легкость доступа к информации); точности (информация должна точно отражать текущие операции и ситуацию (например, дорожные условия)); динамичности (изменение

информации о требованиях заказчиков готовой продукции, маршрутах); своевременности (время между моментом, когда происходит событие, и моментом, когда оно находит отражение в ИС).

Сформированная маршрутная карта в задаче маршрутизации транспорта содержит данные о последовательности и расписании посещения клиентов в маршрутах, соотнесение клиентов к транспортному средству, водителей к транспортному средству, транспортное средство к депо, стоимостные и натуральные показатели, при этом необходимо учитывать законодательную базу, внутренние нормативные документы, материальные и трудовые ресурсы, условия и ограничения, предъявляемые предприятием и клиентами [3].

Для формирования рациональных маршрутов используется метод *OPT_Route*, включающий последовательность процедур кластеризации клиентов с учетом дистанции между депо и клиентами; поиска маршрутов в каждом кластере с использованием метода локального поиска с чередующимися окрестностями с учетом условий и ограничений (в соответствие с математической моделью); нахождение показателей (расход бензина, пробег транспортного средства и др.) для найденных маршрутов (рисунок 2). Также используются адаптированные к содержательной постановке задачи классические алгоритм Кларка и Райта и алгоритм локального поиска с чередующимися окрестностями.



Рисунок 2 – Схема решения задачи формирования рациональных маршрутов в системе планирования транспортного режима при перевозках готовой продукции

Заключение

Анализ готовых ИС в области транспортной логистики на российском рынке выявил проблемы их использования на предприятиях малого и среднего бизнеса.

Специфические характеристики транспортируемого груза и транспортного процесса могут влиять на технологии обработки информации в части используемых математических моделей и методов.

Анализ особенностей процесса транспортировки готовой продукции нефтехимического предприятия позволил выбрать наиболее близкую базовую математическую модель

MDHVRPTW и модифицировать ее с учетом выявленных особенностей. Для получения рационального маршрута предложен алгоритм *OPT_Route*. Формирование рациональных маршрутов в связи с особенностями содержательной поставки задачи базируется на модифицированных алгоритмах: алгоритм Кларка и Райта (Clarkeand Wright Algorithm) и алгоритм локального поиска с чередующимися окрестностями (Variable Neighborhood Search).

Благодарности

Исследования частично поддержаны грантами РФФИ 16-07-00773 и 15-07-01565.

Список литературы

- [1] Dondo R. A cluster – based optimization approach for the multi – depot heterogeneous fleet vehicle routing problem with time windows / R. Dondo, J. Cerdá // European Journal of Operational Research. – 2007. – Vol. 176. – Iss. 3. – pp.1478 – 1507.
- [2] Langevin, A. Logistics Systems: Design and Optimization: design and optimization GERAD 25th anniversary series/ A. Langevin, D. Riopel // Springer, 2005 – 408 P.
- [3] Рассадникова Е. Ю. Система поддержки принятия решений при планировании транспортного процесса с учетом специальных ограничений (на примере нефтехимического предприятия): автореф. дисс. канд. техн. наук: 05.13.01 / Рассадникова Екатерина Юрьевна. – Уфа. 2015. – 16 с.
- [4] Рассадникова, Е.Ю. Математическая модель задачи выбора рациональных маршрутов в системе управления транспортировки готовой продукции / Е. Ю. Рассадникова, Л. А. Коханчиков // Современные проблемы науки и образования [Электронный ресурс]. 2013. № 5. Режим доступа: <http://www.science-education.ru/111-10244> (дата обращения: 12.05.2016).
- [5] Рассадникова Е.Ю., Сметанина О.Н. Информационная поддержка в системе управления транспортировкой готовой продукции / О.Н. Сметанина, Е.Ю. Рассадникова // Современные проблемы науки и образования – 2015. – № 2.www.science-education.ru/111-10244 (дата обращения: 12.05.2016).
- [6] Рассадникова Е.Ю., Сметанина О.Н. Программные решения в области управления транспортом / О.Н. Сметанина, Е.Ю. Рассадникова // Информационные технологии и системы [Электронный ресурс]: тр. пятой Междунар. науч. конф., Банное, Россия, 24–28 февр. 2016 г. (ИТиС – 2016), стр. 145 – 148.
- [7] Рассадникова Е.Ю. Комплексный подход к планированию транспортного процесса для перевозки нефтехимической продукции / Е.Ю. Рассадникова // Интеллектуальные технологии обработки информации и управления: Труды Междунар. конф., Уфа: Изд-во Уфимского. гос. авиац. техн. ун-та, 2014. Т.2.С. 65-70.
- [8] Юсупова Н.И., Сметанина О.Н., Рассадникова Е.Ю. Анализ вопросов принятия решений в транспортной логистике / Н.И. Юсупова, О.Н. Сметанина, Е.Ю. Рассадникова // Информационные технологии интеллектуальной поддержки решений: Труды Междунар. конф., Уфа: Изд-во Уфимского. гос. авиац. техн. ун-та, 2016. Т.1.С. 31-38.
- [9] Юсупова Н.И., Валеева А.Ф., Рассадникова Е.Ю., Латыпов И. М., Кощеев И.С. Многокритериальная задача доставки грузов различным потребителям / Н.И. Юсупова, А.Ф. Валеева, Е.Ю. Рассадникова, И.М. Латыпов, И.С. Кощеев // Логистика и управление цепями поставок. 2011. № 5. С. 60–81.

Biography

YUSUPOVA Nafisa Islamovna, professor. Head of the Department of Computational Mathematics and Cybernetics. Dean of the faculty of computer science and robotics, USATU. Diploma of radiophysics (Voronezh State University, 1975). Doctor of Engineering Sciences (USATU, 1998). Research in the field of the critical situation management, informatics.

SMETANINA Olga Nikolaevna, professor of the Department of Computational Mathematics and Cybernetics, USATU. Diploma of Engineer on automated processes of machining and output of information (UAI, 1985). Doctor of Engineering Sciences (USATU, 2012). Research in the field of decision support in the social and economic systems.

RASSADNIKOVA Ekaterina Yurievna, senior lector of the Department of Computational Mathematics and Cybernetics, USATU. Diploma of economist-mathematician (USATU, 2011). Ph.D. in Engineering Science (USATU, 2015). Research in the field of decision support of transport logistics solutions.

РЕАЛИЗАЦИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОВЕТУЮЩЕЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕМ СЛОЖНЫХ ПРОЦЕССОВ В КЛАССЕ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ЗНАНИЯМИ

Л.Р. Черняховская, А.И. Малахова, Р.Р. Мулюков

Уфимский государственный авиационный технический университет

450000, Уфа, ул. К. Маркса, 12, Россия

lrchern@yandex.ru, aimalakhova@gmail.com

тел: +7 (347) 273-78-35, факс: +7 (347) 273-77-17

Ключевые слова: управление взаимодействием сложных процессов, поддержка принятия решений, управление знаниями, онтология, интеллектуальная советующая система.

Abstract

The article considers realization of the intelligent advising system for complex processes interaction management based on the principles of quality management and knowledge processing with the use of ontological engineering. The hierarchy of system operation efficiency criteria to evaluate the level of system accordance to the presented requirements is developed. Methods and algorithms of user and intelligent advising system interaction are described.

Введение

Принятие решений при управлении взаимодействием сложных процессов, в особенности в рамках реализации инновационных проектов, с целью достижения сформулированных требований к проекту является ответственной и трудной задачей. Для повышения эффективности управления взаимодействием сложных процессов в проблемных ситуациях (т.е. в условиях неопределенности внешней и внутренней сред объекта управления) необходимы соответствующие модели, методы, средства поддержки принятия и реализации управленческих решений при ограниченных ресурсах. В связи с этим необходима разработка интеллектуальной советующей системы (ИСС), обеспечивающей информационно-аналитическую поддержку на основе интегрированного описания проблемных ситуаций, системного сочетания знаний и опыта экспертов, результатов математического и имитационного моделирования.

Для реализации предложенной системы необходимо решить следующие задачи:

- сформировать иерархию требований к ИСС;
- разработать иерархию критериев эффективности работы ИСС для оценки степени соответствия системы предъявляемым требованиям;
- разработать методы и алгоритмы взаимодействия пользователей и ИСС в процессе принятия решений;
- разработать схему программной реализации ИСС.

1 Иерархия требований к ИСС

Управление взаимодействием сложных процессов является интеллектуальной деятельностью, которую трудно реализовать с применением только классических методов управления. Процесс управления взаимодействием сложных процессов отличается не только технологическими особенностями коммуникации заинтересованных лиц, но и необходимостью обеспечения совместимости используемых концепций управления знаниями, методов, моделей и алгоритмов принятия решений. Эффективное решение данной научной проблемы возможно на

основе использования технологий управления знаниями, а также моделей и методов Semantic Web.

Основой разработки любого проекта, в том числе проекта сложной программно-информационной системы, является определение и формулировка требований. Требования помогают выявить потребности «заинтересованных сторон» (пользователей, потребителей, поставщиков, разработчиков и т.д.), а также однозначно определить тот функционал, которым система должна впоследствии обладать, чтобы удовлетворить эти потребности [4]. Согласованные требования создают базу для планирования работ по разработке системы, ее тестированию и приемке, а также позволяют с самых ранних этапов проектирования организовать деятельность по управлению рисками. Также известно, что качество определяется через степень соответствия совокупности присущих характеристик требованиям [2]. Таким образом, можно говорить о прямой зависимости между успешностью разработки системы и деятельностью по выработке, фиксированию и отслеживанию набора соответствующих требований.

В соответствии с приведенными рассуждениями на предыдущем этапе исследований с помощью CASE-инструмента для проектирования и конструирования программного обеспечения Enterprise Architect была построена диаграмма требований, отражающая необходимую иерархию требований к ИСС [5].

Среди всей совокупности требований, предъявляемых к ИСС, первоначально были выделены наиболее общие, отражающие основные цели и особенности функционирования разрабатываемой системы (пользовательские требования). Выделенные требования можно декомпозировать на две наиболее значимые группы функциональных и нефункциональных требований (системные требования). Первая группа раскрывает основные аспекты поведения и механизмы функционирования разрабатываемой системы в рамках решаемых ею задач и достижения поставленных целей. Функциональные требования к ИСС сформулированы в соответствии с концепцией управления знаниями и онтологического инжиниринга.

С целью описания не связанных с непосредственной функциональностью разрабатываемой ИСС функций была описана группа нефункциональных требований. Раскрываемые в данной группе характеристики предназначены, например, для выяснения и обозначения ограничений и атрибутов системы, связанных с обеспечением надежности, безопасности, масштабируемости, производительности, оперативности, требуемых характеристик интерфейса и др.

Разработанная объектно-ориентированная модель управления знаниями в выбранном процессе организационного управления программными проектами позволяет на начальных этапах проектирования сформировать некую формализованную базу знаний о процессах, протекающих в рамках рассматриваемой предметной области, и служит основой для разработки онтологии поддержки принятия решений, в соответствии с определенной взаимосвязью элементов объектной и онтологической моделей.

С помощью матрицы отношений определяются соответствия между функциональными требованиями к ИСС и вариантами ее использования, а также конкретизируются требования к заинтересованным лицам, участвующим в организации поддержки принятия решений (рисунок 1).

Диаграмма вариантов использования отражает взаимодействие пользователя и разрабатываемой системы. Каждый вариант использования охватывает некоторую очевидную для пользователя функцию системы и решает некоторую конкретную задачу. Список всех вариантов использования фактически определяет функциональные требования к разрабатываемой системе.

При этом актером (actor) или действующим лицом может считаться любая взаимодействующая с системой извне (человек, процесс, технические условия или любая другая система, которая может служить источником воздействия на моделируемую систему). Актеры служат для обозначения согласованного множества ролей, которые могут играть пользователи в процессе взаимодействия с проектируемой системой.

Relationship Matrix											
Source:	Основные требования	Type:	Package	Link Type:	Realisation	Profile:		Direction:	Source -> Target	Refresh	Options
Target:	Use Case Model	Type:	UseCase	Link Type:		Profile:		Direction:			
Основные требования::Документирование принятия решений		Use Case Model::Завершение									
Основные требования::Обеспечение взаимодействия ЛПР		Use Case Model::Завершение проекта									
Основные требования::Обработка знаний и опыта экспертов		Use Case Model::Завертиие поставок									
Основные требования::Онтологический инжиниринг		Use Case Model::Идентификация рисков									
Основные требования::Соответствие основной цели проекта		Use Case Model::Идентификация участников проекта									
		Use Case Model::Инициация									
		Use Case Model::Мониторинг									
		Use Case Model::Набор команды проекта									
		Use Case Model::Обеспечение качества									
		Use Case Model::Определение бюджета									
		Use Case Model::Определение операций									
		Use Case Model::Определение подподаточности операций									
		Use Case Model::Определение содержания									
		Use Case Model::Организация проведения поставок									
		Use Case Model::Оценка долговечности операций									
		Use Case Model::Оценка ресурсов операции									
		Use Case Model::Оценка стоимости									
		Use Case Model::Планирование коммуникаций									
		Use Case Model::Планирование поставок									
		Use Case Model::Планирование реализования на риски									
		Use Case Model::Планирование управления качеством									
		Use Case Model::Планирование управления рисками									
		Use Case Model::Развитие команды проекта									
		Use Case Model::Разработка плана управления человеческими ресурсами									
		Use Case Model::Разработка расписания									

Рисунок 1 – Матрица отношений

2 Разработка иерархии критериев эффективности работы ИСС

Разработка интеллектуальной советующей системы выполнена в соответствии с предложенными методологией управления взаимодействием сложных процессов, включающей модели, методы и алгоритмы онтологического анализа и управления знаниями в условиях неопределенности [6].

Методология управления взаимодействием сложных процессов включает в себя разработку моделей, методов и средств управления знаниями, интегрированных на основе объектного анализа и онтологического анализа, что позволяет получать новые теоретические и практические результаты, актуальные для развития интеллектуальных систем управления, для аналитической обработки больших массивов слабо структурированной информации; а также для подготовки и реализации сложных процедур взаимодействия управляющих. Основным назначением интеллектуальной советующей системы является поддержка принятия решений, реализуемая в едином пространстве знаний, организованном на основе разработанной онтологии поддержки принятия решений, с применением правил и прецедентов принятия решений, встроенных в онтологию.

В настоящее время все большие требования предъявляются к качеству, точности и оперативности принимаемых управлеченческих решений при управлении сложными системами и процессами. Требования к разработке систем поддержки принятия решений включают описание ключевых целевых показателей интеллектуального управления и критериям их достижения, которые планируется достичь в рамках реализации проекта.

Разработанная система оценки эффективности интеллектуального управления взаимодействием сложных процессов носит комплексный характер и основана на многокритериальном подходе к оценке результатов инновационной деятельности, что обусловлено сложностью рассматриваемой проблемы. Соответственно, в проекте предложена иерархическая система показателей. В качестве главного критерия оценки эффективности предложен интегральный

показатель интеллектуального управления; на следующем уровне иерархии находятся традиционно используемые научно-технические, экономические, социальные критерии, а также критерии эффективности управления знаниями, которые представляют собой сочетание количественных и качественных показателей.

Интегральный показатель эффективности поддержки принятия решений определяется по следующей формуле:

$$(1) \quad F^I = \langle F^{ST}(F_1^{ST}, F_2^{ST}), F^E(F_1^E, F_2^E), F^S(F_1^S, F_2^S), F^{KM}(F_1^{KM}, F_2^{KM}) \rangle,$$

где F^{ST} – научно-технические критерии;

F_1^{ST} – показатели достижения цели управления;

F_2^{ST} – точность, оперативность, качество управленческих решений;

F^E – экономические критерии;

F_1^E – экономические показатели эффективности управленческих решений;

F_2^E – затраты на обеспечение поддержки принятия решений;

F^S – социальные критерии;

F_1^S – влияние управления знаниями на образовательный и социальный уровень персонала;

F_2^S – показатели эффективности применения компетенций персонала;

F^{KM} – критерии эффективности управления знаниями;

F_1^{KM} – показатели совершенствования взаимодействия персонала в управлении;

F_2^{KM} – показатели разработки и использования новых ресурсов управления знаниями.

Для обеспечения полноты и обоснованности оценок эффективности результатов реализации интеллектуальной советующей системы предлагается включить в систему критериев оценки эффективности новые критерии, характеризующие эффективность управления знаниями. Важность включения показателей, характеризующих эффективность управления знаниями, определяется тем, что посредством создания, накопления, организации и использования знаний, организации могут повысить производительность выполнения работ и, тем самым, обеспечить достижение целей управления.

На практике внедрение методов и средств управления знаниями в систему управления процессами может быть измерено с помощью следующих показателей:

- показатели результативности обучения персонала новым знаниям, включающие индикаторы разработки, поддержания и использования динамических ключевых компетенций и возможностей как основу для конкурентного преимущества;
- показатели разработки и использования новых средств обеспечения коммуникаций персонала организации, разработки новых ресурсов для поддержки управления знаниями (баз данных и знаний, онтологий, инновационных порталов, методов и средств интеллектуального анализа данных и др.).

Предложенное множество показателей в сочетании может быть основой для разработки инструментария оценки эффективности интеллектуального управления.

Предлагается также применить для оценки эффективности интеллектуальной советующей системы современные методы анализа и принятия решений: метод групповой аналитической иерархии, методы Электра, методы агрегации экспертных знаний, методы нечеткого логического вывода на основе гибридных нейро-нечетких систем.

Эффективность долгосрочного управления знаниями может быть оценена на основе проведения тематических исследований по влиянию применяемых в ряде организаций, внедряющих инновационные проекты, механизмов управления знаниями на достижение долгосрочных целей. Проверяемая гипотеза: организационная эффективность зависит от создания подразделений для реализации инновационных проектов, активности внутренних и внешних коммуникаций для управления инновационными процессами, совершенствования методов принятия решений, в том числе коллективных, на основе применения и развития корпоративных знаний.

3 Методы и алгоритмы взаимодействия пользователей и ИСС в процессе принятия решений

Предлагаемая интеллектуальная советующая система управления взаимодействием сложных процессов включает следующие компоненты: онтология поддержки принятия решений; база правил и база прецедентов принятия решений; модуль управления знаниями, модуль аналитической поддержки, база данных проблемных ситуаций.

В онтологии поддержки принятия решений разработаны правила и прецеденты поддержки принятия решений в соответствии с дескрипционной логикой Description Logic (DL). В результате онтологического анализа была получена база знаний, сконструированная из сущностей, отношений, правил (интенсиональная составляющая) и экземпляров классов (экстенсиональная составляющая).

Правила, сформулированные в онтологии, выражают причинно-следственные отношения между определенными классами событий, являющихся причинами возникновения проблемных ситуаций, решениями, принимаемыми управляющими, и действиями, выполняемыми для разрешения проблем. Целью моделирования правил является их использование для поддержки принятия решений с учетом критериев эффективности и определения ограничений, накладываемых на множество альтернатив.

Правила принятия управленческих решений разработаны в соответствии с результатами объектно-ориентированного анализа и моделирования и онтологического анализа и выделенными типами правил. Для разработки правил в объектной модели могут использоваться: диаграмма деятельности (activity diagram); диаграмма классов (class diagram); диаграмма состояний (statechart diagram). Визуализация правил в объектной модели является удобной для обсуждения как отдельных правил, так и их взаимосвязи с экспертами. Пример правил, смоделированных с использованием диаграммы деятельности, представлен на рисунке 2.

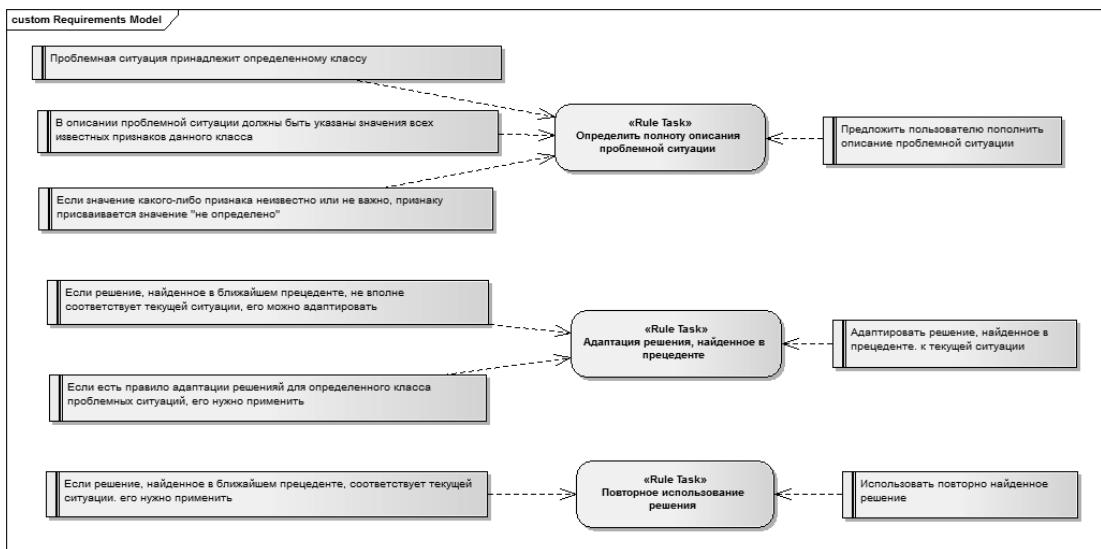


Рисунок 2 – Моделирование деловых правил

Правила подразделяются на 3 категории. Существуют дедуктивные правила первого типа, которые выводят новую информацию на основе существующей информации. Правила второго типа устанавливают ограничения на значения характеристик состояний процесса, то есть определяют то, что должно действовать во всех случаях (условия поведения объектов). К

третьей категории бизнес-правил относятся правила, разрешающие или запрещающие некоторые действия в процессе.

Для формирования правил, встроенных в онтологию, использован язык Semantic Web Rule Language (SWRL) [1]. Язык искусственного интеллекта SWRL является расширением языка OWL, и дополнительно поддерживает разработку правил в соответствии с принципами дескриптивной логики. При формировании условной части и заключения в правиле используются объекты онтологии OWL DL. Таким образом, поддерживается интеграция правил в семантическую сеть онтологии, так как при разработке правил применяются предикаты, определенные при разработке онтологии в части формирования аксиом иерархии классов, описания отношений ассоциации и аксиомы, накладываемые на свойства. Это обеспечивает необходимую гибкость процесса принятия решений и взаимодействия территориально удаленных пользователей в процессе управления знаниями. Аксиомы, описывающие конкретные ситуации предметной области и правила, описывающие каузальные отношения (множество А-аксиом), формируются с применением редактора онтологий Protégé.

Поиск решений с применением правил осуществляется с применением механизма вывода (механизма интерпретации правил). Механизм вывода в производственной системе выполняет интерпретацию текущего состояния предметной области (набора конкретных фактов) на базу знаний и реализацию указаний из заключения продукции. Механизм логического вывода позволяет:

- получить факты (экстенсиональную составляющую базы знаний) на основе логических выражений (аксиом), содержащихся в интенсиональной составляющей базы знаний;
- осуществить проверку базы знаний на противоречивость;
- пополнить интенсиональную составляющую базы знаний знаниями, отражающими специфику сложно структурированной предметной области [3].

Для онтологии поддержки принятия решений разработаны механизмы логического вывода, например, HermiT и Racer. Механизм логического вывода HermiT (Оксфордский университет) [R. Shearer, B. Motik and I. Horrocks. HermiT: a Highly-Efficient OWL Reasoner. In 5th OWL Experiences and Directions Workshop, 2008] предоставляет возможность определить, является ли данная онтология последовательной и определить категоризацию отношений между понятиями, а также реализовать логический вывод на правилах.

Реализация интеллектуальной советующей системы выполнена с применением технологии Semantic Web. Semantic Web создается на основе ряда стандартов и инstrumentальных средств, включающих языки представления знаний и обмена данными и знаниями.

В разработанном алгоритме поиска решений в базе знаний предусмотрен поиск решений на основе прецедентов, в котором установлены новые процедуры поиска ближайших прецедентов с использованием структуры прецедентов принятия решений в проблемных ситуациях, определенной в онтологии поддержки принятия решений.

Поиск осуществляется среди прецедентов в базе знаний. В базу знаний предварительно экспортirуется онтология (файл с расширением .owl), описывающая предметную область. При этом сохраняются все связи между элементами онтологии. Ввод запроса осуществляется путём выбора значений параметров проблемной ситуации из выпадающего списка. Список возможных значений для каждого параметра формируется исходя из множества значений, хранящихся в базе знаний.

Для определения соответствия результата запросу пользователя вычисляются локальная и глобальная меры сходства для найденных прецедентов. Применяются две локальные меры сходства: коэффициент Жаккара и онтологическая мера сходства. Онтологическая мера сходства учитывает иерархические связи классов и свойств. При этом учитывается то, что сравниваемые свойства проблемной ситуации и прецедентов в общем случае принадлежат к различным классам в установленной иерархии свойств данных.

Для нахождения локальных мер сходства между свойствами проблемной ситуации и прецедентов выделяется поддерево в иерархии свойств, содержащее сравниваемые узлы, и вычисляются уровни этих узлов. Глобальная мера сходства вычисляется путём сложения локальных мер сходства, откорректированных весами, заданными экспертом. Устанавливается порог значимости мер сходства и пользователю выдаются только те прецеденты, чьи значения глобальных мер сходства выше определённого порога.

На рисунке 3 показан фрагмент кода программы, реализующей алгоритм поддержки принятия решений на основе прецедентов.

```

function find() {
    $params = array();
    $sim = $_POST['similarity'];
    if (isset($_POST['dinamic']))
        $params["dinamic"] = $_POST["dinamic"];
    if (isset($_POST["criteria"]))
        $params["criteria"] = $_POST["criteria"];
    if (isset($_POST["LPR"]))
        $params["lpr"] = $_POST["LPR"];
    if (isset($_POST["neprer"]))
        $params["continue"] = $_POST["neprer"];
    if (isset($_POST["opred"]))
        $params["determination"] = $_POST["opred"];
    if (count($params) > 0) {
        $foundPrec = array();
        $precedents = Precedents::findAll();
        if (count($precedents) > 0)
            foreach ($precedents as $precedent) {
                foreach ($params as $param => $val) {
                    if (!isset($precedent->$param)) {
                        $precedent->$param = new Individuals();
                        $precedent->$param->name = null;

                        $precedent->$param->setSim($val, $sim);
                        $precedent->$param->weight = 0.2;
                    }
                    $precedent->setSim($sim);
                    if ($precedent->sim > 0.5)
                        array_push($foundPrec, $precedent);
                }
            }
        if (count($foundPrec) > 0) {
            for ($i = 0; $i < count($foundPrec); $i++) {
                for ($j = 0; $j < count($foundPrec); $j++) {
                    if ($foundPrec[$i]->sim > $foundPrec[$j]->sim) {
                        $min = $foundPrec[$j];
                        $foundPrec[$j] = $foundPrec[$i];
                        $foundPrec[$i] = $min;}}}
            require_once('views/find/findAllResults.html');
        }
    }
}
else {index();}}
```

Рисунок 3 – Фрагмент программы, реализующей алгоритм поддержки принятия решений

По результатам принятия решения с использованием предлагаемых системой прецедентов применения тех или иных моделей, методов и алгоритмов аналитической поддержки при-

нятия решений производится оценка качества работы ИСС. Она представляет собой взвешенную оценку, данную членами КПР с учетом опыта и квалификации ЛПР.

Алгоритм реализован в виде совокупности web-сервисов, которые могут использоваться для интеллектуальной и информационной поддержки специалистов в области управления взаимодействием сложных процессов.

Программная реализация допускает два уровня хранения знаний – непосредственно в форме онтологической структуры и в форме реляционной базы данных. Онтологическая структура реализована с использованием возможностей языков XML и OWL для описания базовых структур классов и индивидов, а также языка SWRL – для описания правил построения динамических связей между индивидами.

База данных, хранящая фиксированный упрощенный вариант онтологической структуры и обеспечивающая более быстрый доступ к хранимым знаниям, функционирует на основе СУБД Microsoft SQL Server для хранения концептуальной иерархии прецедентов (рисунок 1). Использование базы данных позволяет за счет некоторого снижения гибкости обеспечить возможность ускорения взаимодействия с базой знаний.

Заключение

Реализация и применение предлагаемой интеллектуальной советующей системы обеспечит повышение эффективности управления взаимодействием сложных процессов в проблемных ситуациях, в особенности при управлении инновационными проектами, за счет оказания информационно-аналитической поддержки принятия решений на основе интегрированного описания проблемных ситуаций, системного сочетания знаний и опыта экспертов, результатов математического и имитационного моделирования.

Благодарности

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ № 16-08-00575 «Интеллектуальные методы многокритериальной диагностики состояний сложных технических систем и технологических процессов» и № № 14-08-97023-р_поворотье_a «Интеллектуальная поддержка принятия решений при управлении инновационными проектами на основе обработки знаний и математического моделирования».

Список литературы

- [1] Spinning the Semantic Web. Bringing the World Wide Web to Its Full Potential. Edited by Dieter Fensel, James A. Hendler, Henry Lieberman and Wolfgang Wahlster. Foreword by Tim Berners-Lee. The MIT Press, Cambridge, Massachusetts, London, England, 2003, 503 pp.
- [2] ГОСТ ISO 9001-2011. Межгосударственный стандарт. Системы менеджмента качества. Требования" (введен в действие Приказом Росстандарта от 22.12.2011 N 1575-ст).
- [3] Достоверный и правдоподобный вывод в интеллектуальных системах / Под ред. В.Н. Вагина, Д.А. Постелова. – 2-е изд., испр. И доп. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. – 712 с.
- [4] Поддержка принятия решений при стратегическом управлении предприятием на основе инженерии знаний /под редакцией Черняховской Л.Р. – Уфа: Гилем, 2010. – 180 с.
- [5] Черняховская Л.Р., Малахова А.И., Владимирова И.П. Синергетические эффекты в управлении взаимодействием деловых процессов на основе менеджмента качества и обработки знаний // Материалы XVII Международной конференции «Проблемы управления и моделирования в сложных системах», 22 - 25 июня 2015 г. – Самара: Институт проблем управления сложными системами РАН, 2015. С. 406–413.
- [6] Черняховская Л.Р., Малахова А.И. Разработка моделей и методов интеллектуальной поддержки принятия решений на основе онтологии организационного управления программными проектами // Онтология проектирования. - 2014. – № 4 (10). - С. 42–50.

**ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ АНАЛИЗА И ПРОЕКТИРОВАНИЯ
ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ МОНИТОРИНГА
СОСТОЯНИЯ КРУПНОМАСШТАБНЫХ ИНФРАСТРУКТУРНЫХ ОБЪЕКТОВ
НА ОСНОВЕ СОГЛАСОВАННОГО ИНДУКТИВНОГО ВЫВОДА
В МНОГОУРОВНЕВЫХ СИСТЕМАХ КАТЕГОРНЫХ МОДЕЛЕЙ**

В.И. Батищев, Н.Г. Губанов

Самарский государственный технический университет
443100, Самара, ул. Молодогвардейская, 244, Россия

vib@list.ru

Тел: (846)337-13-71, (846)337-12-74

Ключевые слова: промышленная инфраструктура, транспортная система, системное моделирование, категорные методы.

Abstract

The article presents the methods of analysis and design of information systems for monitoring the conditions of large-scale infrastructure projects, through the formation of knowledge systems, generating instances of system models with specified targets. The purpose of the study is to develop a comprehensive methodology for multi-level information systems analysis and design of large-scale state assessment of industrial infrastructure, based on structured sets of categorical models. Objectives of the study are: building of categoria-functors methods of system modeling and, on this basis, a formal description of the parametric data, structural and semantic levels; development of methods and algorithms for inductive inference for multilevel data; the establishment of methods and algorithms of the multilevel interaction of inductive inference. The results are determined by a formal methodology which management of large-scale infrastructure systems for design and operational stages of the life cycle, which is the basis of automation in information systems management and monitoring infrastructure. This technique is actually a software job to form a knowledge base system with subsequent possibility of broadcast solutions to development challenges, optimize the structure, schedules, operational management of traffic and so the formal apparatus of reporting data, System Modelling and knowledge of parametric, structural and semantic levels, by including different categories of generalized computational models in production system of situational processing.

Введение

Современные требования к информационным системам управления в промышленности, активное развитие информационно - коммуникационной среды, а также тенденции к интеграции данных систем управления во многом обуславливают активные работы по созданию интеллектуальных систем управления крупномасштабных объектов.

Такие проекты как умное предприятие, интеллектуальные транспортные системы, умный город, умные сети требуют новых принципов системного анализа, управления, моделирования.

Данные проекты во многом переживают этап становления, что объясняет многообразие предлагаемых подходов и методологий для их поддержки. Однако прослеживаются некоторые тенденции в построении и эксплуатации данных систем, такие как активное использование знаний в процессах принятия решений, единство подходов и комплексная поддержка на всех этапах жизненного цикла системы от анализа предметной области, проектирования, до целевой эксплуатации и адаптации (обучения); сценарный подход в процессах управления и принятия решений.

1 Системные особенности анализа состояния крупномасштабных инфраструктурных систем

Интегрированные многоуровневые системы поддержки принятия решений (напр. OLAP online analysis processing) производственными процессами, технологическим оборудованием, транспортно – логистической системой, инженерными и коммуникационными сетями, бизнес процессами, конструкторско–технологической документацией требуют системной модели объекта анализа, которая в силу характеристик ОА также является сложной системой. В данных условиях можно выделить информационно-аналитические системы анализа состояния крупномасштабных инфраструктурных промышленных систем (ИАС КИПС), являющиеся основным средством и инструментом системных исследований в данной области. Кроме того, современные требования к характеристикам систем данного класса, когда эффективное формирование и отбор технических и организационных решений требует анализа десятков тысяч параметров [1-3], кроме того зачастую необходима не просто оценка отдельных параметров, а некоторой топологической структуры, что накладывает дополнительные сложности, показывают, что методы так или иначе связанные с упрощением (усреднением) общесистемных характеристик не приносят приемлемых практических результатов. В качестве некоторого обобщения основных источников, формирующих информационное пространство, можно назвать: данные на выходе ИИС; известные закономерности – заложенные в техдокументации, где данными являются объективные законы реального мира, накопленные в фактографических и документальных системах; выявленные закономерности, в частности имитационные модели. Каждый из источников в настоящее время является информационной основой для соответствующих направлений системного анализа, моделирования и управления сложными системами. Однако каждый вид ресурса обладает рядом принципиальных ограничений, существенно су-жающих область его применения, в тоже время есть существенные предпосылки для системной интеграции перечисленных ресурсов.

Уникальность и единичность изготовления систем данного класса, принципиальная многоуровневость процессов, происходящих в системе, её высокая размерность требует поиска новых подходов по комплексированию разнородных, разноуровневых моделей. Эта задача тесно связана с вопросами поиска универсальных критериев оценки моделей, процедур квалиметрии моделей, таких как построение порядка, сравнение моделей и т.п., а также поиска конструктивного формального аппарата унифицирующего описание моделей, а также являющегося основой для процедур структурирования, формирования баз знаний, отбора моделей.

Обобщение приложений ИАС КИПС для различных предметных областей, приводит к виду $kips = \langle i, s, p \rangle$, где i - потребители инфраструктуры, s - транспортная сеть, p - поток. Комбинация отношений между данными структурами определяет вид задач управления на различных этапах жизненного цикла (оперативного управления, реконструкции, развития, модернизации).

ИАС КИПС являются основным инструментарием анализа системного состояния и управления, в основе которых лежит имитационная модель S_{kunc} . Наблюдение за системным состоянием КИПС сводится к наблюдению за вычислительным процессом в S_{kunc} ИАС КИПС.

Специфика предметной области демонстрирует следующие системные особенности: большая размерность, модульность, все это приводит к непреодолимым ограничениям в поддержании гомеостаза созданных систем с одной стороны и принципиальную возможность поиска регулярности на различных уровнях системы.

Прослежена тенденция к эволюции от вычислительной модели к обучающейся системе. Обзор тенденций развития интеллектуальных систем управления демонстрирует, что одним из перспективных путей развития ИАС КИПС являются сложные системы распознавания. Системы данного класса широко применяются в системах распознавания сенсорной информации, где анализируются многомодальные данные, в частности речевая и текстовая информация; анализ семантической информации, системы очувствления и т.д. Практика реализации данных

систем основана на достаточно проработанных научных методологиях совместного распознавания данных различных модальностей. В работе приводится анализ ряда реализованных систем подобного класса. Несмотря на возможность проследить методологические параллели между данными системами и КИПС, последняя имеет существенную специфику. Возможность выделения фрагментов системной модели, однако, в зависимости от его положения, других факторов целевые параметры, как правило совершенно различны. На таких масштабах для поддержания соответствия модели и объекта использование жесткой программной модели приводит к существенному росту числа точек контроля.

Проблема конструктивного аппарата представления знаний является одной из центральных при создании интеллектуальных систем. Она тесно связана с вопросами выбора концепций системного моделирования, применяемых интеллектуальных технологий обработки данных, специфики объекта и целей моделирования. Анализ существующих, на данный момент, разработок в этой области демонстрирует тренд на интеграцию методов представления знаний.

Целый ряд работ посвящён различным комбинациям методов представления знаний, основанных на синтезе: нейросетевых технологий; нечётких моделей; производственных систем; семантических сетей и т.д.. В частности, в предыдущих исследованиях, автором был разработан метод представления и обработки знаний, основанный на синтезе производственных и фреймовых моделей, где в формальной производственной системе, в качестве множества входных и выходных литералов используется динамическая, иерархически организованная фреймовая сеть. Научно-методологические и технологические тенденции к интеграции информации определяют поиск научных подходов, позволяющих с единых позиций подходить к вопросам моделирования систем.

2 Категорные методы многоуровневого представления знаний крупномасштабных инфраструктурных систем

Анализ средств представления данных для формирования многомодельных комплексов показал перспективу использования категорно-функционального аппарата, который основываясь на гомоморфном (структурно эквивалентном) отображении, позволяет описывать объекты инвариантно их внутренней структуре через морфизмы (отличия) их друг от друга.

В категориях свойства объектов могут быть сформулированы целиком на языке гомоморфизмов. Анализ категорийных структур направлен на выявление свойств различных классов, объектов, категорий (моделей) посредством функциональных преобразований; сведение исследования объектов одного класса к исследованию объектов другого класса. Известны пре-небрегающие (забывающие) и конструктивные функции, позволяющие осуществлять обогащение или упрощение логической структуры объектов, решая задачу композиции или декомпозиции. Описанная в ряде работ теория категорных производственных систем позволяет формировать в терминах категорий понятийную систему ситуационного описания предметной области, представлен аппарат обработки и преобразования и выстраивания порядка в системах производств. Данная методология помогает концептуально подвести методическую базу под формальные определения многоуровневого описания состояний системы, инкапсулировать множества состояний, а также выстраивать порядок на множестве образцов. В то же время полноценное решение, поставленных в работе научно-технических задач предполагает обогащение концептуальных методик многоуровневыми моделями крупномасштабных инфраструктурных систем, методами и алгоритмами их трансформации и взаимодействия.

Многоуровневость предполагает выстраивание порядка на структуре объектов. Методы и алгоритмы индуктивного вывода существенного отличаются друг от друга в зависимости от уровня обрабатываемых данных.

Индуктивный вывод [8], в сложных системах позволяет строить обобщенные модели знаний, основан на построении некоторого общего правила на основании анализа конечного множества наблюдаемых фактов. Качество обобщённых моделей зависит от полноты набора фактов, которым он пользуется при формировании гипотез. Процедурно, процесс индуктивного вывода сложноформализуем и заключается в машинном построении новых гипотез на основе наблюдаемых фактов.

Комплексная обработка информации в современных информационно-вычислительных системах проходит в несколько этапов: сбор априорной информации и формирование модели данных; структуризация собранных моделей и формирования баз знаний; формирование многомодельной структуры объекта анализа; формирование множества алгоритмов вычисления целевых параметров. В соответствии с целями исследования построен формально-математический аппарат на основе категорного подхода, инвариантный к видам обрабатываемой информации и этапам обработки данных. Определена категория модельных описаний (обобщённых вычислительных моделей), где в качестве объектов категории определены вычислительные модели. Концептуально, функционирование интеллектуальной системы, основанной на знаниях, заключается во взаимодействии трех информационных структур [4, 5] (модельных описаний): детализация системы знаний, содержащей комплекс образцов модельных описаний, при помощи системы измерительной информации, генерируется экземпляр состояния системы с последующей его, автоматизированной или экспертной интерпретацией. В ряде работ обосновывается утверждение, которое поддерживается спецификой ИАС КИПС, что структурно, данные информационные структуры эквивалентны, т.к. являются вариантом образа одного физического объекта (КИПС/ фрагмент КИПС) соответственно вышеизложенную схему взаимодействия можно можно интерпретировать как обработку экземпляров состояния системы. Выделены категории уровневого описания: категория параметрического уровня; категория топологического уровня; категория морфологического уровня.

Задача анализа базируется на реализации жизненного цикла обработки знаний и заключается в поэтапной процедуре выделения, обобщения, отчуждения и последующего использования знаний КИПС. Задачи индуктивного вывода реализуются на системной модели ИАС КИПС, и заключаются в процедурах формирования (отбора) системных образцов заданного уровня и заданного показателя обобщения в результате обобщения системных ситуаций заданного уровня [6-8]. Специфика данной процедуры с точки зрения распознавания, как научного направления, определяется особенностями предметной области и заключается в высокой вычислительной мощности задачи, необходимостью введения интерпретирующих процедур индуктивных алгоритмов разного рода. Стратегия решения перечисленных задач сводится в искусственно выстраиванию сложноорганизованной, многоуровневой иерархической структуры, что, в итоге, приводит к переходу от экспоненциальной сложности к полиномиальной. Дано формальное определение следующих задач индуктивного вывода на категорных моделях ИАС КИПС [9-11]: распознавание без обучения; грамматический разбор (parsing); обучение с учителем; задача восстановления грамматик; обучение без учителя. На основе комбинаций перечисленных методов были построены алгоритмы обработки знаний, в частности, сопоставление системной ситуации структурного уровня с образцом, формирование системы образцов на основе восстановления грамматик системных ситуаций структурного уровня, анализ системных образцов семантического уровня.

Заключение

Разработаны методы многоуровневого анализа, обработки знаний, заключающиеся в поэтапной процедуре выделения обобщения и адаптации системных моделей, а формирование баз знаний в выстраивании порядка на структурах системных образцов. В основе метода лежит комбинация разноуровневых алгоритмов индуктивного вывода: сопоставление системной

ситуации параметрического уровня с образцом на основе дискриминантных методов классификация без обучения, и заключается в подборе системного образца по заданной системной ситуации; автоматическое формирование системы образцов на основе кластеризации системных ситуаций параметрического уровня; сопоставление системной ситуации структурного уровня с образцом на основе грамматического разбора; формирование системы образцов на основе восстановления грамматик системных ситуаций структурного уровня; анализ системных образцов семантического уровня, выстраиванием деревьев решений.

Благодарности

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 16-08-00676 А).

Список литературы

- [1] Батищев В.И. Методы автоматизации формирования информационных систем транспортного моделирования [Текст] / В.И. Батищев, Н.Г. Губанов // Актуальные проблемы автотранспортного комплекса: межвузовский сб. научных статей. – Самара: Самар. гос. тех. ун-т. 2010. С. 182 – 185.
- [2] Батищев В.И. Аппроксимационные методы и системы промышленных измерений, контроля, испытаний, диагностики [Текст] / В.И.Батищев, В.С.Мелентьев. -М.: Машиностроение-1, 2007. - 393 с.
- [3] Охтилев М. Ю.Интеллектуальные технологии мониторинга и управления структурной динамикой сложных технических объектов [Текст] / М. Ю. Охтилев, Б. В. Соколов, Р. М. Юсупов. - М.: Наука, 2006. - 410 с.
- [4] Стефанюк В.Л. Сотрудничающий компьютер[Текст] / В.Л.Стефанюк, А.В. Жожикашвили - М.: Наука, 2007. - 274 с.
- [5] Батищев В.И. Аппликативно-категорные методы адаптивного формирования информационных систем анализа состояния сложных технических объектов [Текст] / В.И. Батищев, Н.Г. Губанов // Проблемы управления и моделирования в сложных системах: Тр. XI Международ. конф. – Самара: СНЦ РАН, 2008. – С. 186-190.
- [6] Батищев В.И. Методы адаптивного формирования информационных систем анализа состояния сложных технических объектов [Текст] / В.И. Батищев, Н.Г. Губанов Прикладная информатика №6(24) 2009, С. 152 - 156.
- [7] Батищев В.И. Категорные методы комплексного представления и структуризации разнородных данных в информационных системах анализа сложных объектов [Текст] / В.И. Батищев, Н.Г. Губанов // Проблемы управления и моделирования в сложных системах: Тр. XII Международ. конф. – Самара: СНЦ РАН, 2010. – С. 263-267.
- [8] Потапов А.С. – Распознавание образов и машинное восприятие: Общий подход на основе принципа минимальной длины описания [Текст] / А.С. Потапов. – СПб.: Политехника, 2007. – 548 с.: ил.
- [9] Губанов Н.Г. Категорный подход при формировании полимодельных комплексов сложных систем [Текст] / Н.Г.Губанов // Вестник Самар. гос. техн. ун-та. Сер. Технические науки. 2008. Вып. 1 (21) С. 183 - 185.
- [10] Батищев В.И. Методология оперативной реструктуризации информационных систем анализа состояния сложных технических объектов [Текст] / В.И. Батищев, Н.Г. Губанов // Проблемы управления и моделирования в сложных системах: Тр. X Международ. конф. – Самара: СНЦ РАН, 2008. – С. 176-180.
- [11] Губанов Н.Г. Концепция разработки информационной системы поддержки принятия решений при управлении сложными техническими системами/ Губанов Н.Г., Чуваков А.В. //Вестн. Сам гос. техн. ун-та. Сер. "Технические науки". – Самара: СамГТУ. – 2013. - №3(39). - С. 21-31

ИСЛЕДОВАНИЕ АППРОКСИМАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ БАЗИСОВ В ЗАДАЧАХ РЕКОНСТРУКЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ ПРИ ДИСТАНЦИОННОМ ЗОНДИРОВАНИИ ЗЕМЛИ

В.И. Батищев, И.И. Волков, А.Г. Золин

Самарский государственный технический университет
443100, Самара, ул. Молодогвардейская, 244, Россия
vib@list.ru
тел: +7 (846) 337-12-74

Ключевые слова: аппроксимация, базисная функция, модель.

Abstract

The results of the study of approximation properties of various basic functions used to solve the problem of the reconstruction of blurred images obtained by Earth remote sensing. The aim is to improve the choice of the basis for the restoration algorithms based on approximation approach.

Введение

Восстановление сигналов и реконструкция искаженных или расфокусированных изображений актуальны в различных областях информационно-измерительной техники, обработки и анализа экспериментальных данных, в частности, в приложениях к дистанционному зондированию и высокодетальному наблюдению Земли [1, 2].

В настоящее время известны различные подходы к решению данной задачи. Так, в статье [1], рассматриваются алгоритмы построения моделей, восстанавливающих цифровых КИХ-фильтров с использованием критерия моментов для трех видов базисных функций: полиномиальных, экспоненциальных и тригонометрических. В статье [2] представлен аппроксимационный подход к решению обратных задач восстановления смазанных изображений в базисе экспоненциальных функций.

Несмотря на то, что на данный момент аппроксимационные методы разработаны достаточно полно, при решении конкретных прикладных задач встают вопросы, связанные с обоснованием и выбором: вида модели, критерия соответствия модели оцениваемой функции и системы базисных функций [3-5].

Как известно, системы базисных функций могут быть либо выбраны из множества известных, либо сформированы по определенной методике под решаемую задачу. Решение проблемы формирования базисной системы, согласованной с априорной информацией и физической сущностью явлений, позволит повысить точность и достоверность результатов оценивания. В данной статье рассматривается построение модели в системе базисных функций, представляющих собой выборку случайных величин с заданным распределением, соответствующим распределению оцениваемой функции.

Описание алгоритма

Для экспериментально полученной дискретной зависимости $f(m)$, $m=0, N-1$ требуется найти модель

$$(1) \quad \hat{f}(m) = \sum_{k=0}^p C_k x_k(m),$$

где C_k – коэффициенты модели, вычисленные по условию минимума квадратической погрешности

$$(2) \quad \delta = \sum_{m=0}^{N-1} (\hat{f}(m) - f(m))^2.$$

Значение погрешности δ зависит от параметров модели C_k и от вида базисных функций $x_k(m)$. В качестве базисных функций $x_k(m)$ предлагается взять выборку случайных величин с заданными параметрами распределения.

Для решения задачи перейдем от базисных функций $x_k(m)$ к функциям $\Psi_k(m)$ по правилу

$$(3) \quad x_k(m) = \sum_{v=0}^k C_{k,v} \Psi_v(m),$$

где значения $C_{k,v}$ будем выбирать так, чтобы функции $\Psi_k(m)$ были ортогональными, то есть чтобы выполнялось условие

$$(4) \quad \sum_{m=0}^{N-1} \Psi_v(m) \Psi_k(m) = 0, \quad v \neq k.$$

Для этого будем использовать процедуру ортогонализации Грама-Шмидта.

Подставив $x_k(m)$ из (3) в (1), получим:

$$(5) \quad \hat{f}(m) = \sum_{v=0}^p \beta_v \Psi_v(m),$$

где:

$$(6) \quad \beta_v = \sum_{k=v}^p C_k C_{k,v}.$$

Теперь из соотношения (2) находим, что погрешность будет минимальной, если

$$(7) \quad \beta_v = \frac{1}{\Phi_v} \sum_{m=0}^{N-1} f(m) \Psi_v(m),$$

где:

$$(8) \quad \Phi_v = \sum_{m=0}^{N-1} \Psi_v^2(m).$$

Минимальное значение погрешности при этом будет равно

$$(9) \quad \delta_{\min} = \sum_{m=0}^{N-1} f(m)^2 - \sum_{k=0}^p S_k.$$

Здесь:

$$(10) \quad S_k = \beta_k^2 \Phi_k.$$

Нетрудно видеть, что для уменьшения погрешности δ_{\min} , k -ую базисную функцию следует выбирать так, чтобы $S_k \rightarrow \max$.

На основании вышеизложенного и используя процедуру ортогонализации Грама-Шмидта, получаем следующий алгоритм:

$$(11) \quad \Psi_0(m) = -1$$

$$(12) \quad \Phi_0 = N$$

$$(13) \quad C_{k,v} = \frac{1}{\Phi_v} \sum_{m=0}^{N-1} x_k(m) \Psi_v(m), \quad v = \overline{0, k-1}$$

$$(14) \quad \Psi_k(m) = x_k(m) - \sum_{v=0}^{k-1} C_{k,v} \Psi_v(m)$$

$$(15) \Phi_k = \sum_{m=0}^{N-1} \Psi_k^2(m)$$

$$(16) \beta_k = \frac{1}{\Phi_k} \sum_{m=0}^{N-1} f_m \Psi_k(m)$$

Для заданного k выбирается такая последовательность случайных чисел $x_k(m)$, при которой значение S_k максимально.

$$S_k = \beta_k^2 \Phi_k \rightarrow \max, k = \overrightarrow{0, p}$$

Затем на основании соотношения (7) определяются коэффициенты

$$C_v = \beta_v - \sum_{k=v+1}^p C_{k,v} C_k, v = \overrightarrow{p, 0}.$$

Полученные коэффициенты используются в (1) для построения модели.

Апробация алгоритма

Для апробации алгоритма было взято тестовое изображение, полученное в результате дистанционного зондирования Земли, и построены модели по формуле (1) с использованием различных систем базисных функций: полиномиальных, экспоненциальных и синтезированных по алгоритму (11) – (16).

Для оценки качества полученных моделей, была вычислена относительная среднеквадратическая погрешность (ОСП) по формуле

$$\Delta = \sqrt{\frac{\sum_{m=0}^{N-1} (\hat{f}(m) - f(m))^2}{\sum_{m=0}^{N-1} f(m)^2}}$$

Результаты приведены в таблицах 1, 2 и 3. Здесь Р - порядок модели, N – количество точек оцениваемой функции.

Таблица 1 - Результаты аппроксимации в системе экспоненциальных базисных функций

P \ N	10	15	20	25	30
5	0.03225	0.02444	0.06422	0.08779	0.1028
9	0.003482	0.01142	0.03294	0.03743	0.0554
14		0.06213	0.05496	0.04668	0.04372
19			0.06162	0.06219	0.06626
29					0.02014

Таблица 2 - Результаты аппроксимации в системе полиномиальных базисных функций

P \ N	10	15	20	25	30
5	0.02572	0.02281	0.05506	0.07849	0.08912
9	3.34e-07	0.02108	0.02671	0.03871	0.04504
14	-	0.04131	0.05635	0.06543	0.06292
19	-	-	0.04981	0.05763	0.05432
29	-	-	-	-	0.02067

Таблица 3 - Результаты аппроксимации в системе базисных функций по алгоритму (11)

P\N	10	15	20	25	30
5	0.005162	0.01605	0.05834	0.05735	0.08614
9	1.786e-13	0.004244	0.008053	0.03076	0.02978
14	-	3.484e-13	0.0004924	0.002921	0.01177
19	-	-	8.478e-11	0.0002685	0.005382
29	-	-	-	-	2.259e-13

Заключение

В результате исследований был поучен простой в реализации алгоритм формирования базисных функций, представляющих собой выборку случайных величин с заданным распределением, соответствующим распределению оцениваемой функции. Приведенные результаты построения моделей фрагментов изображений показали, что данный подход дает меньшую погрешность аппроксимации по сравнению с полиномиальными и экспоненциальными функциями.

Список литературы

- [1] Батищев В.И., Волков И.И., Золин А.Г. Синтез двумерных обратных фильтров для решения задач восстановления изображений // Проблемы управления и моделирования в сложных системах: Труды XVII Международной конференции / Под ред.: акад. Е.А. Федосова, акад. Н.А. Кузнецова, проф. В.А. Виттиха. – Самара: СНЦ РАН, 2015. – 736 с. (С. 690 – 693).
- [2] Батищев В.И., Волков И.И., Золин А.Г. Аппроксимационный подход к решению обратных задач восстановления сигналов в базисе экспоненциальных функций // 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. – 756 с. (С. 678 – 681).
- [3] Алгоритмы и программы восстановления зависимостей / Под ред. В.Н. Вапника. – М.: Наука, 1984. 816с.
- [4] Батищев В.И., Мелентьев В.С. Аппроксимационные методы и системы промышленных измерений, контроля, испытаний, диагностики. – М.: Машиностроение, 2007. – 393с.
- [5] Батищев В.И., Золин А.Г., Косарев Д.Н., Романеев А.Е. Аппроксимационный подход к решению обратных задач анализа и интерпретации экспериментальных данных // Вестник СамГТУ, сер. Технические науки. 2006, вып. №40, с. 57-65.

Biography

Vitaly I. Batishchev (Dr. Sci. (Techn.)), Professor, head of the department of “Information Technology”.

Igor I. Volkov (Ph.D. (Techn.)), Associate Professor of “Information Technology”.

Aleksey G. Zolin (Ph.D. (Techn.)), Associate Professor of “Information Technology”.

ВЕРИФИКАЦИЯ КОММУНИКАЦИОННЫХ ПРОТОКОЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВРЕМЕННЫХ РАСКРАШЕННЫХ СЕТЕЙ ПЕТРИ

А.А. Степенеко, В.А. Непомнящий

Институт систем информатики СО РАН
630090, Новосибирск, пр. Академика Лаврентьева, 6, Россия
iis@iis.nsk.su
тел: +7 (383) 330-86-52, факс: +7 (383) 332-34-94

Ключевые слова: раскрашенные сети Петри, верификация, проверка моделей.

Abstract

Coloured Petri nets (CPN) are widely used for distributed systems modeling and analysis. Verification of timed CPN is an open problem. This paper presents a new method for verification of a wide class of timed CPN. The method is based on translation of CPN models to the input language Promela of SPIN verifier. A software tool CPNVer (CPN Verifier) which implements the method is also presented. Verification of PAR protocol is used as a case study.

Введение

Раскрашенные сети Петри (РСП) широко используются для моделирования и анализа распределённых систем, таких как коммуникационные протоколы. Разработаны программные средства, позволяющие проводить симуляцию и анализ РСП [1, 2]. Естественно, возникает проблема верификации РСП. Эта проблема для РСП без временных конструкций рассматривалась в работах [3, 4], где для её решения был предложен метод проверки моделей. Однако, верификация временных РСП является актуальной открытой проблемой, так как для временных РСП значительно увеличивается число состояний.

В нашей работе представлен новый метод верификации временных РСП, основанный на их трансляции во входной язык Promela системы SPIN [5, 6]. Также в работе описана программная система CPNVer (*Coloured Petri Nets Verifier*), реализующая данный метод. Эта система используется для автоматической верификации РСП и позволяет проверять свойства, представленные формулами линейной темпоральной логики LTL, а также некоторые поступления. Наш подход проиллюстрирован верификацией коммуникационного протокола PAR.

1 Раскрашенные сети Петри

Раскрашенная сеть Петри – это двудольный ориентированный граф. Его вершины называются местами и переходами. Каждый переход имеет множество входных мест, соединённых с переходом входящими дугами, и множество выходных мест, соединённых с переходом исходящими дугами. Модель включает набор типов данных и типизированных переменных. Для каждого места указан тип данных. Разметкой места является мульти множество значений типа данных, указанного для данного места. Разметка всех мест сети определяет состояние РСП. Начальное состояние задаётся начальной разметкой.

Переходы и дуги сети определяют её поведение. Каждой дуге приписано выражение на языке CPN ML. Для переходов могут быть определены выражения, называемые охранными условиями. Переменные, входящие в выражения на инцидентных переходу дугах, а также в его охранное условие, называются переменными перехода. Переход называется допустимым, если существует такой набор значений переменных перехода, при котором охранное условие имеет значение true, а для каждой входной дуги значение выражения на этой дуге является

элементом или подмножеством разметки соответствующего места. В состоянии, когда переход является допустимым, он может сработать. Срабатывание перехода приводит к изменению состояния, при котором из разметки входных мест перехода значения извлекаются, а в разметку выходных мест значения добавляются. Значения выражений на дугах определяют значения, которые будут извлечены или добавлены. Если существует несколько допустимых переходов, то срабатывает один из них, который выбирается недетерминированно.

Понятие времени в РСП моделируется с использованием временных типов данных. Для значения такого типа данных задана неотрицательная временная задержка, определяющая момент времени, раньше которого данное значение не может быть использовано при срабатывании перехода. В состояние временной РСП помимо разметки мест входит также счётчик времени, который увеличивается в том случае, если нет допустимых переходов. Выражения на дугах могут содержать оператор увеличения временной задержки, который прибавляет к текущему моменту некоторое неотрицательное значение.

Мы рассматриваем РСП, использующие следующие типы данных: булевские, целые числа, перечисления, вырожденный тип UNIT, списки, а также кортежи и записи.

Количество значений, входящих в разметку места, назовём ёмкостью этого места. Мы рассматриваем РСП, для которых ёмкость мест ограничена заданной константой. Также ограничена константой максимальная длина списков, входящих в разметку мест.

2 Язык Promela

Promela – это входной язык системы верификации SPIN [5, 6]. Синтаксис Promela близок к синтаксису современных языков программирования, например, таких как C. В этом разделе приведено описание тех конструкций языка Promela, которые используются транслятором.

Основным понятием языка Promela является процесс, представляющий поток управления. Код процесса — это последовательность исполняемых инструкций. Такими инструкциями могут являться присваивание значения переменной, условный или недетерминированный выбор, переход на метку (goto). Атомарно исполняющиеся блоки позволяют группировать инструкции, скрывая промежуточные состояния. Язык Promela позволяет включать проверки утверждений (assert), а также вставки на языке C. Такие вставки позволяют использовать функции и типы данных, характерные для C, причём каждая вставка кода является атомарно исполняющейся инструкцией.

Состояние программы на языке Promela определяется совокупностью значений её переменных и указателей на текущие исполняемые инструкции для каждого из процессов. Переменные языка C могут быть включены в состояние, однако их количество должно быть определено до того, как начнётся верификация, в частности невозможно использовать указатели на динамически выделенную память как часть состояния.

При верификации SPIN выполняет программу на языке Promela. При недетерминированном выборе система запоминает текущее состояние и последовательно рассматривает все возможные варианты. Чтобы избежать повторного посещения состояний, система сохраняет посещённые состояния. Верификация заканчивается, если все состояния были рассмотрены либо была обнаружена ошибка.

3 Алгоритм трансляции

Алгоритм трансляции получает на вход внутреннее представление РСП, которое состоит из модели сети, набора типов данных и набора переменных. Результатом трансляции является программа на языке Promela, содержащая единственный процесс, который моделирует поведение исходной РСП. Этот алгоритм последовательно транслирует типы данных, места и переходы. Далее в этом разделе мы рассмотрим этапы работы алгоритма. Подробное описание алгоритма трансляции приводится в работе [7].

3.1 Трансляция типов данных

Типы данных РСП транслируются в типы данных языка С. Целые числа, булевские, перечисления и тип UNIT транслируются в целые числа. Кортежи и записи РСП транслируются в структуры с соответствующими наборами полей, списки транслируются в структуры, содержащие массив для хранения элементов списка, и целочисленную переменную для хранения его длины. Временные типы транслируются в структуры с двумя полями. Одно поле используется для хранения значения, а другое содержит временную задержку.

3.2 Трансляция мест

Места транслируются в переменные языка С, позволяющие хранить мультимножества над соответствующими типами данных. Для работы с переменными, в которые были транслированы места, определяются функции, позволяющие добавлять и удалять, а также перебирать элементы мультимножества.

Для таких типов данных, как булевские, перечисления и UNIT, типом переменной, представляющей мультимножество, является структура, содержащая массив счётчиков вхождений каждого из значений типа данных. Для прочих типов данных переменная, представляющая мультимножество, является структурой из двух полей. Одно поле является массивом, в котором хранятся входящие в набор значения, а другое — является целочисленной переменной и содержит количество элементов мультимножества. Чтобы избежать неоднозначности представления элементы массива хранятся упорядоченно, а неиспользованная часть массива содержит значения специального вида.

В начале работы программы инициализирует переменные, соответствующие местам РСП, значениями, транслированными из выражений начальной разметки. Трансляция выражений рассматривается в подразделе 3.4.

3.3 Трансляция переходов

Каждый переход транслируется в два фрагмента кода программы. Первый фрагмент кода осуществляет проверку допустимости перехода в текущем состоянии. Для того чтобы проверить это, рассматриваются все входные места перехода. Для каждого из этих мест происходит перебор значений, входящих в разметку. При этом значения недоступные в текущий момент времени исключаются из рассмотрения. Каждый элемент разметки рассматривается как возможное значение выражения на входящей дуге, и по нему программа определяет значения некоторых переменных перехода. Если значения этих переменных удаётся определить, то при них вычисляется охранное условие перехода, а также проверяется то, что для каждого входного места перехода верно, что его разметка содержит те значения, которые получаются при вычислении выражения на соответствующей дуге. Если охранное условие перехода принимает значение true, и условие для разметки входных мест выполняется, то программа опознаёт допустимый переход и сохраняет значения его переменных, чтобы в дальнейшем смоделировать его срабатывание. После этого возможны два варианта: либо программа переходит к моделированию срабатывания перехода, либо продолжает поиск допустимых переходов, в том числе поиск других значений переменных, делающих допустимым данный переход. Выбор происходит недетерминированно.

Второй фрагмент кода моделирует срабатывание перехода, если он является допустимым. В этом фрагменте кода по значениям переменных, которые были определены первым фрагментом, вычисляются значения выражений на дугах, и согласно этим значениям изменяются значения переменных, соответствующих входным и выходным местам перехода. Если при срабатывании перехода оказывается, что в одном из его выходных мест превышено ограничение на максимальную ёмкость, то программа обнаруживает эту ошибку и прекращает работу. Обнаружение ошибки происходит с использованием конструкции assert.

При моделировании срабатывания перехода программа также печатает в поток вывода имя перехода и значения его переменных. В случае, если найдена ошибка, эта информация используется, чтобы получить последовательность исполнения исходной РСП, которая приводит к ошибке.

3.4 Трансляция выражений

При трансляции переходов, а также начальной разметки мест происходит трансляция выражений на языке CPN ML. Такие выражения транслируются в код на языке С. При этом дерево разбора выражения просматривается в направлении от листьев к корню, и происходит генерация кода, вычисляющего значения подвыражений. Этот код дополняется проверками того, что при выполнении действий не происходит ошибок времени исполнения, например, таких как деление на ноль. Если во время исполнения программы ошибка будет обнаружена, то вычисление выражения будет остановлено, а программа завершится. Верификация позволяет обнаружить такую ошибку, поскольку она проверяется с помощью конструкции assert.

Выражения на входящих дугах переходов могут быть использованы как для того, чтобы вычислять их значения, так и для того, чтобы по значению выражения найти значения переменных, когда выполняется проверка допустимости перехода. Для такого варианта использования выражения алгоритм трансляции обходит часть дерева разбора выражения в направлении от корня к листьям. Если в дереве встречается переменная, то происходит генерация кода, который присваивает ей значение соответствующего подвыражения. Если в дереве встречается оператор, не позволяющий однозначно определить значения своих аргументов по значению результата, то поддерево данного оператора не рассматривается. Таким образом могут быть определены значения части переменных, входящих в выражение.

3.5 Трансляция временных конструкций

Согласно семантике временных РСП изменение счётчика времени не происходит, пока срабатывают допустимые переходы. Если в некотором состоянии не было найдено допустимых переходов, то вместо срабатывания перехода происходит уменьшение всех положительных временных задержек на единицу. Такое изменение моделирует увеличение текущего значения счётчика времени, позволяя избавиться от включения этого счётчика в состояние программы. Таким образом, в программе временные задержки равны разности между моментом, когда значение может быть использовано и текущим моментом времени.

Если все временные задержки нулевые, и при этом отсутствуют допустимые переходы, то программа находится в конечном состоянии. В таких состояниях, если было задано постусловие, программа проверяет его с помощью конструкции assert. В качестве постусловия может быть использован предикат, зависящий от значений тех переменных, в которые были транслированы места.

3.6 Оценка числа состояний результирующей программы

Так как полученная в результате трансляции программа используется для верификации методом проверки моделей, возникает требование минимизации числа её состояний. Для этого код программы, осуществляющий поиск и срабатывание переходов, заключён в атомарно выполняющийся блок и поэтому не порождает промежуточных состояний. Этот код выполняется в цикле, каждая итерация которого моделирует срабатывание одного перехода. Помимо состояний, соответствующих состояниям исходной РСП, программа имеет два дополнительных состояния, возникающих из-за специфики языка Promela. Это начальное состояние, в котором переменные не инициализированы значениями, транслированными из выражений начальной разметки, и конечное состояние, в которое программа попадает, если не моделирует срабатывание ни одного из переходов. Таким образом, число состояний результирующей программы составляет $N+2$, где N — это количество состояний исходной РСП. Если для модели задано свойство, специфицированное LTL-формулой, то при верификации в программу включается

вспомогательный процесс, число состояний которого зависит от длины формулы. Если число состояний вспомогательного процесса равно K, то общее число состояний программы будет ограничено сверху значением $(N+2)*K$, так как состояние программы определяется состояниями всех её процессов, а процессы могут исполняться независимо.

4 Верификация протокола PAR

PAR — это протокол с подтверждением получения пакета и повторной передачей [8]. Он определяет работу системы, которая содержит процессы «отправитель» и «получатель». Процессы функционируют в ненадёжной среде. «Отправитель» отсылает «получателю» последовательность пакетов данных. Каждый пакет содержит бит чётности своего номера, который используется для проверки того, что полученный пакет не является повторно принятым. При принятии пакета «получатель» отсылает «отправителю» подтверждение о его получении. «Отправитель» использует таймер для повторной отправки пакета, если не получает подтверждение в течение определённого интервала времени.

Была проведена верификация РСП, моделирующих данный протокол с различными длинами последовательности пакетов. Работа таймера моделировалась с использованием временных конструкций. Проверялись следующие свойства:

1. Всегда выполняется предикат `received_prefix` «последовательность принятых пакетов является префиксом отправленной последовательности».

Это свойство представлено в виде следующей LTL-формулы:

`received_prefix`

2. Всегда, если «отправитель» посыпает пакет с, и в дальнейшем какой-либо пакет будет принят, то «получателем» будет принят и пакет с.

Представляющая это свойство LTL-формула имеет следующий вид:

`(sent_c -> ((◊ received) -> (◊ received_c)))`

Здесь предикат `sent_c` означает, что выполнен переход РСП, соответствующий началу отправки пакета с. Предикат `received` означает, что был выполнен переход, соответствующий приёму некоторого пакета, а предикат `received_c` — что был выполнен приём пакета с.

3. При завершении работы протокола длина последовательности принятых пакетов равна длине отправляемой последовательности пакетов.

Для проверки этого свойства был определён предикат, используемый в качестве постусловия.

Верификация с помощью системы SPIN показала, что данные свойства для моделей выполняются. В таблице 1 приведены сведения о работе верификатора.

Таблица 1 — Сведения о работе верификатора для моделей протокола PAR

Количество пакетов в последовательности	3	4	5
Число посещённых состояний модели	140	182	225
Число выполненных переходов	325	424	525
Объём использованной памяти, МБ	142	145	148
Время работы, секунд	0.06	0.07	0.09

Детали верификации протокола PAR содержатся в [9].

Заключение

В этой работе представлен новый метод верификации широкого класса РСП, включающего временные РСП. Применимость метода показана на примере протокола PAR. Верификация показала отсутствие ошибок для этого протокола. Также наш метод был использован в

работе [10], где с помощью системы CPNVer была найдена ошибка в UCM-спецификации сетевого протокола. Исправленная версия этого протокола успешно прошла верификацию.

Планируется дальнейшая оптимизация алгоритма трансляции и реализующей его системы верификации CPNVer с целью уменьшения размера используемой при верификации памяти, а также расширение класса РСП, верифицируемых этим методом.

Благодарности

Работа частично поддержана грантом РФФИ № 14-07-00401.

Список литературы

- [1] CPN Tools Homepage // <http://cpn-tools.org>
- [2] Jensen K., Kristensen, L. M. Coloured Petri nets: modelling and validation of concurrent systems, Springer, 2009
- [3] Evangelista S. High Level Petri Nets Analysis with Helena // Proc. ICATPN 2005, LNCS 3536, pp. 455-464, 2005
- [4] Kristensen L.M., Simonsen K.I.F. Applications of Coloured Petri Nets for Functional Validation of Protocol Designs // Proc. ToPNoC VII, LNCS 7480, pp. 56-115, 2013
- [5] Holzmann, G. J. The Spin model checker: primer and reference manual, Addison Wesley, 2003
- [6] SPIN – Formal Verification // <http://spinroot.com>
- [7] Степенко А. А., Непомнящий В. А. Верификация раскрашенных сетей Петри методом проверки моделей. Препринт 178 ИСИ СО РАН, Новосибирск, 2015
- [8] Таненbaum Э. Компьютерные сети. 5-е издание, Питер, 2012
- [9] Stenenko A.A. Verification of Coloured Petri Net Model of PAR Protocol // <https://bitbucket.org/Stirpar/par-protocol>
- [10] Vizovitin N.V., Nepomniashchy V.A., Stenenko A.A. Verifying UCM Specifications of Distributed Systems Using Colored Petri Nets // Cybernetics and Systems Analysis, 2015, Vol. 51, Issue 2, pp 213-222



Optimal control: Theory and Technique
Теория и техника оптимального управления

КОНСТРУКТИВНЫЕ МЕТОДЫ ОПТИМИЗАЦИИ УПРАВЛЯЕМЫХ СИСТЕМ С РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ

Э.Я. Рапопорт¹, Ю.Э. Плещивцева¹, А.Н. Дилигенская²

¹Институт 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

²Самарский государственный технический университет

443100, Самара, ул. Молодогвардейская, 244, Россия

Ключевые слова: система с распределенными параметрами, управляемость, оптимальное управление, параметрическая оптимизация, альтернативный метод, параметрическая идентификация.

Abstract

The approaches and methods for further development of applied theory of systems with distributed parameters are suggested to solve problems of open-loop controllability, construction of program optimization, analytical designing of automatic regulators and Inverse Heat-conduction problems.

Введение

Решение целого ряда базовых проблем теории управления техническими объектами отличается затруднениями принципиального характера применительно к системам с распределенными параметрами (СРП). Эти затруднения в основном связаны, во-первых, с необходимостью исследования управляемых процессов в бесконечномерном фазовом пространстве СРП и во-вторых, с обобщенным формализмом существующих теоретических схем, вынужденно абстрагирующихся от чрезвычайно широкого спектра характеризующихся глубокой спецификой качественных особенностей СРП различного технического назначения. Последнее обстоятельство приводит к представляющей самостоятельный интерес нестандартной проблеме «адаптации» общетеоретических результатов к каждому из исследуемых классов СРП, что требует существенного использования дополнительной информации о базовых закономерностях соответствующей предметной области.

В настоящей работе предлагаются некоторые возможные пути развития в указанном направлении прикладной теории управления техническими системами с распределенными параметрами.

1 Математические модели объектов управления

Функции состояния широкого класса объектов с распределенными параметрами описываются линейными пространственно многомерными уравнениями в частных производных праболического типа с внутренними и граничными управляющими воздействиями [1].

Эквивалентной формой таких представлений СРП является их описание бесконечной системой обыкновенных линейных дифференциальных уравнений первого порядка относительно модальных составляющих разложения управляемой величины в бесконечный сходящийся в среднем ряд по собственным функциям соответствующей краевой задачи [1].

Для нелинейных СРП может быть получено их точное описание в подобной форме теперь уже нелинейной системой обыкновенных дифференциальных уравнений, отличающихся от

моделей линейного приближения аддитивными составляющими, нелинейные зависимости которых от бесконечномерного вектора фазовых переменных однозначным образом априори фиксируются по виду дифференциального оператора исходных уравнений объекта в частных производных [2].

Все рассматриваемые далее задачи управления СРП формулируются применительно к получаемым указанным путем точным описаниям СРП в бесконечномерном фазовом пространстве модальных составляющих управляемой величины.

2 Программная управляемость систем с распределенными параметрами

Фундаментальная проблема управляемости динамических объектов оказывается наиболее сложной применительно к СРП, для которых ее значимость существенно возрастает ввиду неуправляемости пространственно-распределенных объектов в целом ряде практически встречающихся ситуаций относительно типичных для приложений требуемых конечных состояний, в том числе, по характерной причине их несогласованности с граничными условиями соответствующей краевой задачи.

Типичная задача управляемости по конечному состоянию СРП, рассматриваемая в условиях свободы выбора алгоритмов его достижения, сводится к бесконечномерной проблеме моментов с трудно проверяемыми достаточными условиями существования их решений. В связи с базовыми проблемами синтеза замкнутых систем управления, реализующих требуемую динамику процесса движения объекта к заданному целевому множеству, большое значение приобретает малоисследованная модификация этой задачи, рассматриваемой на априори фиксируемом множестве программных траекторий изменения управляемой величины [1]. Подобная проблема «программной управляемости» может быть редуцирована к определению условий разрешимости описывающих обобщенные решения исследуемых краевых задач интегральных (по пространственным переменным) уравнений Фредгольма 1-го рода в изображениях Лапласа по временному аргументу относительно искомых управляемых воздействий для заданных программных траекторий. Общая теория таких уравнений с симметричными ядрами, в роли которых фигурируют функции Грина рассматриваемой краевой задачи, приводит к точному решению задачи программной управляемости в форме его разложения в бесконечный ряд по собственным функциям ядра, если сумма квадратов коэффициентов этого ряда, непосредственно определяемых по требуемому поведению модальных составляющих заданных траекторий, также образует сходящийся в среднем ряд.

Последнее условие и представляет собой необходимое и достаточное, сравнительно просто проверяемое с использованием известных свойств бесконечных положительных числовых рядов, условие разрешимости исследуемой проблемы при весьма слабых ограничениях на класс функций, описывающих эти траектории [1].

При этом задача программной управляемости заведомо оказывается разрешимой только при совпадении областей определения пространственных аргументов управляемой величины и управляемого воздействия. Данное обстоятельство приводит к принципиальной разнице в задачах управляемости с внутренними и граничными управляемыми воздействиями, первая из которых может быть решена для программных траекторий, заданных во всей пространственной области, занимаемой объектом, а вторая – только в некоторых сечениях этой области для типичных случаев ее канонической формы.

Разработанная методика оценки программной управляемости линейных многомерных СРП [1] предусматривает решение на первом этапе частной задачи управляемости по асимптотически устойчивому стационарному состоянию объекта, соответствующему, в частности, конечной точки заданной программной траектории в типичных системах автоматической стабилизации распределенного выхода объекта. Решение этой задачи имеет наиболее простой вид с условием управляемости, непосредственно проверяемым по заданному в классе обобщенных

функций пространственному распределению управляемой величины. Программная управляемость на всем заданном множестве заданных траекторий обеспечивается для объектов, управляемых по стационарному состоянию, в условиях малостеснительных ограничений, следующих из известных теорем сравнения положительных рядов.

Применительно к типичному для приложений случаю заранее фиксируемого технически реализуемого характера пространственного распределения управляющего воздействия, представляемого в форме взвешенной суммы заданных функций пространственной координаты, задача программной управляемости оказывается разрешимой только для заданных траекторий в отдельных точках занимаемой объектом пространственной области, число которых равно числу искомых сосредоточенных управляющих воздействий, выступающих в роли весовых коэффициентов указанной суммы. В такой ситуации исходные интегральные уравнения сводятся к системе линейных алгебраических уравнений относительно изображений этих воздействий с известными передаточными функциями распределенных блоков для фиксируемых значений пространственных координат [1]. Приближенное решение подобной задачи управляемости для заданных программных траекторий во всей допустимой области их определения может быть получено аналогичным способом, если фиксируемые функции пространственных аргументов и управляемая величина с допустимой погрешностью описывается одинаковым числом их модальных составляющих, равным числу искомых сосредоточенных управлений.

3 Краевые задачи оптимального управления

Разработка конструктивных методик решения краевой задачи оптимизации (ЗОУ) по заданному критерию качества программных управляющих воздействий до настоящего времени остается одной из основных проблем теории СРП. Ее решение для типичных теоретических схем с фиксированными концами траектории движения системы либо вообще не существует для объектов, неуправляемых относительно заданной конечной точки, либо чаще всего приводит к технически неосуществимым алгоритмам управления, а известные приближенные методы их определения, реализуемые по схеме исходной дискретизации модели объекта, либо оказывается неработоспособными, либо приводят к существенным потерям по величине оптимизируемых функционалов качества [3].

В подобной ситуации конструктивный подход к ЗОУ СРП состоит в переходе к заведомо разрешимой с реализуемыми результатами задаче управления при заданном целевом множестве с непустой внутренностью в бесконечномерном фазовом пространстве СРП, которое отвечает достижимым значениям практически всегда существующих в прикладных задачах допусков на отклонение от требуемого конечного состояния объекта, оцениваемых применительно к представляющим наибольший интерес ситуациям в равномерной метрике на множестве пространственных аргументов управляемой величины [3-5].

Методы алгоритмически точного решения подобного рода краевых задач оптимального управления с негладкой границей целевого множества сложной формы в классической теории СРП отсутствуют.

Использование известных аналитических условий оптимальности позволяет априори получить параметрическое представление искомых при такой постановке ЗОУ СРП программных управлений с точностью до вектора определенным образом упорядоченной последовательности конечного числа параметров, количество которых однозначно определяется по установленной совокупности правил заданными размерами целевого множества. Эти параметры либо непосредственно характеризуют управляющие воздействия оптимальной структуры в пространственно-временной области их определения, либо в более общем случае представляют собой набор финальных значений ограниченного числа первых переменных бесконечной системы сопряженных уравнений принципа максимума при равных нулю конечных значениях

остальных ее компонент с последующим построением конструктивной процедуры их отображений на множество параметрических характеристик первого типа [5].

Интегрирование уравнений модели СРП с параметризованными управляющими воздействиями приводит к определению критерия оптимальности и оценки конечного состояния системы в виде явных функциональных зависимостей от искомых параметров и пространственных аргументов управляемой величины. В итоге осуществляется процедура редукции исходной задачи оптимального управления к специальной задаче математического программирования на минимум целевой функции конечного числа переменных, в роли которых выступают данные параметры, с бесконечным числом ограничений, порождаемых формулируемыми в равномерной метрике требованиями к конечному состоянию в пределах заданного целевого множества во всей пространственной области определения управляемой величины (задача полубесконечной оптимизации (ЗПО) [3-5]).

Решения ЗПО могут быть найдены по конструктивной технологии «альтернансного метода», распространяющегося на рассматриваемые задачи оптимизации известные результаты теории нелинейных чебышевских приближений в условиях некоторых малостеснительных для прикладных задач допущений [3, 4].

Метод базируется на специальных альтернансных свойствах оптимальных решений ЗПО, установленных при указанных допущениях с использованием упрощенных по сравнению с известными альтернансных форм необходимых условий экстремума в задачах недифференцируемой оптимизации. Согласно этим свойствам заданная точность равномерного приближения к требуемому конечному состоянию объекта достигается на таких решениях в некоторых точках области изменения пространственных аргументов функции состояния СРП, число которых оказывается не меньшим числа всех неизвестных параметров оптимального процесса [3-5].

Данные свойства порождают замкнутую относительно искомых неизвестных систему соотношений для конечных значений функции состояния СРП в указанных точках. При наличии диктуемой закономерностями предметной области дополнительной информации о конфигурации зависимости результирующего распределения управляемой величины в заданной области изменения пространственных аргументов, позволяющей идентифицировать все множество таких точек и знаки для каждой из них предельно допустимых отклонений выхода объекта от требуемых значений на оптимальных решениях ЗПО, обеспечивается редукция указанной системы соотношений к системе трансцендентных уравнений, решение которой исчерпывает решение исходной задачи оптимизации в рассматриваемой постановке.

На этом этапе принципиальную роль играют нестандартные процедуры использования в целях получения указанной информации фундаментальных физических характеристик конкретных оптимизируемых процессов, предварительное исследование которых представляет собой отдельную достаточно сложную задачу. В частности, такого рода анализ применительно к широкому кругу объектов технологической теплофизики выполнен в [3-8]. В типичных для приложений условиях интервальной неопределенности параметрических характеристик объекта, вся информация о которых исчерпывается сведениями о границах диапазона их возможных изменений, возникает задача робастной оптимизации СРП по принципу гарантированного результата, которая может быть сведена по описанной схеме к разрешаемой альтернансным методом ЗПО с континуумом ограничений, рассматриваемых на расширенном множестве аргументов, включающим наряду с пространственными переменными все допустимые значения неопределенных факторов [9].

В характерных для приложений случаях неуправляемости СРП по заданному асимптотически устойчивому стационарному состоянию возникает малоисследованная задача оптимизации в определенном смысле и технической реализации таких состояний, представляющая самостоятельный интерес с точки зрения оптимального проектирования СРП, к основным аспектам которого, по существу, сводится отыскание соответствующих пространственно-распределенных управляющих воздействий [10]. Выбор в качестве критерия оптимальности

ошибки равномерного приближения к требуемому стационарному состоянию СРП приводит для линейной одномерной модели объекта к параметрическому представлению искомого пространственно-распределенного внутреннего управления релейной формы с точностью до числа и протяженностей на отрезке изменения пространственной координаты интервалов его постоянства на предельно допустимых уровнях, фиксируемых условиями энергетического баланса объекта [10].

В итоге осуществляется точная редукция к параметрической задаче нелинейных чебышёвских приближений, разрешаемой по схеме альтернанского метода с существенным использованием закономерностей предметной области при фиксируемом априори числе искомых параметров, которое на последующем этапе должно быть выбрано, исходя из допустимых величин ошибки равномерного приближения или максимума управляющего воздействия.

4 Управление с обратными связями в системах с распределенными параметрами

Центральная задача синтеза автоматических регуляторов остается наиболее сложной проблемой теории СРП, известные решения которой найдены только для некоторых частных случаев. Для ряда прикладных задач конструктивные методы синтеза могут быть получены на основе структурной теории распределенных систем (А.Г. Бутковский), базирующейся на соответствующих обобщениях методов структурного представления систем с сосредоточенными параметрами [11].

Эффективный подход к задаче построения замкнутых систем управления объектами с распределенными параметрами базируется на идее перехода к управлению агрегированными макропараметрами, формируемыми в виде некоторых функций фазовых координат и искомых параметров обратных связей (А.А. Колесников). Аналитическое конструирование агрегированных регуляторов в СРП параболического типа базируется на точном описании моделей объекта системой нелинейных дифференциальных уравнений в бесконечномерном фазовом пространстве временных мод управляемой величины, которая аппроксимируется с любой требуемой точностью соответствующей укороченной конечномерной подсистемой, подобно типовому описанию объектов с сосредоточенными параметрами [2].

Использование специальных форм нелинейных макропараметров, во-первых, обеспечивает субоптимальный по переменным в фазовом пространстве критериям оптимальности характер процессов управления в СРП при движении объекта от начального состояния к притягивающему многообразию, удовлетворяя типичным требованиям достижения максимального быстродействия или минимизации стандартного квадратичного критерия качества, соответственно, на больших или малых расстояниях от этого многообразия. Во-вторых, при этом обеспечивается учет ограничений на управляющие воздействия, и в-третьих, формируются линейные по учитываемым фазовым переменным алгоритмы пропорционального регулирования при движении к положению равновесия вдоль притягивающего многообразия [2].

Подстановка вычисляемых на модели СРП полных производных макропараметров в уравнения их движения по устойчивым экстремаям сопутствующего квадратичного функционала качества типовой структуры приводит к функциональным уравнениям, разрешаемым относительно искомых алгоритмов сосредоточенного и пространственно-временного управления с обратной связью. Предлагаемый выбор макропараметров во многих случаях приводит к существенному упрощению структуры агрегированных регуляторов, с малой погрешностью сводимой к типовым алгоритмам пропорционального с ограничениями регулирования переменных состояния СРП с коэффициентами передачи линейных обратных связей, обеспечивающими асимптотическую устойчивость положения равновесия нелинейной замкнутой системы.

Задача синтеза алгоритмов управления с обратными связями в СРП существенно усложняется в обычных для приложений условиях интервальной неопределенности характеристик

объекта, обусловленной неточным знанием его параметров и действием неконтролируемых возмущений.

Применительно к типичной задаче с неполной информацией о величинах неизменных во времени параметров объекта может быть предложена достаточно простая практически безынерционная процедура идентификации их реализуемых значений непосредственно по результатам наблюдения текущего состояния СРП в некоторых точках пространственной области его определения, число которых совпадает с числом искомых неизвестных [12]. Получаемые в результате интегрирования уравнений модели СРП зависимости управляемой величины в точках ее контроля от идентифицируемых факторов для некоторого заранее фиксируемого момента времени рассматриваются в качестве системы неявно заданных функций этих факторов от наблюдаемых переменных, по правилам дифференцирования которых могут быть предварительно найдены их производные любого порядка, вычисляемые для некоторого номинального набора искомых характеристик. Каждая из таких функций восстанавливается далее по найденным значениям ее производных с требуемой точностью в форме соответствующего числа удерживаемых членов разложения в ряд Тейлора по степеням измеряемых величин выхода объекта.

Во многих случаях оказывается достаточным ограничиться линейным приближением с использованием идентификатора в форме линейной комбинации сигналов обратной связи по наблюдаемым переменным с априори фиксируемыми указанным способом коэффициентами передачи.

Дальнейшая процедура построения системы управления с такого рода идентификатором производится в соответствии с общими методами теории адаптивных систем применительно к рассматриваемому способу структурно-параметрического синтеза регуляторов для детерминированных моделей СРП. В частности, подобный подход реализован в рамках задачи оптимального по быстродействию управления не полностью определенными моделями СРП параболического типа с использованием функции переключения оптимального управления релейной формы в виде линейной комбинации сигналов обратной связи по наблюдаемым переменным с коэффициентами передачи, автоматически настраиваемыми по выходу идентификатора [12].

В условиях интервальной неопределенности действующих на объект переменных во времени сильнодействующих возмущений возникает фундаментальная проблема построения по принципу гарантированного результата автоматических регуляторов для такого рода не полностью определенных моделей замкнутых управляемых систем.

Возможный способ решения указанной проблемы состоит в переходе от отличающейся затруднениями принципиального характера задачи синтеза оптимальных алгоритмов обратных связей к их программной реализации в реальном масштабе времени (А.Б. Куржанский, Р. Габасов, Ф.М. Кириллов).

Согласно данному способу текущие состояния объекта, оцениваемые по измеряемым сигналам обратных связей в заранее задаваемые дискретные моменты времени на всем протяжении процесса управления, рассматриваются в качестве известных начальных состояний объекта, относительно которых на последующих стадиях этого процесса находятся по принципу гарантированного результата оптимальные по минимаксному критерию программные управляющие воздействия, обеспечивающие попадание в допустимую область конечных состояний ансамбля траекторий движения системы, порождаемого всеми допустимыми в пределах указанных стадий значениями возмущений [9, 13].

Реализуемые на объекте управляющие воздействия компонуются из участков изменения прогнозируемых расчетным путем робастных программных управлений на протяжении шага дискретизации и автоматически формируют в итоге в реальном времени требуемый алгоритм обратной связи при достаточном быстродействии вычислительных процедур и доступности

измерения распределенного выхода объекта, осуществляемого известными способами построения наблюдателей СРП [13].

Таким образом, исходная задача синтеза, по существу, сводится к решению последовательности краевых задач робастного программного управления «суживающимися» по мере продвижения к концу процесса ансамблями траекторий движения СРП с фиксируемыми обратными связями начальными состояниями и заданным целевым множеством его конечных состояний [13].

Каждая из таких параметризуемых задач в типичных условиях заданных целевых множеств ансамбля с чебышевскими оценками конечных состояний объекта может быть решена по схеме альтернанского метода [4, 13].

5 Параметрическая идентификация математических моделей СРП

Формализация актуальной проблемы параметрической идентификации моделей СРП по данным измерений, как правило, приводит к ее вариационной постановке в форме задачи отыскания оптимального управления, минимизирующего в заданной метрике невязку между результатами измерений и точным решением соответствующей краевой задачи, моделирующей поведение СРП. Специфической особенностью такой задачи является сужение множества допустимых управляющих воздействий до класса достаточно гладких функций, исходя из физических особенностей идентифицируемых процессов. Типичный подход к решению подобных, некорректных в исходной постановке задач сводится к применению универсальных численных методов, усложняемых необходимостью построения регуляризирующих алгоритмов, устойчивых к малым возмущениям входных данных (А.Н. Тихонов, О.М. Алифанов и др.).

В то же время привлечение дополнительной информации о физических свойствах исследуемых процессов позволяет во многих случаях предложить более простые конструктивные схемы вычислительных алгоритмов. В частности, выбор в качестве управляющих воздействий ограниченных по величине вторых производных от идентифицируемых величин автоматически приводит к поиску решений исходной вариационной задачи на компактном множестве функций, непрерывных вместе со своими первыми производными, в соответствии с физически обоснованными требованиями гладкости искомых экстремалей [14, 15]. Подобная интерпретация обеспечивает условно-корректную постановку задачи, не требующую применения каких-либо специальных методов регуляризации.

Использование аппарата принципа максимума позволяет получить параметрическое представление искомых управляющих воздействий и осуществить при оценке минимизируемых невязок в равномерной метрике процедуру точной редукции исходной вариационной задачи к соответствующей задаче полубесконечной оптимизации, разрешаемой по схеме альтернанского метода [14, 15]. Предлагаемый метод апробирован на примере решения граничных, внутренних и коэффициентных обратных задач нестационарной теплопроводности с идентификацией по экспериментальным данным внешних воздействий по граничным условиям, пространственно-временному распределению источников внутреннего тепловыделения и температурных зависимостей основных теплофизических характеристик [14-16].

Список литературы

- [1] Рапопорт Э.Я. Программная управляемость линейных многомерных систем с распределенными параметрами // Известия РАН. Теория и системы управления. 2015. № 2. С. 22-39.
- [2] Рапопорт Э.Я. Аналитическое конструирование агрегированных регуляторов в системах с распределенными параметрами // Известия РАН. Теория и системы управления, 2012. №3. С. 38-54.
- [3] Рапопорт Э.Я. Оптимальное управление системами с распределенными параметрами. М.: Высшая школа, 2009.
- [4] Рапопорт Э.Я. Альтернанский метод в прикладных задачах оптимизации. М.: Наука, 2000.

- [5] Плещивцева Ю.Э., Рапопорт Э.Я. Метод последовательной параметризации управляющих воздействий в краевых задачах оптимального управления системами с распределенными параметрами // Известия РАН. Теория и системы управления, 2009. №3. С. 22-33.
- [6] Rapoport E., Pleshivtseva Yu. Optimal Control of Induction Heating Processes. CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, London, New York, 2007.
- [7] Рапопорт Э.Я., Плещивцева Ю.Э. Оптимальное управление температурными режимами индукционного нагрева. – М.: Наука, 2012.
- [8] Edgar Rapoport and Yulia Pleshivtseva. Optimal Control of Induction Heating of Metals Prior to Warm and Hot Forming // ASM Handbook. Vol. 4C. Induction Heating and Heat Treatment. ASM International, USA, 2014, pp. 366-401.
- [9] Рапопорт Э.Я. Робастная параметрическая оптимизация динамических систем в условиях ограниченной неопределенности // Автоматика и телемеханика. 1995. № 3. с.86.-96.
- [10] Рапопорт Э.Я. Минимаксная оптимизация стационарных состояний в системах с распределенными параметрами // Известия РАН. Теория и системы управления, 2013, №2. С. 3-18.
- [11] Рапопорт Э.Я. Структурно-параметрический синтез систем автоматического управления с распределенными параметрами // Изв. РАН. Теория и системы управления, 2006. №4, с. 47-60.
- [12] Рапопорт Э.Я., Левин И.С. Структурно-параметрический синтез оптимальных по быстродействию систем управления с распределенными параметрами в условиях интервальной неопределенности характеристик объекта // Автометрия, 2015. Т. 51. № 5. С. 3-16.
- [13] Рапопорт Э.Я. Программная реализация обратных связей в задачах параметрической оптимизации не полностью определенных системах с распределенными параметрами // Известия РАН. Теория и системы управления. 2016. № 3. С. 40-54.
- [14] Рапопорт Э.Я., Плещивцева Ю.Э. Специальные методы оптимизации в обратных задачах теплопроводности // Известия РАН. Энергетика. 2002. №5. С.144-155.
- [15] Дилигенская А.Н., Рапопорт Э.Я. Аналитические методы параметрической оптимизации в обратных задачах теплопроводности с внутренним тепловыделением // Инженерно-физический журнал. 2014. Т.87. № 5. С. 1082-1089.
- [16] Дилигенская А.Н. Альтернанский метод оптимизации в коэффициентной обратной задаче теплопроводности // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия «Технические науки». 2014. № 4(44). С. 144-148.

MIGRATION CORRECTED NSGA OPTIMIZATION ALGORITHM

M. Forzan¹, P. Di Barba², F. Dughiero¹, E. Sieni¹

¹University of Padova, Department of Industrial Engineering

35131 Padova, via Gradenigo, 6/a, Italy

michele.forzan@unipd.it

Phone: +39 (049) 8277591, FAX: +39 (049) 8277599

²Department of Electrical, Computer and Biomedical Engineering,

27100, Pavia, Via Ferrata, 5, Italy

pao.lo.dibarba@unipv.it

Keywords: Magnetic fluid hyperthermia; Finite element; optimization, Non-dominated Sorting Genetic Algorithm.

Abstract

В статье рассматривается модифицированная версия генетического алгоритма сортировки на основе недоминирующей миграции (Migration-Non-dominated Sorting Genetic Algorithms - MNSGA). MNSGA был применён для оптимального проектирования нового устройства для нагрева магнитных нано-жидкостей для лабораторных исследований с использованием клеток, выращенных в чашках Петри. Разработка устройства велась с целью максимизации однородности магнитного поля в области расположения чаши Петри.

Introduction

Genetic algorithms are successfully applied to optimize the design of electromagnetic devices [1–5]. In particular, Non-dominated Sorting Genetic Algorithm, NSGA-II, is a popular genetic algorithm for multiobjective optimization used in different fields to find the Pareto front of a given problem [4–9]. This algorithm has proven to perform well when the population incorporates a large number of individuals, so it is usually coupled with objectives described by analytical functions. In recent years, the NSGA-II has been also coupled to Finite Element Analysis (FEA) and objective function values are obtained from numerical solutions of field equations [10, 11]. Since in the FEA case the number of evaluated individuals has to be reduced, the Pareto front could be not completely satisfactory in terms of found optimal solutions. Some authors have proposed modifications in NSGA algorithm to improve algorithm convergence or quality of solutions [12, 13].

In some cases, the generation tool included in NSGA-II algorithm (e.g. the generation of single new individual managed by a random occurrence) is not able to sufficiently perturb the current population and its results can lead to finding local or incomplete Pareto fronts. In this paper it is proposed to enhance the perturbation by means of a set of N individuals that immigrates in the current population, i.e. a population with different genetic characteristics with respect to the current one. An example of Pareto front obtained using NSGA-II algorithm starting from three different initial populations is in Figure 1. Three incomplete fronts have been obtained after 200 iterations.

In the past, similar kinds of algorithms that include a migration strategy have been developed under the frame of parallel computing: accordingly, migration is referred to an exchange of individuals between islands that evolve autonomously [14, 15]. In turn, “island” paradigms mimic the phenomenon of natural populations evolving without exchange with the external environment [14].

In this paper, a straightforward correction to a standard NSGA-II [3, 4, 16] in terms of an immigrating population is proposed. The corrected algorithm improves the Pareto front estimation in problems for which the objective function cost in terms of computation time does not allow the use of a

large number of individuals for each generation. The design optimization of a power inductor, synthesizing a uniform magnetic field for magneto-fluid hyperthermia (MFH) applications [17]–[20] is considered as the case study to assess the performance of Migration-NSGA [5], [21].

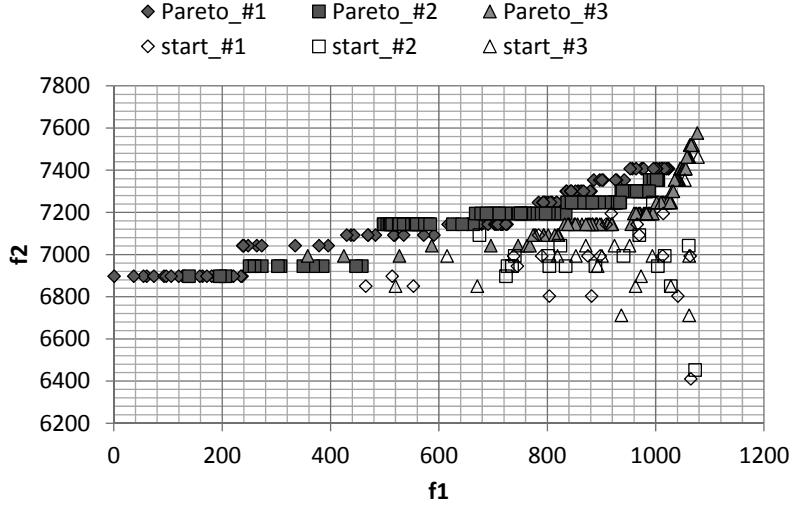


Figure 1 – Example of approximate, incomplete, fronts obtained using NSGA-II

The convergence behavior of MNSGA has been studied in [22] with the help of analytical and numerical benchmarks problems[22–24].

1 Migration-corrected NSGA-II

Classical NSGA-II is a genetic algorithm that mimics the evolution of a population with internal selection of better individuals. The migration strategy introduces ‘periodically’ an external population enhancing the original one formed by N_p individuals. Figure 2 shows the flow chart of the proposed algorithm.

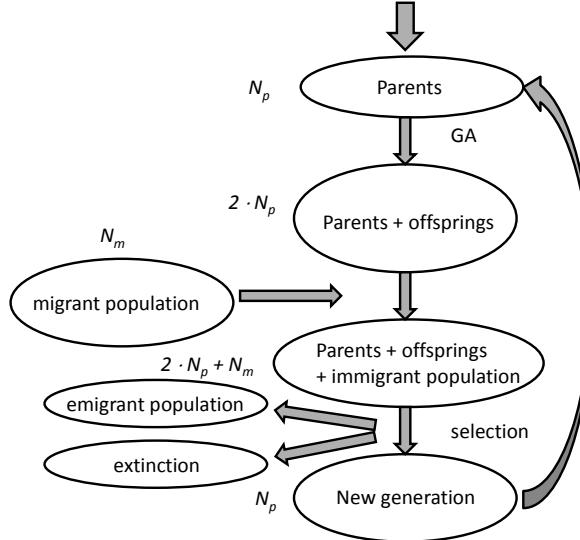


Figure 2 - Flow chart of MNSGA algorithm

MNSGA mimics a population that is suddenly increased by a group of individuals, *i.e.* immigrants that have different characteristics with respect to the original population formed by N_p individuals. Individuals belonging to immigrated population are integrated with the current population carrying different genetic characteristics. This way, the genetic heritage of the population is varied and if the new individuals improve the front, they are included in the new population. In the proposed approach, the immigrated population arrives just after the generation of the new population and before the selection of better individuals. This way, only the new individuals with better characteristics between the current and immigrating population are selected.

The migration of a population is ruled by two parameters, named migration parameters:

- T_m i.e. periodicity of migration (e.g. $T_m=1$ is equivalent to one migration event at every iteration);
 - N_m i.e. number of individuals in the migrated population ($N_m \leq N_p$).

In an evolved version of MNSGA algorithm, the Self Adaptive-MNSGA (SA-MNSGA), the migration events as well as the number of individuals in the immigrated population are managed by a probability law based on the front stability [21, 25]. The flow chart of this algorithm is in Figure 3. In case of the front is stable, the migration of larger population is more frequent, whereas if the front is not stable the migration events are not frequent and migrated population contain less individuals. The tools used to evaluate of front stability in SA-MNSGA are used also to stop the algorithm at its convergence.

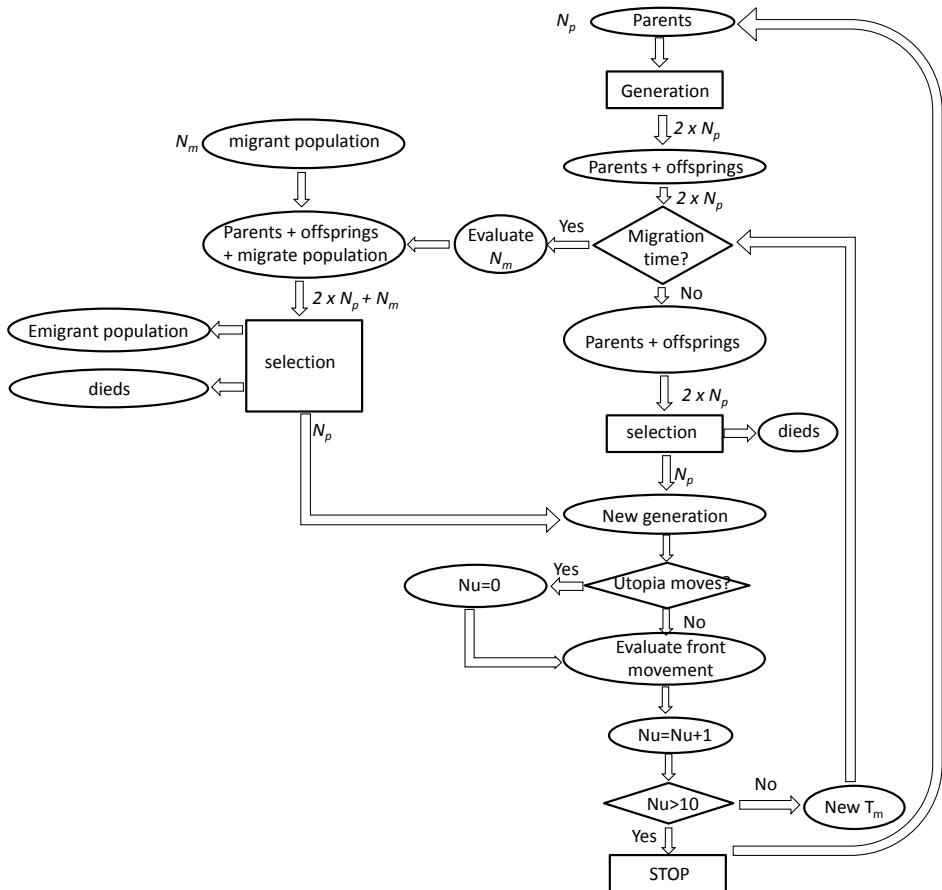


Figure 3 - Flow chart of SA-MNSGA algorithm

The number of individuals after selection is reduced to the original ones by means of selection that includes emigration and extinction events. In fact, among the non-selected individuals, a subgroup of individuals expires while the remaining subgroup emigrates. Overall, some individuals drop out from the current population, making the whole population balanced.

The SA-MNSGA algorithm is stopped when the front is stable and variation of population does not modify any longer coverage and position of the front. Specifically, the stop criterion is based on the evaluation of the front distance of individuals in the population of the k -th current iteration from the utopia point and from utopia point movement.

2 Case Study: Power Inductor for Treating Magnetic Nanoparticles

2.1 Direct problem

The axial-symmetric geometry of a power inductor for MFH applications is sketched in Figure 4: it incorporates a two-turn winding and four ferrite blocks on the top and one on the bottom. Upper ferrite blocks have been used to concentrate the magnetic flux lines, so improving the homogeneity of the magnetic field intensity. The Petri dish is placed in the inductor between the ferrite blocks in a thermally insulated box.

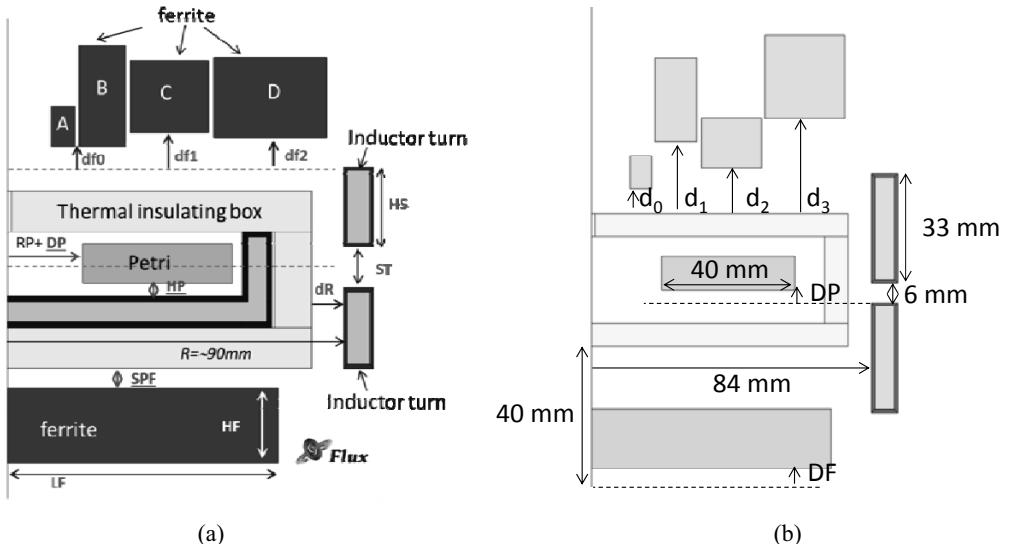


Figure 4 - (a) Geometry of the device with eight design variables and three uncertain parameters (parameters underlined)

The field analysis problem is governed by \mathbf{A} - V formulation and has been solved in time-harmonics conditions by means of a FEA code [11, 26, 27]. A typical mesh is composed of 23,000 nodes and 13,000 second order elements. The magnetic problem is solved in terms of the phasor of magnetic vector potential, \mathbf{A} , and electric scalar potential, V . When the Coulomb gauge is applied on the magnetic vector potential, i.e. $\nabla \cdot \mathbf{A} = 0$, the following two coupled equations are solved:

$$(1) \quad \nabla \times \mu^{-1} \nabla \times \dot{\mathbf{A}} + j\omega\mu\rho^{-1} \dot{\mathbf{A}} = -\rho^{-1} \nabla \dot{V}$$

$$(2) \quad \nabla \cdot \rho^{-1} (j\omega\mu \dot{\mathbf{A}} + \nabla \dot{V}) = 0$$

subject to suitable boundary conditions, where ρ and μ are the material resistivity and permeability, respectively and ω the field pulsation. The problem has been studied supplying the inductor imposing a voltage of 600 V_{rms}. This value is the maximum for typical generator [7].

The geometry in Figure 4 represents a benchmark problem in the magnetic field design and optimization algorithm. Changing the set of design variables and objective functions various optimization problems can be solved applying MNSGA or SA-MNSGA algorithms.

2.2 Inverse problem

Starting from the direct problem some inverse problems can be formulated. In the following two typical inverse problems using geometry in Figure 4 have been solved.

Problem A. The bi-objective inverse problem has eight design variables ('dR' is the coil distance from the insulated box, 'HS', the vertical size of the inductor turns, 'ST' the turn gap 'hf₀', 'hf₁', 'hf₂' the vertical distance of the four ferrite blocks from the insulated box, 'HF' and 'LF', the size of ferrite block under the Petri) show in Figure 6 and aims at minimizing:

- (f₁): the inhomogeneity of the magnetic field, H, on the bottom of the Petri dish (f1), evaluated using proximity criterion as in [7–9], 24] with a tolerance interval of ± 10 A/m;
- (f₂): the sensitivity of f1 with respect to a set of three uncertain parameters [6] ('DP' is the Petri dish radial position, 'SPF' the vertical distance of insulated box from lower ferrite and 'HP' the vertical position of the Petri dish from the insulated box bottom).

The inverse problem has been solved using both the MNSGA algorithm and classical NSGA-II.

Problem B. In problem B the bi-objective inverse problem has six design variables. The set of design geometrical variables includes the ferrite vertical positions (d₀, d₁, d₂, d₃ and DF in Figure 3 (b)) and the vertical position of the Petri dish evaluated from the upper edge of the bottom turn (DP in Figure 3(b)). The optimization problem aims at:

- (f₁): minimizing the inhomogeneity of the magnetic field (f₁) in the Petri dish bottom, computed using the "proximity criterion" [7–9, 24] with a tolerance interval evaluated as percentage value of a given field value;
- (f₂): maximizing the magnetic field strength (f₂) in the Petri dish bottom. This objective has been formulated as minimizing the inverse of the magnetic field strength found evaluating the objective f₁.

In this case the "proximity criterion" considers a fixed grid of points in the region of interest for the magnetic field homogeneity (in this case a rectangular grid 40 mm long and 2 mm thin with 1110 points centred in the Petri dish bottom) where the magnetic field is sampled. The criterion search for the magnetic field intensity, H_c, that maximize the number of grid points in which the magnetic field is 'close to' H_c. The 'closing' condition is given as a percentage distance from the current H_c value. The condition is evaluated for each points of the grid.

The inverse problem has been solved using both classical NSGA-II and SA-MNSGA algorithm.

2 Results

Problem A. Figure 5 reports the approximated Pareto fronts obtained using NSGA-II and MNSGA algorithms starting from the same initial population and the same number of generations ($N_g = 50$). The migration parameters of MNSGA algorithm have been set to $N_m = 10$ and $T_m = 5$.

It appears that the approximation of the Pareto front obtained using MNSGA is better in terms of both the objective functions used.

Problem B. Figure 6 (a) and (b) reports the approximated Pareto fronts obtained using NSGA-II and SA-MNSGA algorithms starting from the same initial population and the same number of generations ($N_g = 200$) and the front obtained evaluating the automatic convergence, respectively. The migration parameters of SA-MNSGA algorithm have been chosen automatically evaluating the front movement.

In Figure 6 (a) and (b) are reported the Pareto fronts obtained after 200 iterations and evaluating the automatic stop, respectively. From Figure 6 (a) and (b) it appears that more iteration after the stop of the algorithm based on stop criterion didn't improve substantially the front mostly the one obtained using NSGA-II.

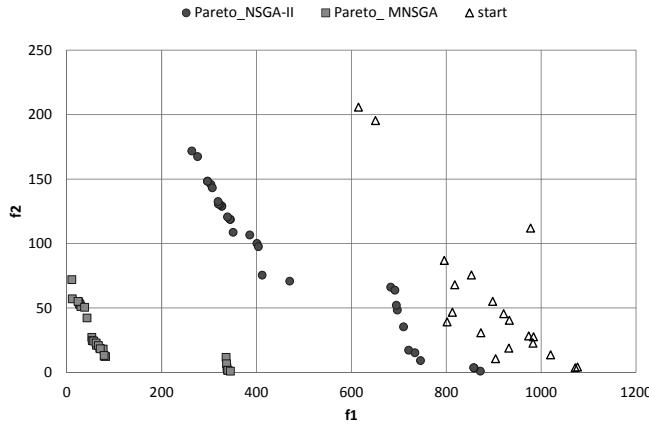


Figure 5 - Approximated Pareto front using NSGA-II (circles) and MNSGA (squares) algorithm starting from the same initial population (triangles)

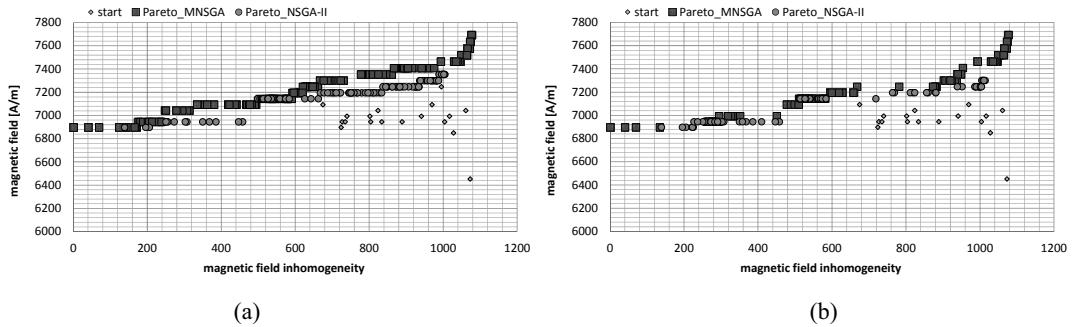


Figure 6 - Approximated Pareto front using NSGA-II (circles) and SA-MNSGA (squares) algorithm starting from the same initial population (triangles) and stopping it after
 (a) 200 iterations and (b) using the automatic stop
 (NSGA-II stop at iteration 50 and SA-MNSGA at iteration 81)

Table 1 reports the two best solutions found apply NSGA-II and SA-MNSGA algorithm. It appears that for the same magnetic field intensity SA-MNSGA found a solution with more uniform magnetic field intensity. Figure 7 reports the geometry obtained using SA-MNSGA algorithm.

Table 1 – Optima solution for problem B using NSGA-II and SA-MNSGA algorithm

	df₀	df₁	df₂	df₃	DP	DF	f₁	f₂
SA-MNSGA	11.28	18.20	14.27	19.71	5.63	1.26	1	6897
NSGA-II	18.88	17.82	20.24	25.15	2.77	11.24	139	6897

Conclusion

Migration strategy applied to classical NSGA-II algorithm allows finding improved Pareto fronts.

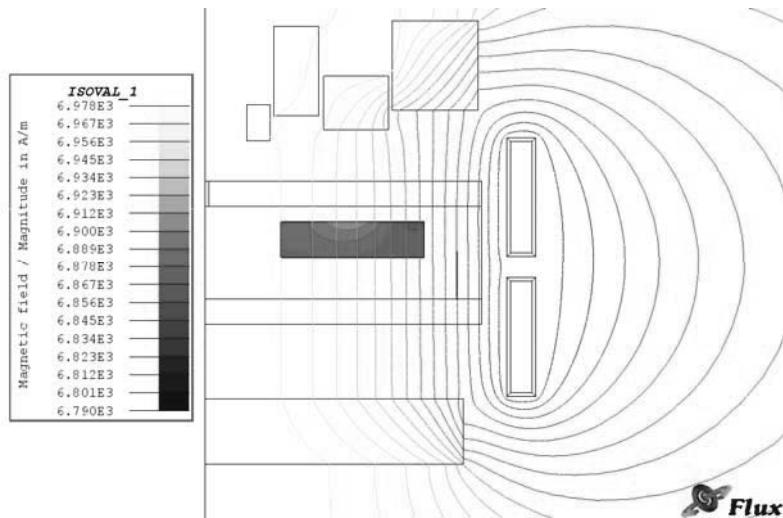


Figure 7 –Optima geometry found applying SA-MNSGA (squares) to problem B

References

- [1] P. Di Barba, Multiobjective Shape Design in Electricity and Magnetism. Springer, 2010.
- [2] D. Simon, "Biogeography-Based Optimization," *Evol. Comput. IEEE Trans. On*, vol. 12, no. 6, pp. 702–713, Dec. 2008.
- [3] N. Srinivas and K. Deb, "Multiobjective optimization using nondominated sorting in genetic algorithms," *Evol. Comput.*, vol. 2, pp. 221–248, 1994.
- [4] K. Deb, A. Pratap, S. Agarwal, and T. Meyarivan, "A fast and elitist multiobjective genetic algorithm: NSGA-II," *Evol. Comput. IEEE Trans. On*, vol. 6, no. 2, pp. 182–197, 2002.
- [5] P. Di Barba, I. Dolezel, P. Karban, P. Kus, F. Mach, M. E. Mognaschi, and A. Savini, "Multiphysics field analysis and multiobjective design optimization: a benchmark problem," *Inverse Probl. Sci. Eng.*, vol. 22, no. 7, pp. 1214–1225, Oct. 2014.
- [6] P. Di Barba, F. Dughiero, M. Forzan, and E. Sieni, "A Pareto Approach to Optimal Design With Uncertainties: Application in Induction Heating," *Magn. IEEE Trans. On*, vol. 50, no. 2, pp. 917–920, Feb. 2014.
- [7] R. Bertani, F. Ceretta, P. D. Barba, F. Dughiero, M. Forzan, R. A. Michelin, P. Sgarbossa, E. Sieni, and F. Spizzo, "Optimal inductor design for nanofluid heating characterisation," *Eng. Comput.*, vol. 32, no. 7, pp. 1870–1892, 2015.
- [8] P. Di Barba, M. Forzan, and E. Sieni, "Multi-objective design of a power inductor: a benchmark problem of inverse induction heating," *COMPEL - Int. J. Comput. Math. Electr. Eng.*, vol. 33, no. 6, pp. 1990–2005, Oct. 2014.
- [9] P. Di Barba, M. Forzan, and E. Sieni, "Multiobjective design optimization of an induction heating device: A benchmark problem," *Int. J. Appl. Electromagn. Mech.*, vol. 47, no. 4, pp. 1003–1013, Jun. 2015.
- [10] P. Di Barba, F. Dughiero, and E. Sieni, "Field synthesis for the optimal treatment planning in Magnetic Fluid Hyperthermia," *Arch. Electr. Eng.*, vol. 61, no. 1, pp. 57–67, Jan. 2012.
- [11] P. Di Barba, M. Forzan, E. Sieni, and F. Dughiero, "Sensitivity-based optimal shape design of induction-heating devices," *IET Sci. Meas. Technol.*, vol. 9, no. 5, pp. 579–586, Aug. 2015.
- [12] S. Karakostas, "Multi-objective optimization in spatial planning: Improving the effectiveness of multi-objective evolutionary algorithms (non-dominated sorting genetic algorithm II)," *Eng. Optim.*, pp. 1–21, Apr. 2014.
- [13] H. Ghiasi, D. Pasini, and L. Lessard, "A non-dominated sorting hybrid algorithm for multi-objective optimization of engineering problems," *Eng. Optim.*, vol. 43, no. 1, pp. 39–59, Jan. 2011.
- [14] M. Märtens and D. Izzo, "The asynchronous island model and NSGA-II: study of a new migration operator and its performance," in *Proceedings of the 15th annual conference on Genetic and evolutionary computation*, Amsterdam, The Netherlands, 2013, pp. 1173–1180.

- [15] L. dos Santos Coelho and P. Alotto, “Electromagnetic Optimization Using a Cultural Self-Organizing Migrating Algorithm Approach Based on Normative Knowledge,” *Magn. IEEE Trans. On*, vol. 45, no. 3, pp. 1446–1449, Mar. 2009.
- [16] P. Di Barba, *Multiobjective shape design in electricity and magnetism*. Dordrecht ; New York: Springer, 2010.
- [17] G. F. Goya, L. Asín, and M. R. Ibarra, “Cell death induced by AC magnetic fields and magnetic nanoparticles: Current state and perspectives,” *Int. J. Hyperthermia*, vol. 29, no. 8, pp. 810–818, 2013.
- [18] P. D. Di Barba, F. Dughiero, and E. Sieni, “Magnetic Field Synthesis in the Design of Inductors for Magnetic Fluid Hyperthermia,” *Magn. IEEE Trans. On*, vol. 46, no. 8, pp. 2931–2934, 2010.
- [19] P. Di Barba, F. Dughiero, E. Sieni, and A. Candeo, “Coupled Field Synthesis in Magnetic Fluid Hyperthermia,” *Magn. IEEE Trans. On*, vol. 47, no. 5, pp. 914–917, 2011.
- [20] P. Di Barba, F. Dughiero, and E. Sieni, “Synthesizing Distributions of Magnetic Nanoparticles for Clinical Hyperthermia,” *Magn. IEEE Trans. On*, vol. 48, no. 2, pp. 263–266, 2012.
- [21] P. Di Barba, F. Dughiero, M. Forzan, and E. Sieni, “Optimal design of inductors for magnetic- fluid hyperthermia by means of migration- assisted NSGA,” *Int. J. Appl. Electromagn. Mech.*, vol. 51, no. s1, pp. S125–S134, Apr. 2016.
- [22] E. Sieni, P. Di Barba, and M. Forzan, “Migration NSGA: method to improve a non-elitist searching of Pareto front, with application in magnetics,” *Inverse Probl. Sci. Eng.*, vol. 24, no. 4, pp. 543–566, May 2016.
- [23] Di Barba, Paolo, Dughiero, Fabrizio, Forzan, Michele, and Sieni, Elisabetta, “Multi-physics and multi-objective design of a benchmark device: a problem of inverse induction heating,” in *VI International Conference on Computational Methods for Coupled Problems in Science and Engineering COUPLED PROBLEMS 2015*, 2015.
- [24] P. Di Barba, F. Dughiero, M. Forzan, E. Sieni, “Improved solution to a multi-objective benchmark problem of inverse induction heating,” *Int. J. Appl. Electromagn. Mech.*, vol. 49, no. 2, pp. 279–288, Oct. 2015.
- [25] R. Bertani, M. Forzan, P. Sgarbossa, E. Sieni, P. Di Barba, F. Spizzo, L. Del Bianco, “Multi-objective Design of a Magnetic Fluid Hyperthermia Device,” in *Industrial Electronics Society, IECON 2015 - 40th Annual Conference of the IEEE*, 2015.
- [26] FLUX, “(CEDRAT): www.cedrat.com/software/flux/flux.html.”
- [27] P. Di Barba, A. Savini, S. Wiak, *Field models in electricity and magnetism*. [Dordrecht]: Springer, 2008.

Biography

Michele Forzan graduated in Electrical Engineering in 1995 and received the ‘Dottorato di Ricerca’ in 2000 at the University of Padova, under the direction of Prof. Sergio Lupi. From 2003 he is Assistant Professor at the Electrical Engineering Department. His research activity have been mainly devoted to the study of innovative electro heat processes and to the development of numerical models for the design of induction heating systems.

Paolo Di Barba, PhD was born in Italy in 1963. At the time being, he is appointed as a full professor of electrical engineering at the University of Pavia, Department of Electrical Engineering. His scientific interests include the computer-aided design of electric and magnetic devices, with special emphasis on the methods for field synthesis. He authored or co-authored more than 100 papers, either presented to international conferences or published in international journals, a book on “Field Models in Electricity and Magnetism” (Springer, 2008) and a monograph on “Multiobjejective Shape Design in Electricity and Magnetism” (Springer, 2010).

Fabrizio Dughiero is full professor of Electrical engineering at Padova University. The scientific work of prof. Dughiero deals with Electroheat and the application of Induction and RF heating to Hypethermia and industrial processes. His interests are in numerical methods for electromagnetic and thermal problems and optimization techniques. Fabrizio Dughiero is author of more than 130 scientific papers and 4 international patents.

Elisabetta Sieni received the degree in Electronic Engineering, PhD in Bioelectromagnetics and Electromagnetic Compatibility and PhD in Information Engeneering, Bioengineering, from the Padova University respectively in 2002, 2006 and 2011. Actually she is working at the Department of Electrical Engineering of the Padova University as assistant professor. Her interests are in human exposure to electromagnetic field, optimization and biomedical application of electromagnetic fields.

УПРАВЛЕНИЕ ОБЪЕКТАМИ С РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ ИЗОЛИРОВАНИЯ КАБЕЛЕЙ СВЯЗИ

В.Н. Митрошин

Самарский государственный технический университет
443100, Самара, ул. Молодогвардейская, 244
тел. +7 (846) 337-07-00, факс +7 (846) 337-03-42

Ключевые слова: кабели связи, изолирование, объект с распределенными параметрами, распределенное управление.

Abstract

The problem of simulation of temperature field of polymer melt in the metering area depending on the spatial and temporal distribution of the barrel temperature was solved. Obtained structural description of automated process as a control object with distributed parameters. The system for distribution automation control of the polymer melt temperature for a dosing zone of single-screw extruder has been developed. The accuracy of the stabilization of the control parameter is much better known solutions.

Введение

В настоящее время в качестве передающих сред в структурированных кабельных системах наряду с волоконно-оптическими линиями связи (ВОЛС) широко используются также проводные кабели связи (КС): коаксиальные кабели, кабели UTP (Unshielded Twisted Pair) – на основе витых пар без экранирующего покрытия и кабели STP (Shielded Twisted Pair) – на основе экранированных витых пар с общим внешним экраном в виде оплётки.

Производство проводных КС является непрерывным, многооперационным технологическим процессом, в полной мере обладающим признаками сложной системы. При этом эксплуатационное качество изготавливаемого кабеля как канала связи формируется на всех промежуточных технологических операциях его производства, но может быть измерено лишь на готовом изделии. Для коаксиальных кабелей обобщенным параметром качества, характеризующим потребительские свойства продукции, является его волновое сопротивление [1].

В основу целеполагания построения систем автоматического управления производством КС должно быть положено обеспечение требуемого эксплуатационного показателя изготавливаемого кабеля как канала связи с учётом полосы частот пропускаемого сигнала на основе применения системного подхода к автоматизируемому технологическому процессу.

При этом обязательным условием получения качественной продукции является автоматизация всех промежуточных технологических операций её производства на основе требований к предельным величинам нерегулярностей первичных параметров кабеля и предельных отклонений технологических режимных параметров работы оборудования, сформулированных исходя из необходимости обеспечения требуемого качества производимого кабеля [2, 3].

В основе конструкции практически всех проводных КС лежит изолированная медная жила. Поэтому одной из основных технологических операций непрерывного процесса производства проводных кабелей связи является наложение кабельной изоляции на токопроводящую жилу, осуществляемое на экструзионных линиях, основными элементами которых являются одночервячный пластицирующий экструдер и ванны водяного охлаждения.

При изготовлении проводных кабелей связи одним из определяющих технологических параметров работы оборудования, влияющих на качество изготавливаемой продукции, является температура переработки полимерных материалов.

Особенностью технологических процессов кабельного производства является явно выраженная неравномерность пространственной распределенности основных управляемых величин и, как следствие этого, их зависимость не только от времени, что характерно для систем с сосредоточенными параметрами, но и от пространственных координат объекта управления. Так температурные поля расплава полимера в зоне дозирования экструдера и изолированной жилы, охлаждаемой в водяных ваннах, оказываются существенно неравномерными в осевом и радиальном направлениях.

Одним из ключевых участков в процессе наложения изоляции является зона дозирования экструдера, на выходе которой расплав полимера должен обладать температурой, заложенной технологическими требованиями. Именно нестабильность температуры расплава полимера на выходе зоны дозирования влияет на производительность экструдера и, соответственно, на формирование диаметра и погонной емкости изолированной жилы кабеля.

В [4, 5] отмечается, что основными особенностями рассматриваемого объекта являются неравномерное распределение температуры вдоль канала шнека экструдера; наличие внутренних источников тепла, вызванных диссипацией энергии вследствие вязкого трения полимера; температурной аномалией вязкости и циркуляционно-поступательным течением расплава в канале. С учетом этих особенностей должна быть построена математическая модель объекта управления (ОУ). Данный объект следует рассматривать как объект управления с распределенными параметрами (ОРП).

1 Математическое описание температурного поля расплава полимера в зоне дозирования экструдера как ОРП

На базе исходных уравнений энергетического баланса в прямоугольных координатах для описания процессов тепломассопереноса в канале пластицирующего экструдера с учетом подвода тепла извне от внешних нагревателей и реологического уравнения, описывающего свойства расплава полиэтилена, обладающего аномалией вязкости, получена [6,7] упрощенная одномерная модель температурного поля расплава полимера в зоне дозирования экструдера, описываемая нелинейным уравнением (1) с температурно-зависимой функцией диссипации (2), (3) при краевых условиях (4).

$$(1) \quad \frac{\partial T(z,t)}{\partial t} = -\bar{V}_z \frac{\partial T(z,t)}{\partial z} + \frac{1}{\rho_p C} \cdot \Phi^*(T) + \frac{\alpha}{\rho_p Ch} [T_u(z,t) - T(z,t)]; \quad l_d^0 \leq z \leq l^0;$$

$$(2) \quad \Phi^* = \mu_0 \exp[-b(T - T_0)] \cdot \left[\left(\frac{\partial \nu_x}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial \nu_z}{\partial y} \right)^2 \right]^{\frac{n+1}{n}}; \quad \text{или}$$

$$(3) \quad \Phi^* = K \exp[-b(T - T_0)];$$

$$(4) \quad T(y, l_d^0) = T_d^0(y); \quad \frac{\partial T(0, z)}{\partial y} = 0; \quad \frac{\partial T(1, z)}{\partial y} = q_1^0; \quad \frac{\partial T(y, l^0)}{\partial z} = 0.$$

Здесь T – температура расплава полимера; t – текущее время; \bar{V}_z – средняя скорость движения расплава полимера вдоль канала шнека; C – удельная теплоемкость полимера; ρ_p – плотность расплава полимера; x, y, z – координаты шнека экструдера (по ширине, глубине и длине соответственно); h – глубина канала шнека; α – коэффициент теплоотдачи между полимером и цилиндром; T_u – температура цилиндра экструдера; ν_x – циркуляционная скорость расплава полимера; ν_z – поступательная скорость расплава полимера по оси z ; μ_0 – ньютоновская вязкость; n – индекс течения; b – температурный коэффициент вязкости; T – абсолютная температура.

кущая температура; T_0 – температура приведения (температура плавления); l_d^0 ; l^0 – координаты начала и конца зоны дозирования; Φ^* – функция диссипации, являющаяся внутренним источником тепла (за счет вязкого трения полимера).

Средняя скорость движения расплава полимера вдоль канала шнека \bar{V}_z может быть определена из необходимого условия обеспечения равенства весовой производительности зоны дозирования и производительности на выходе экструдера (массы изоляции на единицу длины проводника).

Для наиболее общего случая изготовления кабеля с пенопластовой изоляцией, можно записать

$$(5) \quad \bar{V}_z = \frac{\pi \rho V}{4 \rho_p h \varpi} \cdot (D_{из}^2 - d^2).$$

Здесь ρ – плотность сплошной пластмассы; V – скорость изолирования; ϖ – ширина канала шнека; $D_{из}$ – диаметр изготавливаемой кабельной жилы по изоляции; d – диаметр проводника.

2 Структурное моделирование температурного поля расплава полимера в зоне дозирования

Подобный объект управления с распределенными параметрами вида (1), (2) может быть описан распределенным блоком Гаммерштейна, представляющим собой последовательное соединение линейного распределенного блока, характеризуемого некоторым аналогом $S(z, \xi, t, \tau)$ функции Грина и нелинейного блока, определяемого зависимостью $\eta(\xi, \tau, w)$ (рисунок 1) [8].

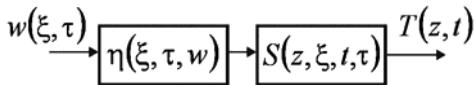


Рисунок 1 – Нелинейный распределенный блок Гаммерштейна

Здесь $S(z, \xi, t, \tau)$ и $\eta(\xi, \tau, w)$ определяются описанием температурного поля в виде нелинейного интегрального оператора (6) с ядром, являющимся заданной нелинейной функцией стандартизирующего входного воздействия, где ядро описывается произведением (7).

$$(6) \quad T(z, t) = \int_0^t \int_0^L P(z, \xi, t, \tau, w(\xi, \tau)) d\xi d\tau;$$

$$(7) \quad P(z, \xi, t, \tau, w) = S(z, \xi, t, \tau) \cdot \eta(\xi, \tau, w).$$

В итоге структура объекта управления с распределенными параметрами представляется в форме линейного стационарного блока с функцией Грина $G(z, \xi, t - \tau)$, охваченного обратной связью в виде нелинейного блока Гаммерштейна, учитывающего нелинейную зависимость входного сигнала по температурному распределению (рисунок 2).

В итоге структура объекта управления с распределенными параметрами представляется в форме линейного стационарного блока с функцией Грина $G(z, \xi, t - \tau)$, охваченного обратной связью в виде нелинейного блока Гаммерштейна, учитывающего нелинейную зависимость входного сигнала по температурному распределению (рисунок 2).

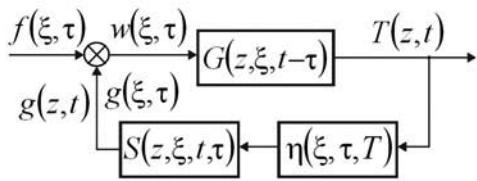


Рисунок 2 – ОРП с нелинейной распределенной обратной связью

тепла $\Phi^*(T) = 0$ с заданными краевыми условиями и имеет следующий вид [9]:

$$(8) \quad G(z, \xi, t) = -\frac{1}{\bar{V}_z} \cdot 1(\xi - z) \cdot \exp \left[-\frac{\alpha}{\rho Ch \bar{V}_z} (z - \xi) \right] \cdot \delta \left[t - \frac{1}{\bar{V}_z} (z - \xi) \right].$$

Нелинейный блок в обратной связи на рисунке 2 является блоком Гаммерштейна, для которого в нашем случае

$$(9) \quad \begin{aligned} S(z, \xi, t, \tau) &= K^* \delta(z - \xi) \delta(t - \tau); \\ \eta(\xi, \tau, T) &= \exp[-bT(\xi, \tau)]; \text{ где } K^* = K \exp(bT_0). \end{aligned}$$

При этом структура объекта управления на рисунке 2, описываемого нелинейным уравнением теплопроводности, может быть представлена в следующем виде (рисунок 3):

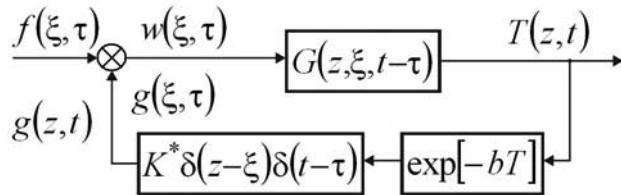


Рисунок 3 – Структура объекта управления, описываемого нелинейным уравнением теплопроводности

Стандартизующая функция на входе ОРП была определена в соответствии с методикой, предлагаемой в [8] и определяется следующим выражением

$$(10) \quad w(\xi, \tau) = f(\xi, \tau) + g(\xi, \tau) = \frac{\alpha}{\rho Ch} T_u(\xi, \tau) + K \exp\{-b[T(\xi, \tau) - T_0]\}.$$

Линеаризованное уравнение для температурного поля в зоне дозирования в малых отклонениях от заданного стационарного состояния на основании (1) моделируется уравнением (11), а соответствующий объект управления описывается передаточной функцией (12).

$$(11) \quad \frac{\partial T(z, t)}{\partial t} + \bar{V}_z \frac{\partial T(z, t)}{\partial z} + \frac{1}{\rho C} \cdot \left(bK^* + \frac{\alpha}{h} \right) \cdot T(z, t) = \frac{\alpha}{\rho Ch} [T_u(z, t)] + \frac{K^*}{\rho C}; \quad l_d^0 \leq z \leq l^0;$$

$$(12) \quad W(z, \xi, p) = -\frac{1}{\bar{V}_z} \cdot 1(\xi - z) \cdot \exp \left[-\left(\frac{p}{\bar{V}_z} + \frac{\alpha + bK^* h}{\rho Ch \bar{V}_z} \right) \cdot (z - \xi) \right].$$

Таким образом, получена структурная модель объекта с распределенными параметрами – температурного поля полимера в канале шнека пластифицирующего экструдера как функции пространственно-временного распределения температур нагревательных элементов цилиндра экструдера. На её основе синтезирована система управления температурой расплава полимера в зоне дозирования экструдера.

В качестве выходного сигнала $g(z, t)$ нелинейной обратной связи по температуре $T(z, t)$ рассматривалась функция диссипации $\Phi^*(T)$, а функция Грина $G(z, \xi, t - \tau)$ характеризует свойства линейного блока, описываемого линейным уравнением теплопроводности при мощности внутренних источников

3 Синтез системы распределенного управления температурой расплава полимера в зоне дозирования экструдера

Существующие в настоящее время системы регулирования температуры расплава полимера на выходе зоны дозирования осуществляют управление мощностью лишь последней зоны нагрева цилиндра экструдера. При этом сам объект управления рассматривается как объект с сосредоточенными параметрами, что не соответствует физике управляемого процесса. Технологические допуски требуют поддержание постоянства температуры расплава полимера в пределах $\pm 3^{\circ}\text{C}$ относительно заданного значения. Но для гарантированного достижения требуемого эксплуатационного качества выпускаемой продукции необходимо обеспечить стабилизацию режимных параметров работы технологического оборудования с максимально возможной точностью.

С этой целью на базе полученной модели автоматизируемого процесса как ОРП была осуществлена разработка системы распределенного (двуухзонного) управления температурой расплава полимера на выходе экструдера (рисунок 4).

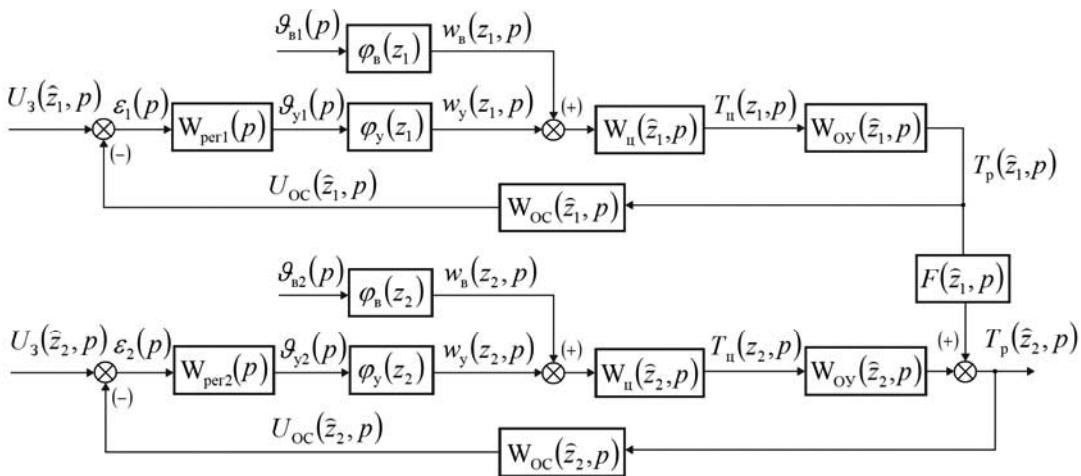


Рисунок 4 – Структура схемы распределенного управления температурой расплава полимера с регулированием двух последних зон нагрева цилиндра экструдера

В структурной схеме системы воздействия и блоки с индексом 1 описывают САУ рассматриваемого ОРП в первой зоне нагрева цилиндра экструдера, а воздействия и блоки с индексом 2 – во второй. Величина $T_u(z, p)$ характеризует изменение температуры цилиндра у границы цилиндр/полимер. Величина $T_p(\bar{z}, p)$ определяет изменение температуры полимера на выходе зоны нагрева какого-либо из нагревателей и является скалярным выходом системы, контролируемым только в одной пространственной точке \bar{z} . Функция $T_p(\bar{z}_1, p)$ характеризует связь между выходной величиной ОРП первой зоны нагрева и выходной величиной второй зоны нагрева. Данная связь непременно должна входить в замкнутый контур регулирования второго нагревателя, что обеспечивает компенсацию отклонения выходной величины первого контура.

Анализ системы распределенного управления температурой расплава полимера с регулированием двух последних зон нагрева цилиндра экструдера осуществлялся в пакете Matlab. Модель системы в пакете Matlab приведена на рисунке 5.

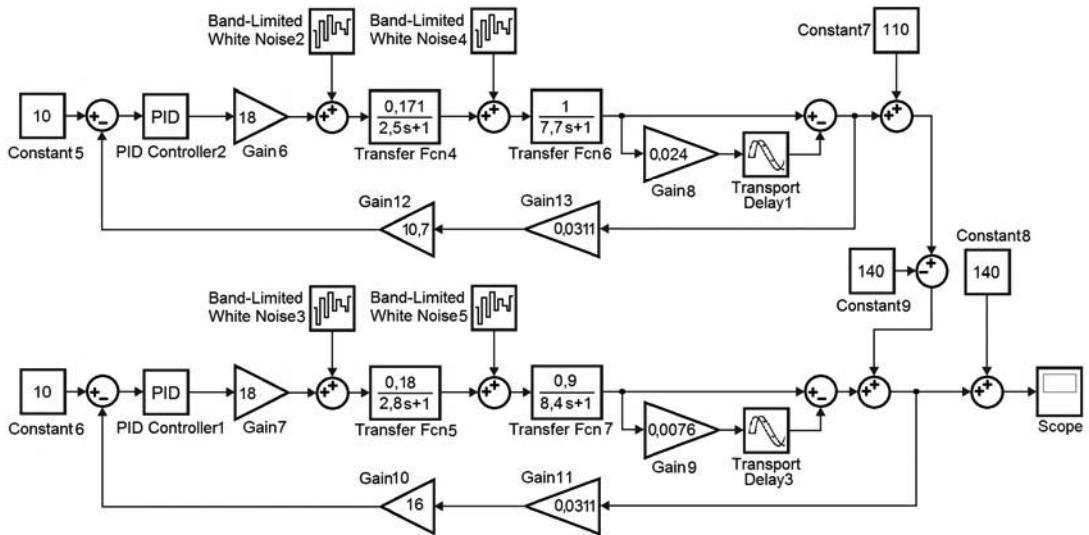


Рисунок 5 – Модель в программе Matlab системы распределенного управления температурой расплава полимера с регулированием двух последних зон нагрева цилиндра экструдера

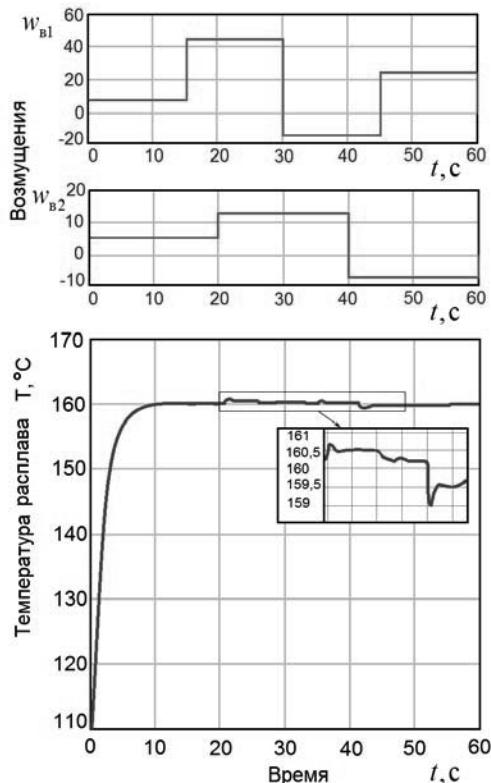


Рисунок 6 – Переходный процесс в САУ

При анализе системы распределенного управления температурой расплава полимера в качестве внешних распределенных возмущающих воздействий были заданы случайные ступенчатые функции, влияющие соответственно на мощность нагревателей (w_{B1} на рисунке 6) и на расплав полимера в зоне дозирования w_{B2} .

Параметры ПИД-регуляторов находились с помощью метода CHR (Chien, Hrones и Reswick) [10] исходя из условий максимально быстрого нагрева расплава полимера в первой зоне нагрева с возможностью перерегулирования и быстрого вывода температуры на необходимый уровень без эффекта перерегулирования во второй зоне нагрева.

Переходная характеристика данной системы с учетом возмущающих воздействий приведена на рисунке 6. Время переходного процесса составляет порядка 10 с. Система обеспечивает стабилизацию температуры расплава полимера с точностью не хуже $\pm 1^{\circ}\text{C}$, что лучше известных решений. Увеличение быстродействия САР повышает полосу пропускания изготавливаемого кабеля.

Для операции изолирования медных жил на экструзионных линиях также решена задача оптимизации по выбранному критерию качества процесса охлаждения полимерной изоляции в процессе её изготовления на технологической линии. Управление осуществляется по пространственному распределению температуры воды в охлаждающих ваннах, обеспечивающему в условиях заданных ограничений достижение требуемой точности приближения к заданному конечному распределению температуры изоляции за минимальное время [12, 11].

Использование предложенной методики позволяет получить требуемое распределение температуры изоляции на выходе из участка охлаждения, одновременно позволив уменьшить длину ванны до 30% (в зависимости от размеров выпускаемого кабеля) по сравнению с типовыми техническими решениями, а также более чем в 2,5 раза уменьшить объем нагреваемой воды.

Заключение

Разработанные способы и вычислительные алгоритмы эффективного использования в инженерной практике предлагаемых методов управления многооперационными технологическими процессами формирования изоляции электрических кабелей связи с учётом гарантированного достижения требуемого эксплуатационного качества продукции, пространственной распределенности основных управляемых величин, нестандартных ограничений на техническую реализацию синтезируемых алгоритмов позволили значительно повысить качество изготавливаемой кабеля.

Благодарности

Работа поддержана грантами РФФИ (проекты 15-08-01347-а и 15-08-04209-а).

Список литературы

- [1] Гроднев И.И., Шварцман В.О. Теория направляющих систем связи. – М.: Связь, 1978. – 296 с.
- [2] Митрошин В.Н., Митрошин Ю.В. Использование системного подхода при автоматизации непрерывных технологических процессов кабельного производства // Вестник Самар. гос. техн. ун-та. Сер. Технические науки. – 2010. – № 7(28). – С. 26–1.
- [3] Митрошин В.Н. Многопараметрическое управление производством кабелей связи на основе прогнозирующих моделей // Вестник Самар. гос. техн. ун-та. Сер. Технические науки. – 2013. – № 4(40). – С. 37 – 44.
- [4] Торнер Р.В. Теоретические основы переработки полимеров. – М.: Химия, 1977. – 464 С.
- [5] Тадмор З., Гогос К. Теоретические основы переработки полимеров. – М.: Химия, 1984. – 628 с.
- [6] Митрошин В.Н. Описание одночервячного экструдера как объекта управления с распределенными параметрами // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Сер. Технические науки. – 2007. – №1. – С. 162-174.
- [7] Митрошин В.Н., Нечаев А.С. Математическая модель течения расплава полимера в зоне дозирования одночервячного экструдера как объекта с распределенными параметрами // Ползуновский вестник. – 2012. – № 3/2. – С. 13 – 16.
- [8] Рапопорт Э.Я. Структурное моделирование объектов и систем управления с распределенными параметрами. – М.: Высш. шк., 2003. – 299 с.
- [9] Бутковский А.Г. Структурная теория распределенных систем. – М.: Наука, 1977. – 320 с.
- [10] Смирнов Н.И., Сабанин В.Р., Репин А.И. Робастные многопараметрические регуляторы для объектов с транспортным запаздыванием // Промышленные АСУ и контроллеры.– 2006.– № 7. – С. 34–38.
- [11] Митрошин В.Н. Структурное моделирование процесса охлаждения изолированной кабельной жилы при ее изготовлении на экструзионной линии // Вестник Самар. гос. техн. ун-та. Сер. Технические науки: Научный журнал. – Самара: СамГТУ, 2006, №40. – С. 22-33.
- [12] Митрошин В.Н. Оптимальное управление охлаждением кабельной изоляции при её изготовлении // Проблемы управления и моделирования в сложных системах: Труды XI Международной конференции (Самара, 22-24 июня 2009 г.). – Самара: Самарский научный центр РАН, 2009. – С. 318–324.

ПРИМЕНЕНИЕ ЛОГИКО-ДИНАМИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ МНОГОСВЯЗНЫМИ СИСТЕМАМИ

Б.Г. Ильясов, Г.А. Сайтова, И.И. Сабитов

Уфимский государственный авиационный технический университет
450008, Уфа, ул. К. Маркса, 12, Россия

ilyasov@tc.ugatu.ac.ru, saitova@bk.ru, iskra1990@gmail.com
тел: +7 (347) 273-79-27, факс: +7 (347) 272-29-18

Ключевые слова: логико-динамический алгоритм, многосвязная система автоматического управления, параметрическая неопределенность.

Abstract

The logical-and-dynamic regulator that is forming logically corrected separate subsystem's control signal with the effect of cross-impacts is proposed. In this paper we have compared the actual logical algorithms with synthesized double algorithm. It has been established that the given logical regulator stabilizes the separate subsystem's dynamic and provides a required control quality without any rebuild of parameters.

Введение

Развитие технических средств влечет появление сложных технических объектов (СТО), представляющих собой множество взаимосвязанных и взаимодействующих через естественные перекрестные связи внутри объекта сепаратных подсистем. Примерами таких объектов являются энергетические комплексы, газотурбинные двигатели, синхронные генераторы, электроприводы и так далее. Рассматриваемый класс объектов управления является непрерывным, нестационарным и многосвязным – на различных режимах функционирования изменяются динамические и статические свойства сепаратных подсистем и перекрестных связей между ними.

Системы автоматического управления такими сложными техническими объектами необходимо разрабатывать в классе многосвязных систем автоматического управления (МСАУ), которые бы использовали все доступные ресурсы на каждом режиме работы объекта для эффективного достижения цели функционирования с учетом обеспечения заданных технических требований.

Однако в процессе проектирования систем автоматического управления такого рода сложными техническими объектами, параметры которых изменяются в широких пределах в процессе работы, возникают существенные трудности. Существующие подходы к проектированию МСАУ не позволяют в полной мере обеспечивать требуемое качество функционирования СТО на всех режимах его работы и изменениях внешней среды, так как заданный «жесткий» алгоритм не позволяет учитывать в полной мере динамику поведения объекта в заданном множестве условий работы. Поэтому проблемы управления такими объектами являются весьма актуальными и трудноразрешимыми для существующей теории автоматического управления.

1 Логико-динамическая многосвязная система автоматического управления

Для решения выделенной проблемы необходимо формировать такую систему управления, которая позволяла бы «гибко» изменять структуру и параметры МСАУ с учетом характера поведения СТО в целом ради достижения глобальной цели функционирования. Среди перв

спективных систем автоматического управления хорошо зарекомендовали себя логико-динамические системы управления [1], изменяющие структуру и параметры управляющей подсистемы с помощью переключений, формирующихся на основании некоторого логического алгоритма. Такой подход позволит придать системе управления принципиально новые свойства, позволяющие в полной мере учитывать характер и динамику движения объекта управления.

Существует множество различных алгоритмов логического управления. Рассмотрим некоторые из них.

В работе Е.К. Шигина [2] предложен логический алгоритм (ЛР_1), изменяющий коэффициент передачи прямого контура управления в зависимости от того, на участке разгона или торможения находится на данный момент система:

$$(1) \quad \varepsilon^*(t) = \begin{cases} k_1 \varepsilon(t) & \text{при } \varepsilon'(t) \varepsilon''(t) \geq 0, \\ k_2 \varepsilon(t) & \text{при } \varepsilon'(t) \varepsilon''(t) < 0, \end{cases}$$

где $\varepsilon(t)$ – собственная ошибка управления, k_1 и k_2 – параметры алгоритма ($k_1 < k_2$).

В работе С.В. Емельянова и А.И. Федотовой [3] предложен логический алгоритм (ЛР_2), вырабатывающий сигнал управления на основе информации о приближении системы к положению равновесия:

$$(2) \quad \varepsilon^*(t) = \begin{cases} k\varepsilon(t) + T\varepsilon'(t) & \text{при } \varepsilon(t)\varepsilon'(t) \geq 0, \\ k\varepsilon(t) - T\varepsilon'(t) & \text{при } (k\varepsilon(t) + T\varepsilon'(t))\varepsilon'(t) < 0, \\ -k\varepsilon(t) + T\varepsilon'(t) & \text{при } (k\varepsilon(t) + T\varepsilon'(t))\varepsilon'(t) < 0, \end{cases}$$

где $\varepsilon(t)$ – собственная ошибка управления, k и T – параметры алгоритма.

Общим для рассмотренных логических алгоритмов управления является то, что переключение параметров системы происходит на основании функции ошибки управления $\varepsilon(t)$ и ее производных $\varepsilon'(t)$, $\varepsilon''(t)$. Данный подход обеспечивает нечувствительность качества процессов управления к изменению параметров объекта управления в небольших пределах. Однако при переключении структуры и/или изменении параметров учитывается динамика только собственной сепаратной подсистемы, что не позволяет в полной мере учитывать влияние естественных перекрестных связей. При разработке существующих логических алгоритмов управления не рассматривались вопросы их применения для управления многосвязным объектом.

Таким образом, основной проблемой, связанной с применением логико-динамических систем для управления многосвязным техническим объектом, является разработка логического алгоритма, учитывающего не только текущее состояние и динамику объекта управления, но и влияние перекрестных связей в объекте на характер функционирования всей МСАУ в целом.

Концепция предлагаемого двойного логического управления заключается в формировании логически скорректированного сигнала управления для каждой сепаратной подсистемы исходя из интеграции основного логического корректирующего алгоритма управления собственной сепаратной подсистемой и дополнительного координирующего логического алгоритма, учитываяющего влияние перекрестных связей.

Структура схема двухканального логико-динамического регулятора, реализующего предложенную концепцию управления, представлена на рис. 1. где для каждой i -й ($i = 1, \dots, n$) сепаратной подсистемы справедливо $\varepsilon_i(t)$, $\varepsilon'_i(t)$ – собственная ошибка управления и ее производная, $\varepsilon_i^*(t)$ – скорректированная ошибка управления, $y_i(t)$, $y_j(t)$ – собственная и не собственная ($j = 1, \dots, n, j \neq i$) выходная координата, $y'_i(t)$, $y'_j(t)$ – производная собственной и не собственной выходной координаты, $\bar{y}'_i(t)$ – координирующий сигнал, $u_i(t)$, $\bar{u}_i(t)$, $u_i^*(t)$ – собственный, координирующий и логически скорректированный сигналы управления. Отметим, что дополнительный линейный регулятор вводится для сохранения свойства астатизма сепаратной подсистемы.

Корректирующий логический алгоритм синтезирован путем дискретного анализа динамики движения сепаратной подсистемы к положению равновесия по сигналам ошибки управления $\varepsilon_i(t)$ и её производной $\varepsilon_i'(t)$ [4] и формирует скорректированную ошибку $\varepsilon_i^*(t)$ с целью стабилизации динамики движения собственной сепаратной подсистемы по следующей логике:

$$(3) \quad \varepsilon_i^*(t) = \begin{cases} \varepsilon_i(t) & \text{при } (\varepsilon_i(t)\varepsilon_i'(t) \leq 0) \wedge [\varepsilon_i(t)(K_{\text{Л}}\varepsilon_i(t) + T_{\text{Л}}\varepsilon_i'(t)) \geq 0], \\ \varepsilon_i(t) + T_{\text{Л}}\varepsilon_i'(t) & \text{при } (\varepsilon_i(t)\varepsilon_i'(t) \leq 0) \wedge [\varepsilon_i(t)(K_{\text{Л}}\varepsilon_i(t) + T_{\text{Л}}\varepsilon_i'(t)) < 0], \\ K_{\text{Л}}\varepsilon_i(t) + T_{\text{Л}}\varepsilon_i'(t) & \text{при } \varepsilon_i(t)\varepsilon_i'(t) > 0, \end{cases}$$

где $K_{\text{Л}}$ и $T_{\text{Л}}$ – параметры логического алгоритма, настраиваемые в зависимости от внешних условий и режимов работы многосвязного объекта управления.

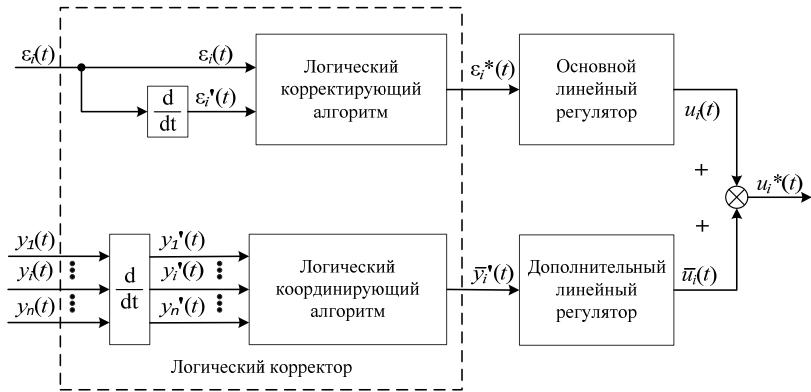


Рисунок 1 – Структурная схема двойного логического алгоритма

Координирующий логический алгоритм синтезирован путем сравнительного дискретного анализа динамики движения собственной сепаратной подсистемы $y_i'(t)$ с динамикой движения лидера $y'(t)$ среди остальных сепаратных подсистем [5] и формирует координирующий сигнал $\bar{y}_i'(t)$ с целью согласования динамики движения собственной сепаратной подсистемы с динамикой движения остальных сепаратных подсистем по следующей логике:

$$(4) \quad \bar{y}_i'(t) = \begin{cases} 0 & \text{при } (y_i'(t)y'(t) \geq 0) \wedge [y_i'(t)(y_i'(t) - y'(t)) \leq 0], \\ -\alpha_{\text{Л}}y'(t) & \text{при } (y_i'(t)y'(t) \geq 0) \wedge [y_i'(t)(y_i'(t) - y'(t)) > 0], \\ \alpha_{\text{Л}}y'(t) & \text{при } y_i'(t)y'(t) < 0, \end{cases}$$

где $y'(t)$ – динамика «лидера» среди j -х сепаратных подсистем:

$$(5) \quad y'(t) = \max \{y_j'(t)\}, \quad j = 1, \dots, n, j \neq i,$$

$\alpha_{\text{Л}}$ – параметр логического алгоритма, настраиваемый в зависимости от внешних условий и режимов работы многосвязного объекта управления.

Таким образом, синтезированный двойной логический алгоритм учитывает структурные и функциональные особенности исследуемого класса объектом при формировании сигнала управления для каждой сепаратной подсистемы в составе МСАУ СТО.

2 Сравнительный анализ логико-динамических алгоритмов при управлении многосвязной системой

Многообразие логических алгоритмов управления обуславливает необходимость в проведении их сравнительного анализа с предложенным двухканальным логическим алгоритмом по качеству управления многосвязным объектом. Структура исследуемой гомогенной трехсвязной САУ СТО с логическими алгоритмами управления представлена на рисунке 2.

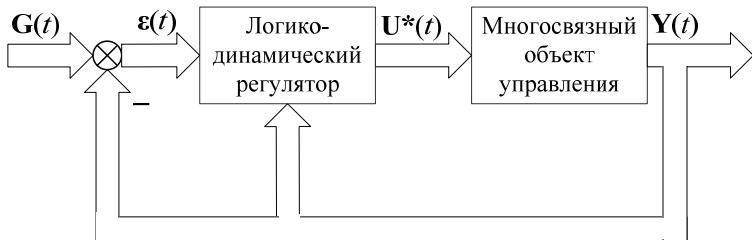


Рисунок 2 – Структурная схема исследуемой логико-динамической МСАУ СТО

В качестве автономного объекта управления в каждой i -й сепаратной подсистеме рассмотрим последовательное соединение колебательного звена и апериодического звена, которое можно описать следующей заданной передаточной функцией $W_{OYii}(s)$:

$$(6) \quad W_{OYii}(s) = \frac{K_{OYii}}{(T_{IM}s + 1)(T_{OY}^2 s + 2T_{OY}\xi_{OY}s + 1)},$$

где для каждой i -й сепаратной подсистемы справедливо K_{OY} – коэффициент передачи объекта управления, T_{OY} – постоянная времени объекта управления, ξ_{OY} – коэффициент демпфирования объекта управления, T_{IM} – постоянная времени исполнительного механизма. На расчетном режиме параметры объекта управления принимают следующие заданные значения: $K_{OY} = 0,5$, $T_{OY} = 1$ сек., $\xi_{OY} = 0,75$, $T_{IM} = 0,5$ сек.

В качестве линейного регулятора в составе каждой i -й сепаратной подсистемы рассмотрим изодромное звено со следующей передаточной функцией $W_{PERii}(s)$:

$$(7) \quad W_{PERii}(s) = \frac{K_{PER}(\tau_{PER}s + 1)}{s},$$

где для каждой i -й сепаратной подсистемы справедливо K_{PER} – коэффициент передачи линейного регулятора, τ_{PER} – постоянная форсирования линейного регулятора. Параметры линейного регулятора рассчитаны для каждой сепаратной подсистемы, работающей в автономном режиме: $K_{PER} = 0,66$, $\tau_{PER} = 0,6$ сек.

Значения параметров логических алгоритмов, обеспечивающих квазиоптимальное управление сепаратными подсистемами, представлены в таблице 1.

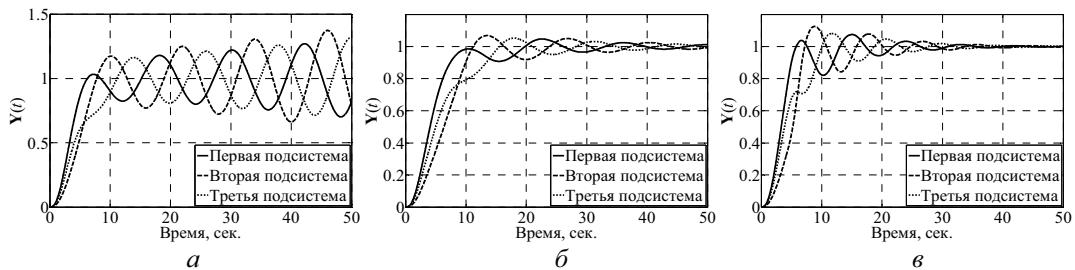
Таблица 1 – Исследуемые логические алгоритмы управления

Логико-динамический алгоритм	Значения логических параметров
<i>Е. К. Шигина (ЛР₁)</i>	$k_1 = 0,7, k_2 = 0,9$
<i>С. В. Емельянова и А. И. Федотовой (ЛР₂)</i>	$k = 0,81, T = 0,75$ сек.
<i>Предложенный (ЛР₃)</i>	$K_{\Delta} = 1, T_{\Delta} = 1$ сек, $\alpha_{\Delta} = 1$

Решим задачу сравнительного анализа логических алгоритмов в составе гомогенной трехсвязной САУ, в которой между сепаратными подсистемами образуются как стабилизирующие, так и дестабилизирующие связи. Многомерный элемент связи K_{OY} , соответствующий данному характеру перекрестных связей, описывается следующей заданной матрицей:

$$(8) \quad \mathbf{K}_{OV} = \begin{bmatrix} 1 & 0,6 & -0,7 \\ -1,2 & 1 & 0,6 \\ 0,5 & -0,8 & 1 \end{bmatrix}.$$

Графики переходных процессов $\mathbf{Y}(t)$ в исследуемой МСАУ представлены на рисунке 3.



a – без логико-динамических регуляторов;

б – с логико-динамическим регулятором Е. К. Шигина (LP_1);

в – с логико-динамическим регулятором С. В. Емельянова и А. И. Федотовой (LP_2).

Рисунок 3 – Графики переходных процессов $\mathbf{Y}(t)$ в исследуемой трехсвязной САУ

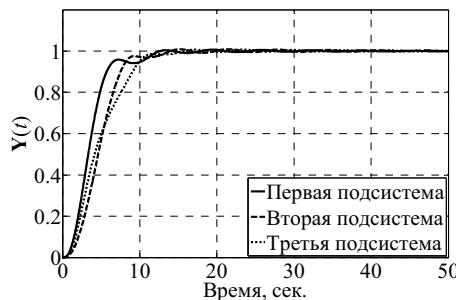


Рисунок 4 – Графики переходных процессов $\mathbf{Y}(t)$ в трехсвязной САУ с предложенным двойным логико-динамическим алгоритмом (LP_3)

По результатам моделирования можно сделать следующие выводы. Линейный регулятор и логико-динамический регулятор Е.К. Шигина (LP_1) не могут согласовать динамику движения сепаратных подсистем, что приводит к потере устойчивости МСАУ в целом за счет существенного влияния дестабилизирующих перекрестных связей. Логический алгоритм Емельянова С.В. и Федотовой А.И. (LP_2) несколько компенсирует влияние дестабилизирующих перекрестных связей за счет изменения коэффициента передачи с учетом динамики движения собственной сепаратной подсистемы, однако в исследуемой системе наблюдается значительные колебания и длительное время регулирования. Предложенный логический алгоритм (LP_3) эффективнее компенсирует влияние дестабилизирующих перекрестных связей за счет совместного действия логического корректирующего и координирующего алгоритмов. Таким образом, предложенный логический регулятор согласовывает и координирует динамику движения всех сепаратных подсистем, что позволяет существенно улучшить качество функционирования МСАУ СТО в целом, что показано на рисунке 4.

По результатам моделирования установлено, что существующие логические алгоритмы не позволяют управлять многосвязным объектом, так как при формировании сигнала управления не учитывают структурно-функциональные особенности данного класса объектов. Однако предложенный многомерный логический алгоритм, за счет формирования логического сигна-

ла управления с учетом влияния перекрестных связей, значительно улучшает качество функционирования как отдельных сепаратных подсистем, так и всей МСАУ СТО в целом.

Заключение

Предложен двойной логический алгоритм управления, вырабатывающий сигнал управления на основе анализа текущего состояния и динамики движения собственной сепаратной подсистемы и учитывающий влияние остальных сепаратных подсистем через естественные перекрестные связи внутри многосвязного технического объекта.

Проведен сравнительный анализ существующих логических алгоритмов управления с предложенным двойным логическим алгоритмом, по результатам которого подтверждена эффективность двойного логического алгоритма для управления многосвязными системами.

Благодарности

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ 15-08-01146, 14-08-97056
р_поворотье_a, 14-08-01019 А

Список литературы

- [1] Оптимизация многомерных систем управления газотурбинных двигателей летательных аппаратов / А.А. Шевяков, Т.С. Мартынова, В.Ю. Рутковский и др.; под общ. ред. А.А. Шевякова, Т.С. Мартыновой. – М.: Машиностроение, 1989. – 256 с.
- [2] Шигин, Е.К. Нелинейные системы автоматического регулирования со звеном, обладающим характеристикой типа Δ / Е.К. Шигин; МВТУ им. Баумана // Механика. – 1959. – № 92
- [3] Емельянов, С.В. Построение оптимальных систем автоматического регулирования второго порядка с использованием предельных значений коэффициентов усиления элементов контура регулирования / С.В. Емельянов, А.И. Федотова // Автоматика и телемеханика. – 1960. – Т. 21(1). – С. 56–63.
- [4] Логический закон управления сепаратной подсистемой при структурно-параметрических изменениях многосвязного объекта / Б.Г. Ильясов, Г.А. Сайтова, И.И. Сабитов // Наука и образование: электронное научно-техническое издание. 2014. № 11. С. 585–595. Режим доступа: http://technomag.bmstu.ru/file/749785.html?__s=1 (дата обращения: 27.02.2016).
- [5] Синтез многосвязных систем автоматического управления с логическими связями между подсистемами / Б.Г. Ильясов, И.И. Сабитов // Современные проблемы науки и образования: электронный научный журнал. № 1. Дата публикации: 27.02.2015. Режим доступа: <http://www.science-education.ru/pdf/2015/1/251.pdf> (дата обращения: 27.02.2016)

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ТЕПЛОВЫДЕЛЕНИЯ ПРИ АВТОКЛАВИРОВАНИИ ЯЧЕИСТОГО БЕТОНА

С.Я. Галицков, В.Н. Михелькевич, А.С. Болховецкий

Самарский государственный архитектурно-строительный университет
443001, Самара, ул. Молодогвардейская, 194, Россия

maes@samgasu.ru
тел: +7 (846) 242-14-20

Ключевые слова: автоклавная обработка, идентификация, ячеистый бетон, тепловыделение, тоберморит, тепловой поток.

Abstract

The article is devoted to identifying internal heat in massive of cellular concrete when it is autoclaved. A structure of a model has been designed. The methods of defining the parameters is given. The estimation of the model adequacy has been done.

Введение

Прочностные характеристики ячеистого бетона в значительной мере определяются технологическим процессом его автоклавирования [1], который представляет собой объект управления с распределенными нестационарными параметрами, что обусловлено как зависимостью теплотехнических характеристик ячеистого бетона от температуры, так и наличием внутреннего тепловыделения при образовании гидросиликатов кальция - тоберморита и ксонтолита [2]. Трудности синтеза систем автоматического управления автоклавированием в значительной мере вызваны отсутствием удобной для практики математической модели рассматриваемого технологического процесса.

1 Особенности внутреннего тепловыделения при автоклавировании ячеистого бетона

Известные результаты, приведенные в публикациях [1-5] по экспериментальному исследованию технологии автоклавирования ячеистого бетона на промышленных технологических установках создают предпосылки для идентификации динамики внутреннего тепловыделения.

Автоклавирование сырца ячеистого бетона [6] сопровождается химической реакцией по синтезу кристаллов тоберморита и ксонтолита в его структуре [2,3], что обуславливает прочность готовых изделий. Эта химическая реакция начинается при температуре не ниже 165°C и происходит с выделением тепла.

На динамику процесса тепловыделения влияют многие факторы. Ее энергетический эффект может быть представлен интегральной характеристикой – зависимостью теплового потока от времени. Известно, что в производственных условиях энталпия и скорость процесса твердения (образования гидросиликатов) изменяется в широких пределах [2] в зависимости от влажности сырца и марки используемого бетона, что говорит о нестационарности [7] данного технологического процесса.

Выполним идентификацию процесса тепловыделения, используя результаты [2] экспериментальных исследований динамики температуры $T(t)$ и давления $P(t)$ в автоклаве при производстве газобетона марок $D400$, $D500$, осуществленных на промышленной установке, оснащенной системой автоматического управления давлением в автоклаве. Здесь эффект тепловыделения наглядно отражается в работе релейного регулятора системы стабилизации давления

$P(t)$ в автоклаве. На динамической характеристике $P(t)$ можно наблюдать включение и отключение регулятора. Начальный момент тепловыделения определяем по кривой $T(t)$ из условия, когда температура в автоклаве достигает нижнего порога теплоты образования тоберморита - 165°C [2], а момент окончания – по кривой $P(t)$ по условию прекращения переключений в релейном регуляторе. Внутреннее тепловыделение приводит к увеличению давления в автоклаве по сравнению с заданным значением. Для стабилизации давления автоклав соединяют с теплоаккумулятором. Уменьшение объема пара приводит к снижению давления. Этот процесс наглядно отражается в характеристике $P(t)$ в форме скачков давления в зоне допустимых ограничений. Интенсивность таких переключений характеризует изменение во времени мощности тепловыделения. Экспериментально установлено, что процесс выделения тепла продолжается 4 - 4.5 часа. Допускаем, что ввиду значительного объема массива этот процесс носит во времени симметричный характер и может быть представлен гладкими кривыми количества тепла $Q(t)$ и мощности $\Phi(t) = dQ(t)/dt$ тепловыделения (рисунок 1, б-в). Принимая во внимание, что масса образуемого

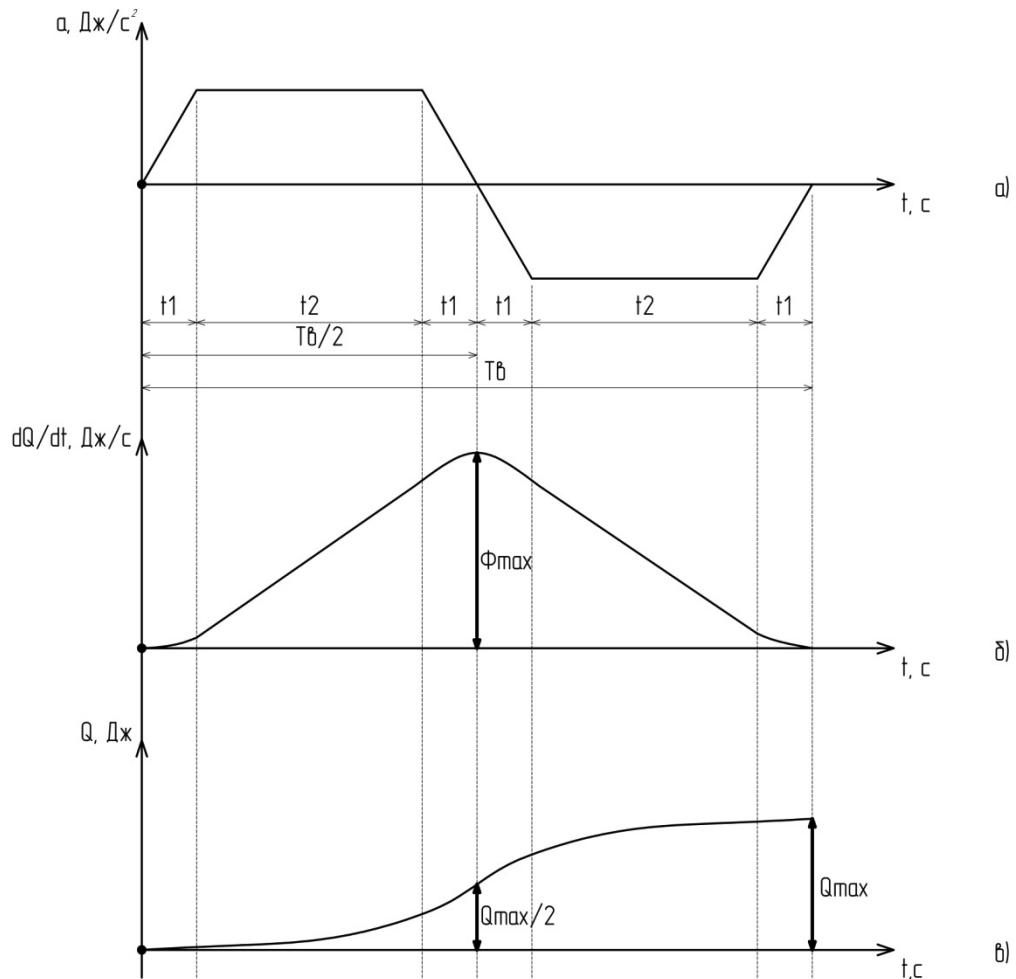


Рисунок 1- Графики зависимости величин по времени:
а) ускорения a ; б) теплового потока dQ/dt ; в) количества теплоты Q

тоберморита $m_{m\delta} = m_c k_{m\delta}$ (здесь m_c – масса сырца, $k_{m\delta}$ – доля тоберморита в m_c) и обозначая энталпию реакции $\Delta H_{m\delta}$, определим максимальное значение выделяемой теплоты:

$$(1) \quad Q_{max} = m_c \cdot k_{m\delta} \cdot \frac{\Delta H_{T\delta}}{M_{T\delta}},$$

По данным работ [2, 8, 9], $k_{m\delta} = 0,12$, $\Delta H_{m\delta} = 125,8 \text{ кДж/моль}$.

Для математического описания зависимостей $Q(t)$ и $\Phi(t)$ введем в рассмотрение линейно-кусочную аппроксимацию интенсивности тепловыделения $a = d\Phi(t)/dt$ (рис. 1, а), которая определяется ограничениями $\pm a_{max}$ и скоростью da/dt . Значение скорости da/dt можно выразить через временной интервал t_1 . Нетрудно показать, что в предложенном варианте моделирования динамики тепловыделения

$$(2) \quad a = \frac{Q_{max}}{(t_1+t_2)(2t_1+t_2)},$$

а максимальная мощность –

$$(3) \quad \Phi_{max} = \frac{Q_{max}}{2t_1+t_2}.$$

Этим математическим зависимостям соответствует вычислительная модель (рисунок 2), созданная в программной среде MatLab.

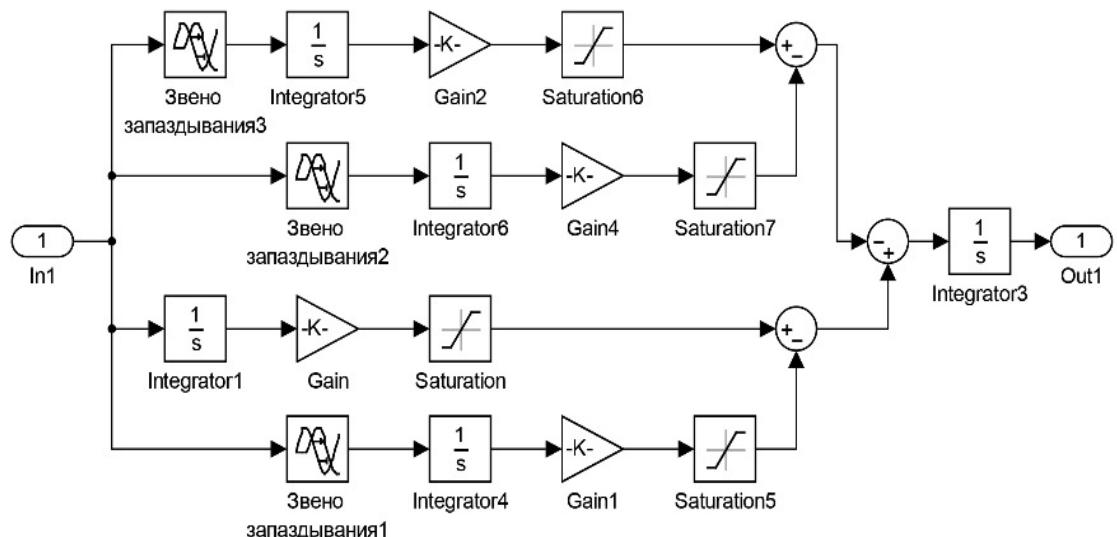


Рисунок 2 - Вычислительная модель тепловыделения

2 Оценка адекватности модели

Применительно к промышленной установке автоклава в которую загружается 12 массивов сырца, каждый размером $6 \times 1,3 \times 0,64 \text{ м}$, суммарной массой 36 тонн, где время тепловыделения $T_{m\delta}=4 \text{ ч.}$, вычислено значение $Q_{max}=2,7 \cdot 10^9 \text{ Дж}$, выбраны значения $t_1=0,1T_{m\delta}$, $t_2=0,3T_{m\delta}$, определены величины $\Phi_{max}=375 \text{ кВт}$, $a=65 \text{ Дж/с}^2$.

Разработанная модель тепловыделения использовалась в обобщенной структуре (рисунок 3) теплоэнергетических процессов в автоклаве, оснащенном системой автоматического управления давлением пара. Здесь задающее устройство 1 формирует интенсивность нарастания давления в автоклаве до заданного значения P_3 . Сигнал обратной связи по давлению $P_{авт}$ подается на инверсный вход сумматора 2. Нелинейные регуляторы 3 и 4 формируют управляющее воздействие U и подают его либо на подключение автоклава к питающей магистрали

котла (звено 5), либо - к тепловому аккумулятору 6 в зависимости от знака ошибки ΔP . Процесс автоклавирования сырца ячеистого бетона моделируется звеньями 7 и 8 с двумя выходными координатами: температура $T_{авт}$ и давление $P_{авт}$. Модель процесса внутреннего теплоизделия представлена звеном 9. Сумматор 10 отражает взаимодействие тепловых потоков Φ_m , Φ_{mb} и $\Phi_{акк}$.

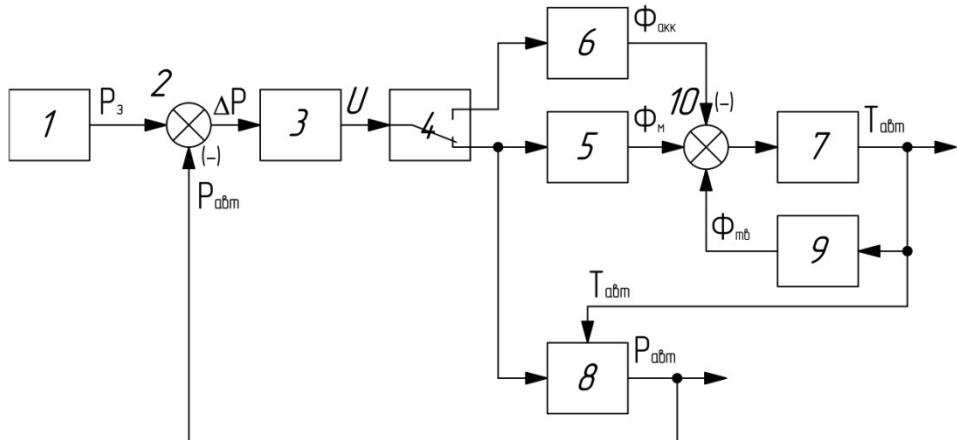


Рисунок 3 - Обобщенная структура теплоэнергетических процессов автоклава

В вычислительной модели, созданной на основании структуры (рис. 3), линейно нарастающий задающий сигнал $P_3=200 \text{ Pa/c}$ ограничивается на уровне $12 \cdot 10^5 \text{ Pa}$. Температура в автоклаве стабилизируется на уровне 187°C . В результате постановки эксперимента по динамике автоклавирования с учетом внутреннего теплоизделия получены кривые $P(t)$ и $T(t)$ (рисунки 4, 5), которые достаточно хорошо совпадают с опытными кривыми, приведенными в работе [2], что подтверждает адекватность разработанной модели внутреннего теплоизделия.

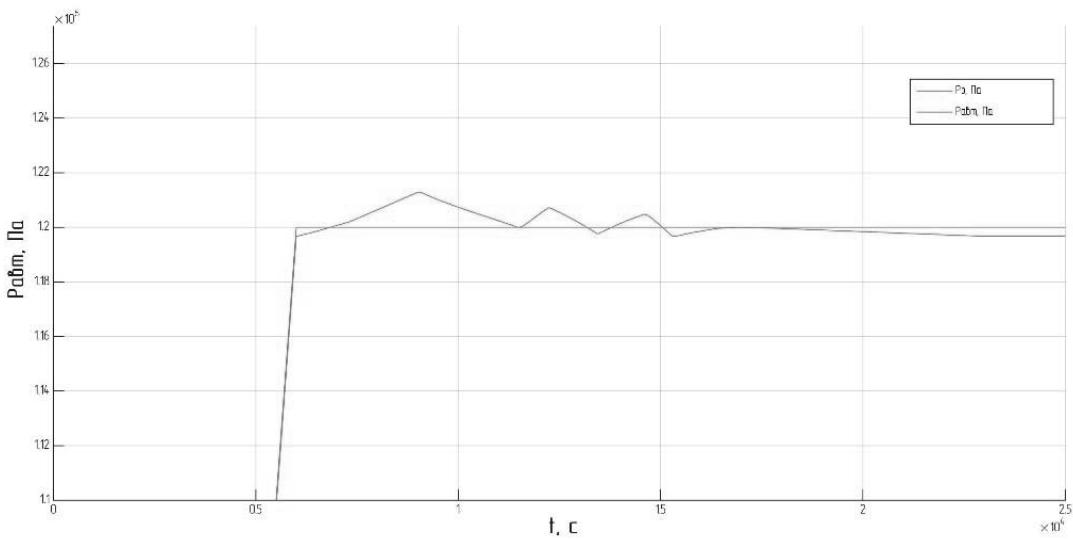


Рисунок 4 - Кривая давления $P(t)$ в системе стабилизации давления с учетом внутреннего источника тепла

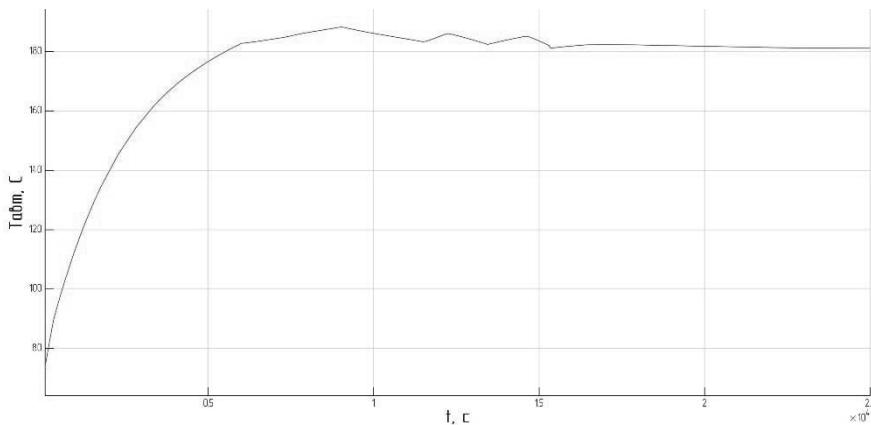


Рисунок 5 - Кривая температуры $T(t)$ в системе стабилизации давления
с учетом внутреннего источника тепла

Заключение

Получена структура математической модели процесса тепловыделения в виде совокупности линейных и нелинейных звеньев. Предложена методика определения параметров звеньев по результатам пассивного эксперимента, выполняемого в процессе автоклавирования в производственных условиях на действующем технологическом оборудовании.

Разработанная модель является составной частью математической модели объекта управления. Она используется при синтезе системы управления автоклавом, целевой функцией которой является производство ячеистобетонных изделий заданной прочности и плотности в условии минимизации расхода энергии на процесс автоклавирования.

Список литературы

- [1] Куиннос Г.Я. Элементы технологической механики ячеистых бетонов. - Рига: ЗИНАТНЕ, 1976. – С. 96
- [2] Кафтаева М.В., Рахимбаев И.Ш. Тепловыделение при синтезе гидросиликатной связки автоклавного газобетона. INTERNATIONAL JOURNAL OF APPLIED AND FUNDAMENTAL RESEARCH №10-2013. – С. 373-376
- [3] Акатьева Л.В. Синтез и физико-химические свойства ксонотлита и волластонита: диссертация ... канд. техн. наук: 02.00.01 – 2003. – С. 238
- [4] Кафтаева М.В., Шарапов О.Н., Шугаева М.А., Рахимбаев И.Ш. Энергосбережение при производстве автоклавных стеновых изделий для ограждающих конструкций зданий. Журнал «Современный проблемы науки и образования», выпуск №6. – М.: Академия естествознания, 2013.
- [5] Сажнев Н.П. Производство ячеистобетонных изделий теория и практика. / Гончарик В.Н., / Гарнашевич Г.С., / Соколовский Л.В. - Минск: Стринко, 1999. – С. 42-44
- [6] Галицков С.Я., Болховецкий А.С., Стулов А.Д. Структурное моделирование процессов продувки и вакуумирования ячеисто-бетонных изделий в автоклаве. Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Строительные технологии: сборник статей. – Самара, 2015. – С. 439-441
- [7] Галицков С.Я., Галицков К.С. Параметрическая идентификация гашения извести при производстве ячеисто-бетонной смеси. «Современные проблемы науки и образования №6». Материалы конференции. – Самара: СГАСУ, 2009. -22с.
- [8] Состав ячеистого бетона. Вопросы и ответы (<http://www.lzid.ru/faq>), 2016.
- [9] Состав и способ получения газобетона (<http://stroitel-list.ru/bloki-i-plity/gazobeton/iz-chego-sostoit-gazobeton.html>), 2016.

СИСТЕМА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ФОРМОВАНИЕМ КЕРАМИЧЕСКОЙ МАССЫ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ КИРПИЧА

К.С. Галицков, М.А. Назаров

Самарский государственный архитектурно-строительный университет
443001, Самара, ул. Молодогвардейская, 194, Россия
ksgal@yandex.ru; nazarovm86@yandex.ru
тел: 89272024823; 89171422893

Ключевые слова: керамический кирпич, шнековый вакуумный пресс, формование, объект управления, скорость сдвига керамической массы, влажность керамической массы, вакуумирование керамической массы, интеллектуальная система управления, имитационная модель, прочность кирпича, марка кирпича.

Abstract

Ceramic bricks strength, the presence or absence of cracks in the structure, the accuracy of the geometric dimensions are largely determined by the quality of the technological parameters of clay mass extrusion process control in auger extruder, which includes the actual extruder, clay mixer and vacuum chamber. The process of extrusion a multi-dimensional object is characterized by control vector output coordinates comprising shear rate, moisture and flow index of the ceramic mass, the vacuum in the vacuum chamber, loading levels mixer and vacuum chamber. Study results of this objects of control class shows that to ensure stable bricks production specified strength in terms of minimizing energy consumption by the action of the main perturbation – a variation of raw material rheological characteristics – necessary to ensure the coherent control of auger extruder. Analysis of well-known publications shows that currently used control system not effectively solve formulated technological problem. Therefore, the aim of the work is the efficient control of complex technological process – providing extrusion ceramic mass production of bricks required to specified strength grade. To achieve this goal, the following tasks. Firstly, introduction ACS channel structure information for controlling external influences exerted on the brick manufacturing process. Secondly, the development of problem-oriented simulation models that will provide forecasting of technological change in the situation when external influences. Third, the development of algorithms that allow to improve the simulation model in the process. As a result, it synthesized intelligent automatic control system design, which includes a subsystem of information about the state of the process, diagnostic unit, designed using simulation models and a bank of knowledge of basic production characteristics of ceramic paste extrusion. Creation and implementation of the proposed automatic control system of the auger vacuum extruder allows for competitive brick production specified strength grade in terms of reducing energy consumption.

Введение

Керамический кирпич является широко используемым строительным материалом, одной из основных характеристик которого (в соответствии с [1]) является марка по прочности R. Известно [2-6], что производство кирпича отличается нестабильностью характеристик исходного сырья и несовершенством способов управления технологическим оборудованием, в частности – шнекового пресса, используемого при формировании сырца. Это приводит к получению изделий с достаточно большим разбросом значений R, что зачастую приводит к снижению марки изготавливаемого кирпича. В работах [2, 7, 8] показано, что прочность кирпича в большей степени зависит от скорости сдвига $\dot{\gamma}$ керамической массы при ее формировании в шнековом вакуумном прессе. Величина $\dot{\gamma}$ определяется реологическими свойствами глины и техно-

логией формования – влажностью w керамической массы, разрежением P_b в вакуум-камере и скоростью ее движения в формующем звене.

Используемые в настоящее время способы производства кирпича заданной марки по прочности, связанные с повышением качества подготовки исходного сырья, использованием автономных систем автоматической стабилизации w , P_b и давления массы в формующем звене не дают эффективного решения задачи по снижению брака кирпича, вызванного нестационарностью формования. Это можно объяснить с помощью отображения процесса формования в пространстве $O \dot{\gamma} P_b w$ технологических параметров (здесь w – влажность керамической массы, P_b – разрежение в вакуум-камере пресса).

Исследования [1, 9, 10] показывают, что анализ сечения этого пространства при $P_b = \text{const}$ позволяет выделить на плоскости $O \dot{\gamma} w$ области, которые соответствуют производству кирпича определенных марок M_i кирпича (рисунок 1). Точки F_i с координатами $[w_0; \dot{\gamma}_F]$ в каждой из областей соответствуют режиму работы пресса, при котором допускается максимальный разброс физико-химических свойств сырья, так как эта точка находится на максимальном расстоянии от границ R_j и R_{j-1} , w_{\max} и w_{\min} .

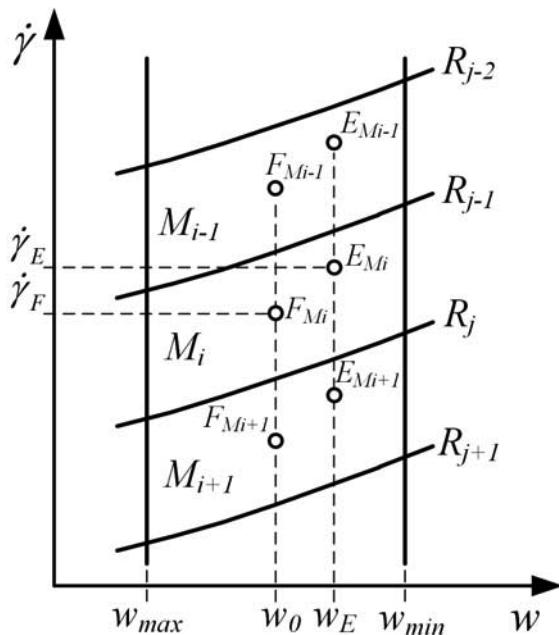


Рисунок 1 – Области марок керамического кирпича

Настоящая статья посвящена разработке новых эффективных путей стабильного выпуска кирпича требуемой марки по прочности в условиях повышения производительности и уменьшения удельных энергозатрат. Потребуем, чтобы разрабатываемая система управления обеспечивала автоматическое перемещение рабочей точки в положение E_i [$w_{Ei}; \dot{\gamma}_{Ei}$], более близкое к границам области в сторону увеличения скорости сдвига и влажности с учетом погрешностей работы локальных САУ. Очевидно, что ввиду того, что скорость сдвига $\dot{\gamma}_{Ei}$ в точке E_i больше $\dot{\gamma}_F$ в точке F_i , то в силу ее линейной зависимости от скорости вращения ω_4 шнека будет наблюдаться повышение производительности Q_n пресса. Кроме того, увеличение влажности от значения w_0 до w_E позволяет уменьшить энергозатраты на формование.

1 Объект управления

Формование керамической массы при производстве кирпича представляет сложный технологический процесс, который характеризуется множеством трудно формализуемых взаимосвязей. Обобщенная структура объекта управления (рисунок 2) включает в себя подачу глины ленточным питателем ЛП (с приводом ЭП1) расходом $Q_{л}$ в глиносмеситель ГСМ (с приводом ЭП2), где осуществляется производство глиняной массы, технологически параметры которой определяются вектором

$$\bar{X}_r = [w Q_r \mu \psi h_r S_r]^T,$$

где μ , ψ , S_r – коэффициент консистенции, индекс течения керамической массы и показатель, характеризующий упаковку частиц керамической массы на выходе глиносмесителя; $w = F_1(w_0, Q_b)$; w_0 – исходная влажность глины; h_r – уровень загрузки глиносмесителя, $h_r = F_2(Q_{л}, Q_r)$, $Q_{л}$, Q_r – производительности ленточного питателя и глиносмесителя.

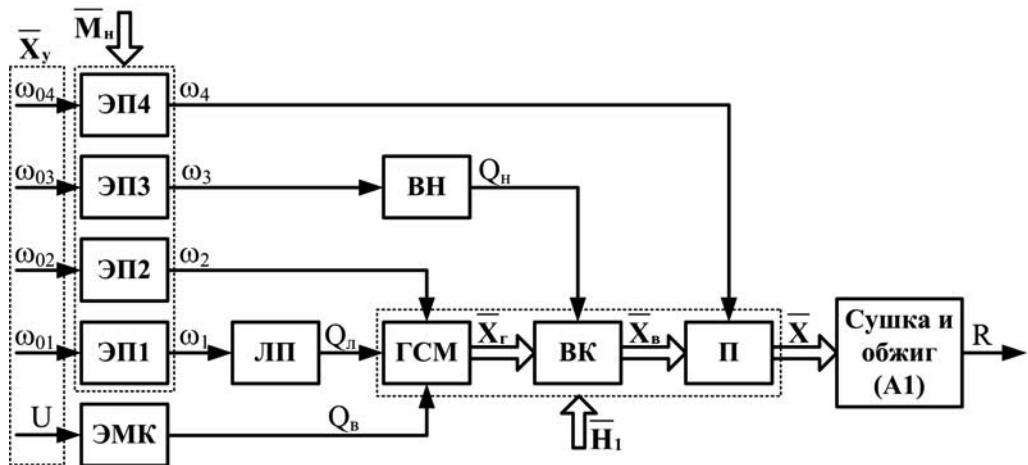


Рисунок 2 – Обобщенная структура объекта управления

Регулирование подачи Q_b воды в ГСМ выполняется электромагнитным клапаном ЭМК; деаэрация массы в вакуум-камере ВК производится с помощью вакуумного насоса BH (с приводом ЭП3) с расходом Q_h , создающего разрежение P_b ; формование – в прессе П, шнек которого вращается электроприводом ЭП4.

Состояние объекта управления определяется вектором его выходных координат

$$\bar{X} = [w Q_n \mu \psi S_n P_n \dot{\gamma}]^T,$$

где P_n – давление керамической массы в формирующем звене; S_n – показатель, характеризующий упаковку частиц керамической массы на выходе пресса.

Управление объекта осуществляется вектором $\bar{X}_y = [\omega_{01} \omega_{02} \omega_{03} \omega_{04} U]^T$, формирующим воздействия на двигатели в форме изменения частоты ω_0 напряжения, подаваемого на машины, и напряжение U питания ЭМК.

Основные возмущения, которым подвержен объект описаны вектором нагрузочных моментов $M_h = [M_{h1} M_{h2} M_{h3} M_{h4}]^T$ и вектором возмущающих воздействий \bar{H}_1 , учитывающим изменения физико-механических свойств керамической массы.

Блок «сушка и обжиг» носит в структуре методический характер. Он отражает влияние параметров сырца на R готового кирпича.

2 Структура системы интеллектуального управления формированием керамической массы

Разработанный вариант структуры интеллектуальной системы автоматического управления шнековым вакуумным прессом ориентирован на автоматическое обеспечение сочетания рациональных значений технологических параметров процесса формования путем формирования значений элементов вектора \bar{X}_3 , задающих сигналов. Для решения этой задачи в структуре, включающей в себя пять сепаратных каналов и многомерный объект управления ОУ (рисунок 3) дополнительно вводится формирователь вектора задающих сигналов ФВЗС, в котором используются три базы данных: БД ТХС (технологические характеристики сырья), БД ТХО (технические характеристики оборудования), БД ТХИ (требования к характеристикам выпускаемого изделия), две базы знаний: БЗ ПФ (процесс формования) и БЗ ПСО (процесс сушки и обжига), блоки коррекции баз знаний: БОК (оценки достоверности модели оператора А₁) и БК (коррекции параметров имитационной модели). База знаний БЗ ПФ включает в себя алгоритм [7] определения оптимальных значений элементов вектора \bar{X}_3 .

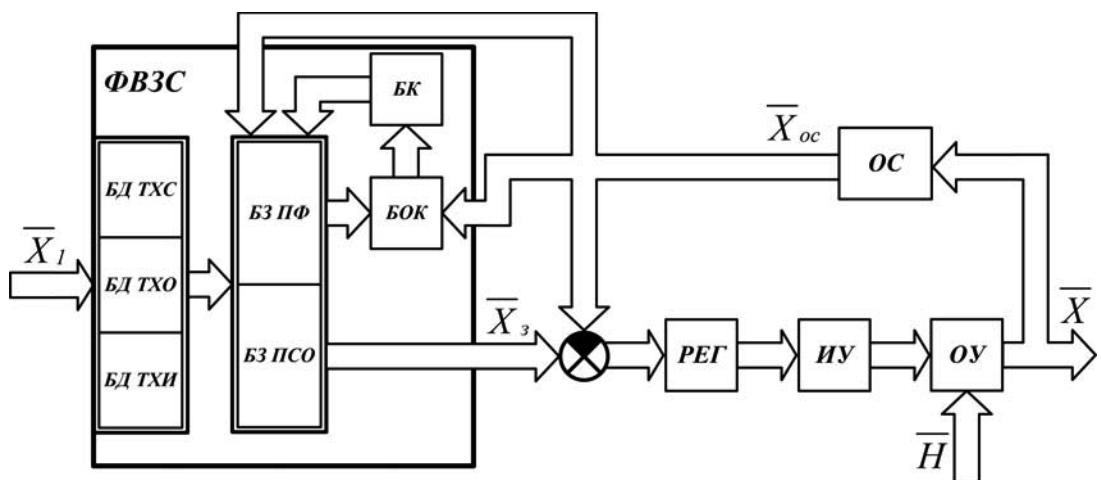


Рисунок 3 – Структура интеллектуальной системы автоматического управления шнековым вакуумным прессом

Многомерный блок ОС включает в себя устройства обратных связей и цифровые наблюдатели параметров w , P_v , ψ , ω_4 , $\dot{\gamma}$, R , h_r , h_b . Исполнительные устройства и регуляторы представлены блоками ИУ и РЕГ. Считаем, что блок регуляторов Р системы управления, блок устройств сравнения и блок формирования вектора \bar{X}_3 , задающих сигналов ФВЗС реализуются программным путем в промышленном контроллере.

Заключение

Сформулирована задача автоматизации формования керамической массы с целью производства кирпича заданной прочности. Показано, что в условиях возмущений, действующих на процесс формования решение задачи может быть выполнено путем синтеза интеллектуальной системы управления. Разработана структура такой системы управления, учитывающая особенности технологического объекта.

Список литературы

- [1] ГОСТ 530-2012 Кирпич и камень керамические. Общие технические условия. – М.: Стандартинформ, 2012. – 39 с.
- [2] Galitskov S.Ya., Nazarov M.A., Galitskov K.S. Structure of Intelligent Control System of Auger Vacuum Extruder for Ceramic Bricks' Manufacturing // International Journal of Applied Engineering. – Vol. 10, Number 20. – 2015. – Pp. 40846-40852.
- [3] Галицков С.Я., Назаров М.А., Галицков К.С., Масляницын А.П. Управление формованием керамических камней в шнековом прессе с использованием элементов ассоциативной памяти // Научное обозрение. – 2013. – № 12. – С. 200-203.
- [4] Галицков С.Я., Назаров М.А. Структурный синтез интеллектуальной системы стабилизации прочности керамических камней на технологическом этапе их формирования // Интерстроймех-2013: материалы Международной научно-технической конференции. – 2013. – С. 33-34.
- [5] Силенок С.Г., Борщевский А.А., Горбовец М.Н. Механическое оборудование предприятий строительных материалов, изделий и конструкций. – М.: Машиностроение, 1990. – 416 с.
- [6] Чубаров Г.С. Методы повышения производительности формовочных отделений заводов по производству глиняного кирпича. – М.: Государственное издательство литературы по строительным материалам, 1957. – 32 с.
- [7] Галицков С.Я., Галицков К.С., Назаров М.А. Задающее устройство и наблюдатель скорости сдвига керамической массы в формующем звене шнекового вакуумного пресса // Промышленное и гражданское строительство. – 2015. – № 9. – С. 27-30.
- [8] Галицков С.Я., Галицков К.С., Назаров М.А. Методика проектирования интеллектуальной системы управления формированием керамической массы в шнековом прессе // Научное обозрение. – 2015. – № 14. – С. 213-218.
- [9] Галицков С.Я., Галицков К.С., Назаров М.А. Математическое моделирование формования керамической массы в шнековом прессе как объекта автоматизации производства кирпича // Промышленное и гражданское строительство. – 2014. – № 3. – С. 25-29.
- [10] Галицков С.Я., Назаров М.А. Моделирование поля скоростей сдвиговых деформаций керамической массы в формующем звене шнекового пресса // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 8-1. – С. 29-32.

Biography

Galitskov Konstantin Stanislavovich, PhD, vice-chancellor for research, Samara State university of architecture and civil engineering, Russia.

Nazarov Maxim Aleksandrovich, PhD, head of laboratory at «Mechanization, automation and power supply of construction» department, Samara State university of architecture and civil engineering, Russia.

УПРАВЛЕНИЕ ВРАЩАЮЩЕЙСЯ ПЕЧЬЮ ПРОИЗВОДСТВА КЕРАМЗИТА КАК ОБЪЕКТОМ С НЕСТАЦИОНАРНЫМИ ПАРАМЕТРАМИ

А.С. Фадеев, В.В. Сабуров

Самарский государственный архитектурно-строительный университет
443110, Самара, ул. Молодогвардейская, 194, Россия

maes@samgasu.ru
тел: +7 (846) 339-14-37, 339-14-13

Ключевые слова: совместное управление, режим работы горелки, режим работы питателя, алгоритм согласованного управления, керамзит, заданная плотность, вращающаяся печь, температура керамзита.

Abstract

The peculiarities of synthesis of systems of coordinated control of firing expanded clay gravel in rotary furnace under conditions to minimize energy consumption. The proposed method Oprah-dividing values of elements of the vector defining impact on the control system, learn to earn technological limitations on the firing process of expanded clay.

Введение

Современные требования к производству керамика заданной марки со стабильным значением плотности могут быть выполнены при модернизации известных систем автоматического управления газовой горелкой и загрузкой печи. Установлено [1, 2], что плотность керамзита в значительной мере определяется соотношением температурных режимов в двух сечениях (A и C) печи (рисунок 1). Показано, что температура в этих сечениях определяется, главным образом, загрузкой сырца и режимом работы горелки. В связи с этим весьма актуальным является синтез алгоритма согласованного автоматического управления мощностью горелки и величиной загрузки печи, ориентированного на производство керамзита плотности ρ в условиях минимизации энергозатрат на его обжиг.

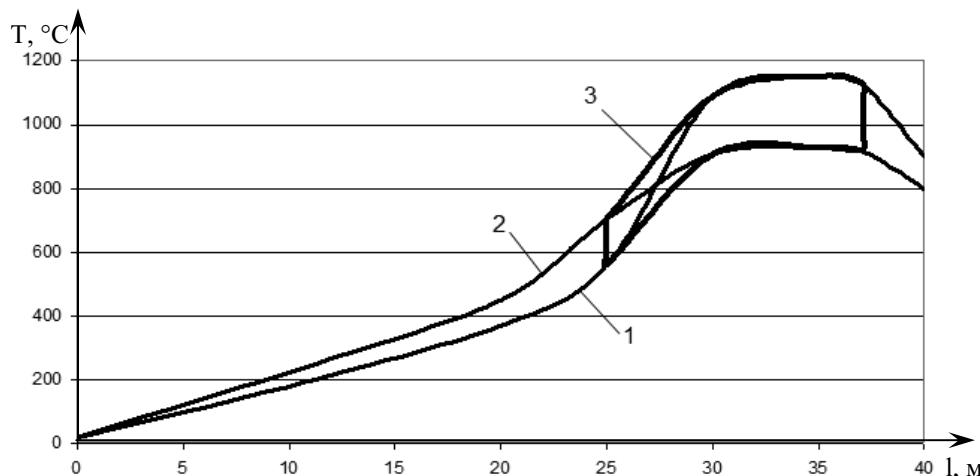


Рисунок 1 – Отражение вариации параметров на кривой обжига

1 Особенности управления вспучиванием керамзита при его обжиге

Анализ кривых обжига керамзита [1, 2] показывает, что изменение объемной тепловой мощности горелки Q_r приводит к значительному отклонению температуры T_C керамзита в сечении С печи и к изменению плотности ρ . Зависимость

$$(1) \quad \Delta T_C = f_1(Q_r)$$

существенно нелинейна [3, 4].

Изменение величины загрузки q_3 сырца в печь вызывает отклонение температуры T_A керамзита в сечении А печи в соответствии с выражением

$$(2) \quad \Delta T_A = f_2(q_3),$$

что также приводит к изменению плотности ρ .

Если использовать Q_r и q_3 в качестве управляющих воздействий на процесс обжига, то, как показано в [2], печь представляет собой двумерный объект управления с перекрестными связями (рисунок 2). Состояние объекта определяется значениями T_A и T_C .

Структура канала А питателя (рисунок 2) включает в себя операторы двигателя $W_{ad1}(p)$, ленточного питателя $W_{lp}(p)$ и собственный оператор $W_{TA}^y(p)$, описывающий процесс вспучивания в соответствии с выражением (2). Структура канала С горелки включает в себя операторы двигателя $W_{ad2}(p)$, передаточного механизма, регулирующей газовой арматуры $W_{ppr}(p)$, горелки $W_{rop}(p)$ и собственный оператор $W_{TC}^{Qn}(p)$, описывающий процесс вспучивания в соответствии с выражением (1).

Анализ результатов [2-4] вычислительных экспериментов процесса обжига позволил выявить структуры и значения параметров моделей межканальных связей по отношению к управляющим воздействиям и возмущению w . Они представлены (рисунок 2) операторами $W_{TA}^y(p)$, $W_{TC}^y(p)$ и $W_{TA}^6(p)$ и $W_{TC}^6(p)$.

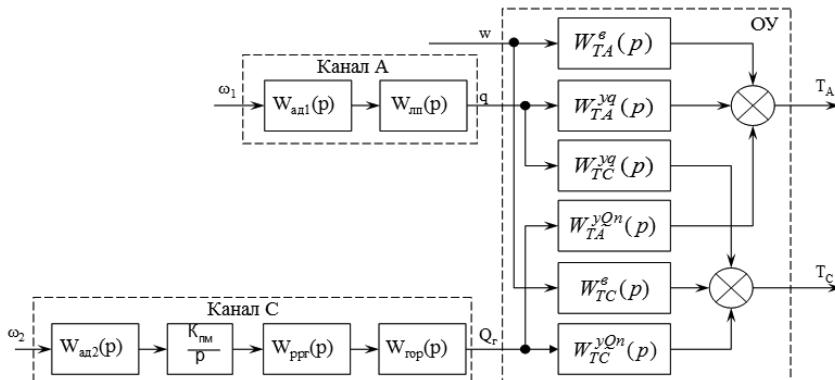


Рисунок 2 – Структура объекта управления и каналов А и С

Для приведенной на рисунке 2 структуры по ранее описанным закономерностям нужно построить систему управления, которая позволит стабилизировать температуры в двух сечениях таким образом, чтобы можно было получить керамзит с заданной насыпной плотностью при минимальных энергозатратах.

В решении поставленной задачи производства керамзита с заданной насыпной плотностью при минимальных энергозатратах можно выделить два этапа. На первом осуществляется синтез структуры системы согласованного автоматического управления горелкой и загрузкой печи. На втором – производится синтез алгоритма нахождения наиболее рациональных задающих параметров (температур T_A и T_C) для каждого из каналов.

2 Синтез структуры согласованной системы управления обжигом керамзита во вращающейся печи

Структура разработанной системы (рисунок 3) включает в себя вычислитель T_A и T_C , который обеспечивает инвариантность процесса вспучивания от возмущения w и организует согласованное управление питателем и горелкой [5]. Для этого выполняется стабилизация значений температуры керамзита в сечениях А и С.

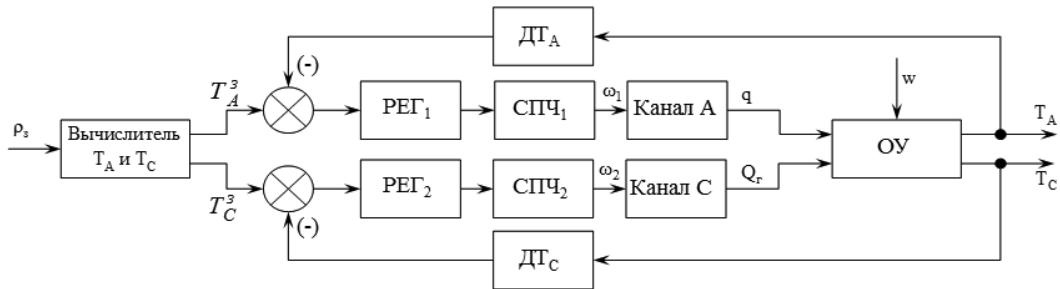


Рисунок 3 – Структурная схема системы

Выбор задающих значений T_C^3 и T_A^3 температуры керамзита производится в соответствии с нелинейными зависимостями (1) и (2). В результате моделирования процесса обжига на вычислительной модели [2] в условиях вариации Q_r и q_3 (в рамках ограничений по возможности протекания процесса вспучивания) определена область управляемости обжига, которая характеризует возможности печи по выпуску керамзита с диапазоном плотности $\rho_{3 \min} - \rho_{3 \max}$. Эта область ограничена сверху и снизу кривыми обжига 1 и 2 (рисунок 3). Для получения керамзита с заданным значением плотности ρ_3 , находящимся внутри диапазона $\rho_{3 \min} - \rho_{3 \max}$, находится оптимальная траектория 3, соблюдение технологии обжига по которой позволяет производить керамзит с ρ_3 в условиях минимальной мощности Q_r .

3 Алгоритм выбора оптимальных значений T_C^3 и T_A^3

Разработанный алгоритм (рисунок 4) включает в себя оператор 2 расчета граничных значений T_A и T_C по условиям обжига и ограничениям [3, 6]. Он определяет область управляемости, в которой располагается искомая кривая обжига со значениями T_A^3 и T_C^3 . Оператор 6 в соответствии с заданным значением ρ_3 определяет T_A^3 и T_C^3 , в соответствии с которыми с помощью операторов 7 и 8 находятся значения Q_r и q_3 . Оператор 9 уточняет с помощью вычислительной модели процесса обжига ожидаемую величину плотности $\rho_{\text{расч}}$. Условие 4 обеспечивает контроль за возможностью реализации в синтезированной системе технологического процесса с выбранными значениями T_A^3 и T_C^3 .

Заключение

Разработана структура многомерной системы автоматического согласованного управления горелкой и загрузкой печи при обжиге керамзита с заданной плотностью во вращающейся печи. Синтезирован алгоритм выбора оптимальных значений температуры керамзита в сечениях А и С, которые обеспечивают минимизацию энергозатрат при производстве керамзита с заданной насыпной плотностью.

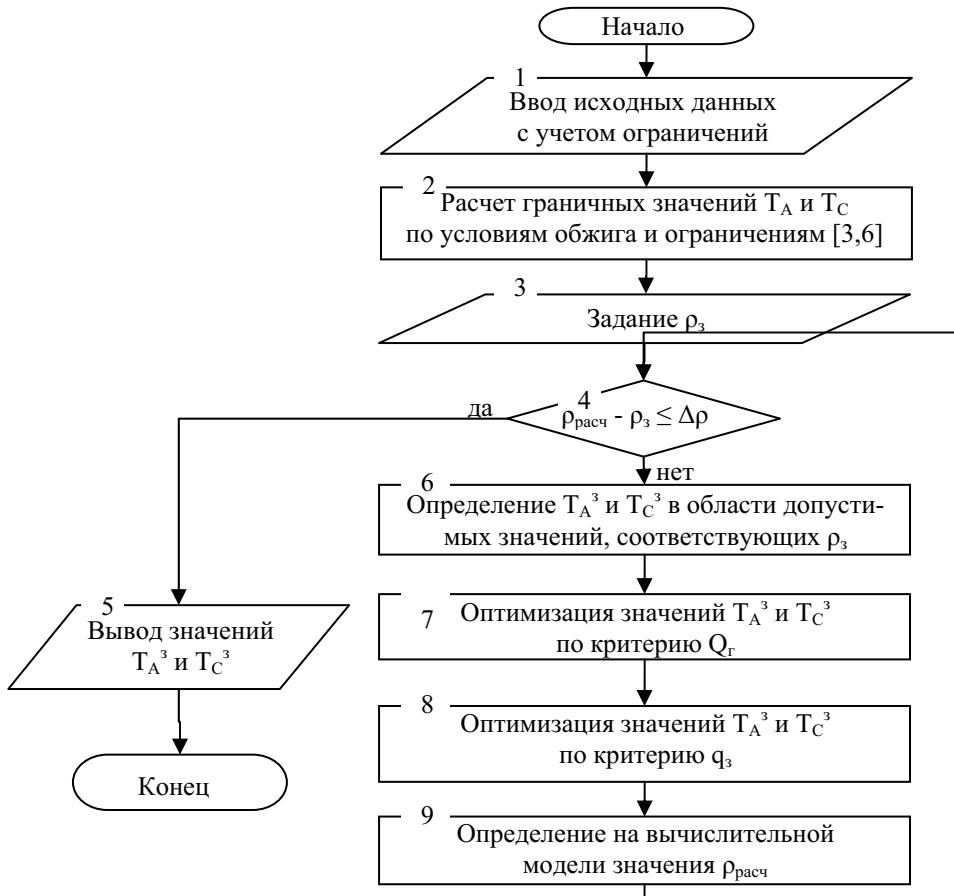


Рисунок 4 – Алгоритм выбора значений T_A^3 и T_C^3 по величине ρ_3

Список литературы

- [1] Онацкий, С.П. Производство керамзита. – 3-е изд. / С.П. Онацкий – М.: Стройиздат, 1987. – 333 с.
- [2] Галицков, С.Я. Моделирование вспучивания керамзита во вращающейся печи как объекта управления / С.Я. Галицков, А.И. Данилушкин, А.С. Фадеев // Вестник Самарского государственного технического университета. Самара: СамГТУ, 2011. - С. 160-168.
- [3] Галицков, С.Я. Области управляемости вспучивания керамзита / С.Я. Галицков, А.С. Фадеев // Интерстроймех-2011: материалы международной научно-технической конференции. - Могилев.: Белорус.-Рос.ун-т, 2011. - С. 273-275.
- [4] Галицков, С.Я. Структурный синтез системы управления вспучиванием керамзита во вращающейся печи / С.Я. Галицков, А.С. Фадеев // Современные проблемы науки и образования. - Пенза.: Издательский Дом «Академия Естествознания», 2012.
- [5] Галицков, С.Я. Согласованное управление горелкой и питателем печи – основа формирования энергосберегающих технологий производства керамзита / С.Я. Галицков, А.С. Фадеев // Разработка и внедрение ресурсо- и энергосберегающих технологий и устройств: сборник статей III Международной научно-практической конференции. - Пенза: Приволжский Дом знаний, 2012. - С. 9-10.
- [6] Галицков, С.Я. Отображение технологических ограничений на кривой обжига керамзита / С.Я. Галицков, А.С. Фадеев // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре: материалы 69-й Всероссийской научно-технической конференции по итогам НИР 2011 года. - Самара.: СГАСУ, 2012. - С. 514-515.

МНОГОКОНТУРНЫЕ СИСТЕМЫ С ОДНОЙ ИЗМЕРЕЯМОЙ КООРДИНАТОЙ В УПРАВЛЕНИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ ПРОИЗВОДСТВА БЕТОННЫХ И КЕРАМИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ

Галицков К.С.

Самарский государственный архитектурно-строительный университет
443001, Самара, ул. Молодогвардейская, 194, Россия
ksgal@yandex.ru
тел: +7 927 202 4823

Ключевые слова: *робастность, многоконтурные системы с одной измеряемой координатой, сосредоточенные, распределенные параметры, нестационарность, устойчивость, динамика, бетонные и керамические материалы.*

Abstract

The technological processes analysis for the production of concrete and ceramic materials and products with specified strength and density values as control objects with distributed time-varying parameters. It is shown that to control these objects using a multi-circuit system with one of the measured coordinate.

Введение

Современные требования к производству бетонных и керамических материалов и изделий (БиКМИ) с заданными значениями прочности R и плотности ρ могут быть обеспечены лишь только путем разработки и создания новых способов и современных средств автоматического управления технологическими процессами (ТП) и оборудованием этих производств. Исследования технологических процессов производства БиКМИ как объектов управления показывают, что их основными отличительными особенностями являются распределенность параметров, многомерность, ярко выраженная нестационарность и существенные нелинейности, вызванные, прежде всего, ограничениями по технологии и по мощности производственного оборудования. Это многообразие технологических объектов предъявляет достаточно жесткие (и в ряде случаев противоречивые) требования к показателям качества их автоматического управления. Во-первых, высокое быстродействие. Примерами могут служить двухвальные электромеханические возбудители, грузоподъемные механизмы, формование керамической массы в шнековом прессе. Второе важное условие – робастность системы автоматического управления в условиях существенной нестационарности параметров объекта. Кроме того – необходимость обеспечения инвариантности при согласованном управлении координатами многомерного объекта. Показано, что совокупность этих требований может быть обеспечена при использовании многоконтурной структуры системы управления с одной измеряемой координатой. В связи с этим актуальной является оценка возможности использования этих систем управления применительно к рассматриваемому классу задач автоматизации.

1 Особенности технологических процессов производства бетонных и керамических материалов и изделий как объектов управления

Основными характеристиками бетонных и керамических материалов и изделий, широко используемых в современном строительстве (бетонные балки, перекрытия, изделия из ячеистого бетона, керамический кирпич, керамзит и т.п.), являются, главным образом, их прочность R и плотность ρ , которые формируются в процессе их изготовления и зависят от множе-

ства факторов: минералогические и реологические характеристики исходных материалов, рецептура и технология производства смеси, режимы последующих технологических пределов (формование, сушка, обжиг и т.п.), ограничения, обусловленные как технологией выполнения отдельных операций, так и техническими характеристиками применяемого оборудования.

В производстве БиКМИ значительная часть ТП представляет собой механическую или (и) термическую обработку компонентов бетонной или керамической смеси, собственно смеси и сформованного сырца изделия. Эти ТП выполняются, в большинстве случаев в крупногабаритных машинах – виброплощадки (для виброуплотнения бетонной смеси в форме), шnekовые прессы (для формования сырца керамического кирпича), вращающиеся или туннельные печи (для обжига керамзита, сушки бетонных изделий, сушки и обжига керамического кирпича и т.п.), автоклавы (при производстве ячеисто-бетонных изделий) и т.п. Устойчивое производство БиКМИ с минимально допустимым отклонением их R и ρ от заданных значений возможно при обеспечении рационального управления указанным оборудованием и технологическими процессами. Анализ особенностей этих процессов и оборудования показывает, что задача их управления заключается в формировании с допустимой неравномерностью в технологической установке (печь, автоклав, пропарочная камера, виброплощадка и т.п.) заданного распределения по объему ее рабочего пространства управляющих воздействий на бетонную (или керамическую) смесь или на сырец изготавливаемых изделий в виде температуры, влажности, давления, виброколебаний, усилий, скорости движений и т.п. в соответствии с требуемой технологией.

Трудности достижения желаемых распределенных во времени и по объему воздействий на объект можно объяснить следующими причинами. Во-первых, недостаточным использованием потенциально имеющихся в оборудовании воздействий (например, во вращающейся печи обжига, как правило не регулируется скорость ω , ее вращения, в шnekовом прессе – глубина разрежения P_e в вакуумной камере и т.п.). Во-вторых, ограниченными возможностями применяемых исполнительных устройств, например, в используемых вибровозбудителях (как правило, дебалансных) отсутствует возможность изменять амплитуду A колебаний в процессе вибровоздействия. Кроме того, сложностью наблюдения отдельных технологических параметров в изделии или в рабочем пространстве оборудования.

Для повышения технологической надежности производства БиКМИ с заданными R и ρ предлагается комплексный подход, включающий в себя как модернизацию оборудования, так и совершенствование систем управления. Например, разработана система автоматического управления параметрами (частота, амплитуда и направление) виброколебаний бетонной смеси в форме с помощью двухвальных вибровозбудителей, приоритет которых защищен патентами РФ на изобретения [1-3]. Двухвальный дебалансный вибровозбудитель в совокупности с вибростолом, на котором закреплена форма с бетонной смесью, исследован (в рамках обоснованных допущений) как многомерный объект управления. Установлено, что для достижения требуемых режимов процесса виброуплотнения бетонной смеси в форме целесообразно сепаратные каналы многомерной системы автоматического управления (САУ) выполнять в виде многоконтурной системы с одной измеряемой координатой (МСОИК - см. рисунок 1).

Вторым примером является синтезированная САУ формированием глиняной массы в шnekовом прессе. Здесь показатели качества управления процессом формования проблемно ориентированы на производство керамического кирпича заданной прочности в условиях минимизации брака, вызванного нестационарностью процесса формования, и на минимизацию энергозатрат при выполнении формования. Исследован процесс формования глиняной массы в форме как объект управления с распределенными параметрами (ОРП). Используя метод завершающей дискретизации [4] осуществлен обоснованный переход от ОРП к объекту с сосредоточенными параметрами (ОСП). Разработана обобщенная структура объекта, выявлена его нелинейность, установлена нестационарность параметров и предложена упрощенная модель. Осуществлен структурный синтез САУ ТП формования керамических материалов. Показано,

что требуемое качество управления скоростью сдвиговых деформаций $\dot{\gamma}$ в условиях выявленных особенностях объекта может быть обеспечено путем структурного построения САУ в виде МСОИК.

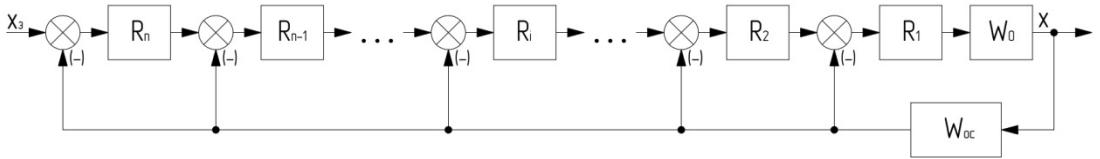


Рисунок 1 – Структура многоконтурной системы с одной измеряемой координатой

С целью оптимизации процесса обжига во вращающей печи керамзита при его производстве с заданной R и ρ предложено [5-9] измерять температуру керамзита в трех характерных сечениях печи по его длине и использовать трехкомпонентный вектор управляющих воздействий – мощность газовой горелки, расход загрузки сырца, скорость вращения печи. Разработана [5, 6] математическая модель этого технологического процесса как ОРП. Далее по результатам выполненных вычислительных экспериментов ОРП и путем применения метода завершающей дискретизации осуществлен переход к структуре многомерного ОСП, где выходными координатами являются значения температуры керамзита в трех сечениях печи. Показано, что и при автоматизации процесса обжига в сепаратных каналах многомерной САУ целесообразно применять МСОИК. Это позволяет обеспечить робастность САУ при явно выраженной параметрической нестационарности ОУ.

Применительно к производству ячеисто-бетонных изделий (ЯБИ) разработаны способы и устройства производства ячеисто-бетонной смеси (ЯБС), применительно к которым разработаны динамические модели процесса приготовления смеси и синтезированы алгоритмы автоматической коррекции рецептуры смеси и САУ процессом окончания перемешивания смеси.

Отличительная особенность разработанных математических моделей объектов управления – наличие векторе их выходных координат – величин R и ρ , которые структурно связаны с наблюдаемыми координатами объектов. Это позволило разработать цифровые наблюдатели величин R и ρ , а далее – устройства коррекции САУ ТП.

2 Разработка инженерной методики проектирования многоконтурных систем с одной измеряемой координатой в управлении технологическими процессами производства бетонных и керамических материалов и изделий

Опыт использования МСОИК при структурном синтезе систем автоматического управления промышленными объектами с параметрической неопределенностью [3,10-13] показывает эффективность такого подхода при решении целого ряда практических значимых задач.

Разработанные аналитические методики синтеза регуляторов МСОИК [14-15] ориентирован, в основном, на объекты с постоянными параметрами, и дополнительно включают в себя анализ, как правило – путем экспериментальной оценки влияния вариации отдельных параметров на динамические показатели качества управления.

Требуется применительно к нескольким типовым линейным моделям объекта управления с параметрической неопределенностью выполнить синтез МСОИК по условию обеспечения робастности, используя графоаналитический критерий Цыпкина-Поляка [16, 17].

Исследование динамики МСОИК показывает, что по мере введения в нее дополнительных контуров ее полоса пропускания увеличивается. Это позволяет существенно повысить быстродействие системы. Из оценки робастности этого класса систем, выполненной применительно к конкретным системам с нестационарными объектами управления [3, 13, 18-20], следует, что по мере введения внешних дополнительных контуров последовательно исключается нестационарность коэффициентов в нормированном характеристическом

полиноме контура при членах нулевого, первого, второго и т.д. порядка. Отсюда сделан вывод о целесообразности последовательного синтеза регуляторов МСОИК по условию обеспечения их робастности (рисунок 2). Здесь, γ_{\max} и $\gamma_{\text{треб},i}$ - максимальное расчетное и требуемое значения радиуса устойчивости i -го контура и принимает значения от 1 до n , где n – число контуров МСОИК; ПКУ _{i} – показатели качества в i -ом контуре системы.

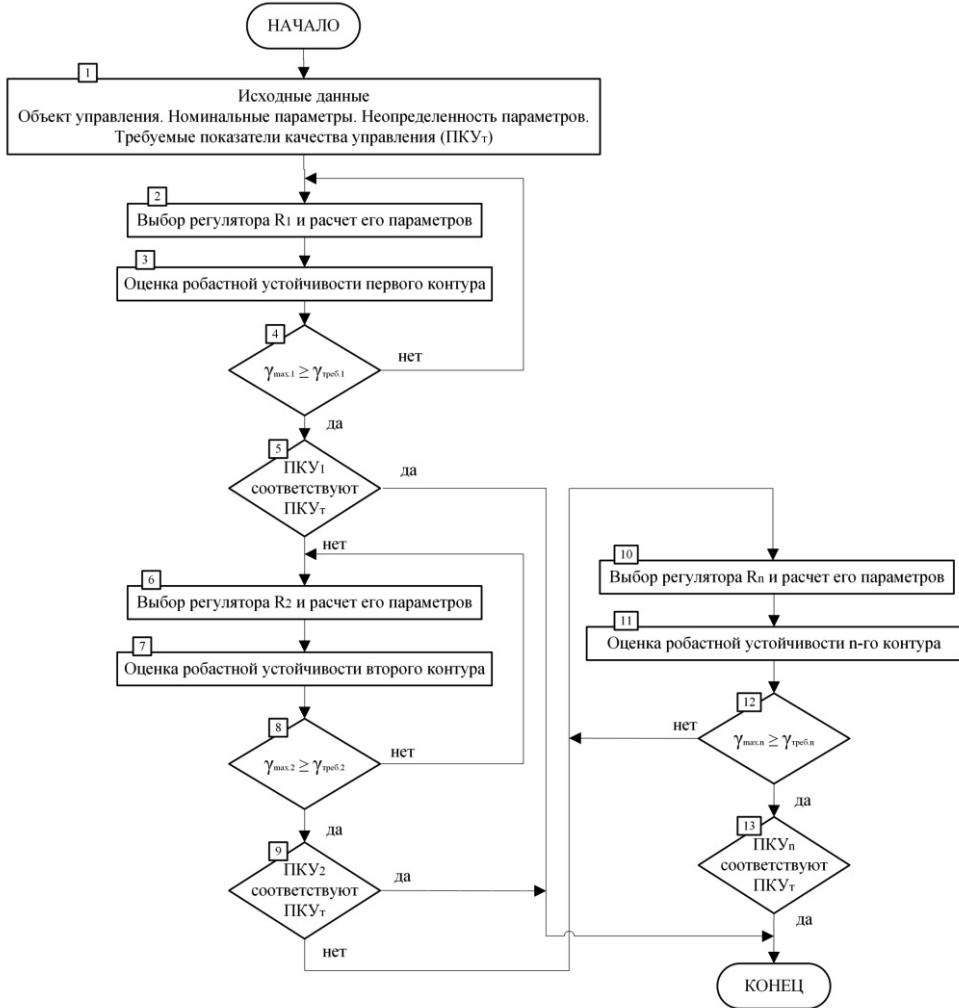


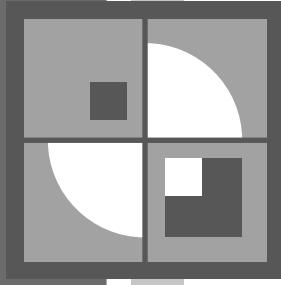
Рисунок 2 - Алгоритм решения задачи робастной устойчивости МСОИК

Заключение

Анализ технологических процессов производства БиКМИ как объектов управления показал, что они являются, главным образом, объектами с распределенными и нестационарными параметрами. Показано, что для достижения технологической задачи обеспечения заданных значений R и ρ необходимо в этих ОРП использовать дополнительные управляющие воздействия и дополнительные выходные координаты. Показано, что в этом случае, используя метод завершающей дискретизации можно осуществить переход к модели с ОСП. Разработан алгоритм синтеза МСОИК по условию обеспечения робастности синтезированной системы.

Список литературы

- [1] Баскаков А.В., Галицков К.С., Галицков С.Я. Виброплощадка с изменяемой амплитудой колебаний // Патент Российской Федерации 2233738. 2004; опубл. 10.08.2004, Бюл. № 22
- [2] Баскаков А.В., Галицков К.С., Галицков С.Я. Виброплощадка с управляемой частотой и направлением колебаний // Патент Российской Федерации 2236937. 2004; опубл. 27.09.2004, Бюл. № 27
- [3] Галицков С.Я. Автоматизация уплотнения бетонной смеси в форме двухвальными вибровозбудителями: монография / Галицков С.Я., Галицков К.С., Баскаков А.В.; ООО «СамЛюксПринт» - Самара, 2012. – 216с.
- [4] Рапопорт Э.Я. Анализ и синтез систем автоматического управления с распределенными параметрами: уч. пособие. – М.: Вышш. шк., 2005. -292с: ил.
- [5] Галицков С.Я., Галицков К.С., Самохвалов О.В., Фадеев А.С. Моделирование обжига керамзита в печи с регулируемой скоростью вращения как объекта управления // Научное обозрение. 2015. № 7. С. 227-237.
- [6] Галицков К.С., Самохвалов О.В. Отображение прочностных характеристик керамзита в пространстве температурных режимов трех опорных сечений печи // Промышленное и гражданское строительство. 2015. № 9. С. 91-94.
- [7] Галицков С.Я., Самохвалов О.В., Фадеев А.С. Способ обжига керамзита во вращающейся печи и устройство для его осуществления // Патент Российской Федерации 2554964. 2015; Бюл. № 19
- [8] Галицков С.Я., Самохвалов О.В. Условия управления вращающейся печью, осуществляющей производство керамзита с заданной прочностью // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре: материалы 71-й Всероссийской научно-технической конференции по итогам НИР / СГАСУ. Самара, 2014. С. 1009-1011.
- [9] Галицков С.Я., Фадеев А.С. Области управляемости вслучивания керамзита // Интерстроймех-2011: материалы Международной научно-технической конференции / Белорусско-Российский университет. 2011. С. 273-275.
- [10] Галицков С.Я., Самохвалов О.В., Фадеев А.С. Структурный синтез многомерной системы автоматического управления обжигом керамзита во вращающейся печи // Научное обозрение. 2013. № 12. С. 204-208.
- [11] Galitskov S.Ya, Nazarov M.A., Galitskov K.S. Structure of Intelligent Control System of Auger Vacuum Extruder for Ceramic Bricks' Manufacturing // International Journal of Applied Engineering Research. 2015. T. 10. № 20. С. 40846-40852.
- [12] Галицков К.С. Синтез интеллектуальных систем управления производством бетонных изделий и керамических материалов // Промышленное и гражданское строительство. 2015. № 6. С. 59-63.
- [13] Дуданов И.В. Система автоматического управления одноковшовым экскаватором // Интерстроймех-2014: материалы Международной научно-технической конференции / СГАСУ. Самара. 2014. С. 98-99.
- [14] Галицков С.Я., Галицков К.С. Многоконтурные системы с одной измеряемой координатой. – Самара: СГАСУ, 2004. -140с.
- [15] Галицков К.С. Методика выбора параметров регуляторов в многоконтурных системах с одной измеряемой координатой // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре: материалы 67-й Всероссийской научно-технической конференции по итогам НИР / СГАСУ. Самара, 2010. С. 787-789.
- [16] Поляк Б.Т., Щербаков П.С. Робастная устойчивость и управление. – М.: Наука, 2002. – 313с.
- [17] Макаров И.М., Менский Б.М. Линейные автоматические системы. – М.: Машиностроение, 1982. – 504с.
- [18] Галицков К.С., Назаров М.А. Робастная устойчивость системы автоматического управления формированием керамической массы в шнековом прессе // Интерстроймех-2014: материалы Международной научно-технической конференции / СГАСУ. Самара. 2014. С. 197-200.
- [19] Галицков К.С., Галицков С.Я., Пименов Е.К., Шломов С.В. Система автоматического достижения требуемого значения вязкости ячеистобетонной смеси // Технологии бетонов. 2011. № 3-4. С. 36.
- [20] Галицков С.Я., Галицков К.С., Блинчиков О.И. Робастное управление порталным манипулятором с подвесной траверсой // ИНТЕРСТРОЙМЕХ – 2008: Материалы Международ. науч-техн. конф., 16-19 сентября 2008, г. Владимир // ВГУ, - Владимир, 2008. – С.388 -392.



Control, Measuring and Diagnostics in Technical Systems
Управление, измерения и диагностика в технических системах

ОСОБЕННОСТИ УПРАВЛЕНИЯ КРУПНОМАСШТАБНЫМИ ГРУППИРОВКАМИ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

М.М Матюшин, Н.Л. Соколов, П.А. Захаров

Федеральное государственное унитарное предприятие
«Центральный научно-исследовательский
институт машиностроения»

141070, Королев, Московская область, ул. Пионерская, 4, Россия
snl@mcc.rsa.ru
тел: +7 (495) 513-51-05, факс: +7 (498) 602-95-59

Ключевые слова: космические аппараты, орбитальные группировки, технологии управления, схемы распределения средств управления.

Abstract

The article is devoted to the development of rational technology of terrestrial means of interaction management in the operation of versatile SPACECRAFT, as well as structural optimization controls. The main points of the research are: the creation of methods, calculations, program-modeling complexes of the interaction of the ground stations and the guaranteed assurance for the completion of the SPACECRAFT flight programs. Also, the design of the requirements for the development of the ground controls; the establishment of the point for enrichment of the ground-based assets as a result of the increasing number of SC groups; the formation of the technology for joint application of ground-based and satellite controls.

Введение

Основной тенденцией развития мировой космической деятельности является значительное увеличение количества орбитальных космических аппаратов (КА) различных типов и назначений. Наличие разноплановых КА будет оказывать значительное влияние на технологии управления крупномасштабными орбитальными группировками. В этих условиях на первый план выдвигается задача построения рационального управления разнотипными КА на основе использования методов теории управления сложными системами.

В частности, чрезвычайно актуальной является задача разработки рациональных технологий взаимодействия наземных средств управления в процессе эксплуатации разноплановых КА, а также задача структурной оптимизации средств управления.

Целью проводимых исследований является разработка схем рационального распределения средств наземного комплекса для управления увеличивающегося числа КА различных типов и назначений.

Основными задачами исследований являются: создание и развитие методов, алгоритмов и программных комплексов для определения схем задействования наземных станций для гарантированного обеспечения выполнения программ полета КА; выработка требований к развитию наземного комплекса управления; установление порога насыщения наземных средств в результате роста численности группировок КА.

Внедрение разработанных методов, технологий и схем использования наземных и спутниковых средств в практику управления позволит значительно повысить надежность и оперативность эксплуатации крупномасштабных группировок КА.

1 Особенности формирования перспективной космической инфраструктуры

Проблеме обоснования перспективных направлений развития космической инфраструктуры управления КА посвящена обширная литература [1-5]. В частности в работе [1] сформулированы основные цели и направления развития как орбитальных группировок аппаратов различного типа и назначения, так и средств управления КА. К данным направлениям можно отнести:

- создание и совершенствование околоземных систем связи, передачи данных и навигации, образованных группировками искусственных спутников Земли, наземным сегментом управления служебными бортами и целевой нагрузкой;
- развитие систем ретрансляции, позволяющих существенно повысить оперативность управления КА, воздействовать на наземные объекты управления в территориально удаленных и труднодоступных районах земной поверхности;
- промышленное получение уникальных материалов в космосе, производство которых затруднено в земных условиях;
- освоение и индустриальное использование Луны и в отдаленной перспективе Марса.

Жизнедеятельность этих и других экономически перспективных направлений может осуществляться только посредством построения и функционирования соответствующей космической инфраструктуры. В комплекс средств такой инфраструктуры входят:

- автоматические космические аппараты для обеспечения связи, навигации, метеорологических наблюдений и дистанционного зондирования Земли, исследования планет, объектов Солнечной системы и космического пространства;
- орбитальные и планетные элементы инфраструктуры: околоземные орбитальные станции, автономно летающие корабли, посещаемые автоматические платформы или собираемые в космосе крупногабаритные аппараты, околопланетные орбитальные станции, планетные базы;
- транспортная космическая система, обеспечивающая доставку элементов инфраструктуры, а также людей и грузов в различные точки Солнечной системы;
- наземные комплексы подготовки и запуска космических аппаратов, наземные комплексы контроля и управления.

Очевидно, что космическая инфраструктура будет состоять из достаточно большого количества неоднородных элементов. Каждая группа этих элементов будет иметь специфические особенности. Поэтому только скоординированная работа всех этих элементов и их управляющих звеньев может обеспечить требуемых уровень эффективности функционирования инфраструктуры. При этом одно из основных задач является определение рациональных схем взаимодействия средств наземного комплекса управления с постоянно возрастающим числом КА различных типов и назначений.

2 Центр управления полетами – важнейший элемент структуры управления крупномасштабными орбитальными группировками

В условиях возрастания количества управляемых КА повышаются требования к организации процесса эксплуатации группировок КА из ЦУП, как центрального звена наземного комплекса управления [6]. В первую очередь это связано с ожидаемым возрастанием объема выполнения динамических управлений операций таких, как:

- разработка программ совместного управления средствами наземного и спутникового комплексов;
- оперативное парирование нештатных ситуаций в сеансах связи с КА;
- подготовка и реализация экстренных маневров КА, в том числе для уклонения от потенциально опасных объектов космического мусора;

- осуществление внеплановых коррекций программ полета КА по заявкам потребителей целевой информации.

Перед ЦУП возникает необходимость выполнения качественно новых задач, связанных с управлением космическими группировками, как единой системой взаимосвязанных элементов, а не как совокупностью отдельно взятых объектов. К таким задачам, в первую очередь, следует отнести:

- разработку оптимальных схем задействования средств управления для обеспечения эффективного процесса эксплуатации КА, в том числе, внесение корректив в распределение средств в связи с возможным возникновением неподходящих ситуаций;
- оперативное перераспределение функций между отдельными КА для повышения качества и быстродействия получения целевой информации;
- проведение коррекций поддержания орбитальных параметров относительного расположения однородных КА, составляющих баллистически правильную построенную спутниковую систему КА.

В связи с необходимостью выполнения этих и ряда других важных функций, а также, учитывая создание в структуре ЦУП органов оперативного управления группировками РФ – Центра ситуационного анализа, координации и планирования средств НАКУ (ЦСАКП), Центра управления ретрансляцией и связью (ЦУРС) выдвигаются повышенные требования к совершенствованию методологии управления орбитальными группировками КА.

3 Методология оптимизации задействования средств управления КА

Рассмотрим методологический подход к решению задачи рационального задействования наземных пунктов для управления крупномасштабными орбитальными группировками. Дадим общую постановку указанной задачи. Для обеспечения управления группировкой, состоящей из N космических аппаратов с известными орбитальными параметрами, требуется распределить M наземных измерительных пунктов таким образом, чтобы оперативно реализовать запрашиваемое количество сеансов связи с каждым из КА. Для конкретизации решаемой задачи, в качестве временного интервала распределения средств управления, выбирались одни сутки полета.

Особенностью решения данной задачи является отсутствие общих закономерностей взаимодействия наземных пунктов с КА в интервалы одинаковой продолжительности, разнесенные по времени. Это объясняется тем, что в общем случае КА имеют различные периоды обращения, наклонения и восходящие узлы орбиты. Поэтому, распределение средств управления для одного заданного временного интервала, например, для одних суток полета, будет существенно отличаться от аналогичного распределения для других суток. Несмотря на это обстоятельство, могут быть выявлены общие закономерности решения сформулированной задачи, положенной в основу общего методологического подхода к определению рациональных схем задействования средств управления.

Для решения указанной задачи, прежде всего, составляются циклограммы зон радиовидимости каждого из M наземных измерительных пунктов со всеми N космическими аппаратами, входящими в орбитальную группировку. Далее проводится поэтапный вычислительный процесс.

Сначала, по разработанным циклограммам для каждого i -го пункта определяются те временные диапазоны, на которых могут проводиться сеансы связи только с одним из N КА. После этого принимается предварительное решение о выделении данного i -го пункта для управления этим космическим аппаратом в соответствующем временном диапазоне.

Затем, после корректировки циклограмм определяются временные диапазоны, где могут быть осуществлены сеансы связи с минимальным количеством КА. Одному из этих КА выде-

ляются соответствующие наземные измерительные пункты. Приоритет отдается аппаратам с большим числом заявляемых сеансов связи с наземными пунктами.

На каждом последующем этапе вычислительного процесса проводятся коррекции циклограмм с учетом предварительно выделенных пунктов управления и дополнительных ограничений по времени проведения сеансов связи. Процесс завершается после проведения итераций по выделению необходимых наземных пунктов для управления всеми КА в соответствии с их запросами.

Оценим качественное влияние исходных условий на результаты решения задачи распределения наземных средств управления.

Введем следующие обозначения:

α_{ij} – число потенциально возможных сеансов связи, проводимых i – м КА с i – м наземным пунктом за заданный временной интервал. Эти значения определяются на основании расчетов зон радиовидимости КА наземными пунктами;

b_i – количество заявляемых сеансов связи для каждого КА, которое необходимо провести в рассматриваемые временные интервалы с любыми из задействованных наземных пунктов;

l_{ij} – количество сеансов связи из рассчитанного числа потенциально возможных α_{ij} , совпадающее по времени проведения сеанса i – го КА с разными станциями j ;

l_{jik} – число сеансов связи, совпадающее по времени проведения различными КА с отдельно взятыми наземными пунктами j .

С использованием введенных переменных можно приближено оценить усредненный коэффициент выполнения заявленных программ проведения всех заявленных сеансов связи КА с наземными пунктами.

$$S = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (\alpha_{ij} - l_{ij}) - \sum_{j=1}^m \sum_{i=1, k>i}^n l_{jik}}{\sum_{i=1}^n b_i}.$$

При выполнении условия $S \geq 1$ существует принципиальная возможность выполнения программы заказов сеансов связи со всеми КА в полном объеме.

Анализ представленной зависимости показывает, что коэффициент S снижается с ростом числа управляемых аппаратов n , с уменьшением количества наземных станций m и с увеличением общего числа заявляемых сеансов связи. При этом наиболее существенное влияние на снижение коэффициента S оказывает увеличение составляющих l_{jik} , количество которых возрастает с увеличением общей численности орбитальной группировки КА.

Дадим предварительную оценку коэффициента выполнения заявленных программ проведения сеансов связи со всеми КА. Расчеты показали, что при сравнительно малых значениях одновременно управляемых аппаратов ($n \geq 10$), при количестве наземных станций $m \geq 5$ и при среднем числе потребных сеансов связи с каждым КА $b_i \approx 2 \div 3$ коэффициент S достигает величины, равной $4 \div 5$, т.е. гарантированно обеспечивается выполнения всех заявляемых сеансов связи КА с наземными пунктами. Рост числа n до $15 \div 20$ КА сопровождается

увеличением суммарного значения сеансов связи $\sum_{j=1}^m \sum_{i=1, k>i}^n l_{jik}$ до $20 \div 40$ и приближением

коэффициента S к единице. При еще большем числе управляемых КА до $n \geq 50$ значение S может быть меньше единицы, т.е. выполнение программы заказов сеансов связи выполняется не в полном объеме. Более точные расчеты распределения наземных средств между управляемыми КА могут быть получены для конкретных исходных условий, включающих орбитальные параметры аппаратов, географические координаты наземных пунктов, количество потребных сеансов связи для каждого КА, а также с учетом возможных нештатных ситуаций, необходимости проведения экстренных сеансов связи и т.д.

4 Примеры использования методологии управления группировками КА

На основе описанного методологического подхода разработан программно-моделирующий комплекс решения задачи рационального распределения наземных средств для проведения запрашиваемых сеансов связи с группировкой КА. С применением комплекса обеспечиваются расчеты для практически любого набора исходных данных, к которым относятся: количество управляемых КА, орбитальные параметры этих аппаратов, число заявок на проведение сеансов связи с учетом желаемого времени их проведения, количество и координаты расположения наземных станций.

Для демонстрации работоспособности программного комплекса представлен следующий вариант исходных данных. Рассматривается группировка из пяти аппаратов со следующими значениями начальной скорости V_0 , угла наклона вектора скорости к местному горизонту θ_0 , высоты полета h_0 , широты φ_0 и долготы λ_0 подспутниковой точки, наклонения орбиты i (таблица 1).

Таблица 1 – Орбитальные параметры КА в начальный момент времени

№	V_0 , км/с	θ_0 , град	h_0 , км	φ_0 , град	λ_0 , град	i , град
1	7,67	0	400	0	0	55
2	7,56	0	600	10	60	40
3	7,61	0	500	-30	120	50
4	7,35	0	1000	-10	180	125
5	7,4	0	900	30	240	70

Использовались четыре наземных станции, расположенные в Медвежьих озерах, Калининграде, Железногорске, Углегорске с координатами, приведенными в работе [7].

Целью решаемой задачи является получение рационального распределения наземных станций для проведения по три сеанса связи с каждым из аппаратов в течение суток. Причем сеансы связи со всеми КА должны быть выполнены в следующих временных диапазонах: 1-й сеанс во временном интервале от 0 до 8 часов, 2-ой - от 8 до 16 часов, 3-ий - от 16 до 24 часов.

На основе проведенных расчетов представлены данные об итоговом распределении наземных пунктов (таблица 2).

Таблица 2 – Сведения о планируемом проведении сеансов связи с наземными пунктами

№ КА	Наземный пункт	Зоны радиовидимости		
		Начало зоны	Конец зоны	Максимальный угол места, град
01	Медвежьи озера	01:46:52	01:57:16	46.27
01	Калининград	08:07:52	08:16:40	12.49
01	Железногорск	20:13:28	20:22:00	11.32
02	Медвежьи озера	05:01:24	05:10:36	7.32
02	Медвежьи озера	08:22:16	08:31:04	6.62
02	Углегорск	22:41:28	22:52:08	12.19
03	Железногорск	06:41:12	06:51:04	11.52
03	Железногорск	08:18:16	08:29:28	25.57
03	Калининград	16:17:28	16:28:40	26.02
04	Медвежьи озера	02:08:04	02:25:00	80.21
04	Калининград	08:57:12	09:10:32	13.17
04	Углегорск	16:18:00	16:32:40	20.73
05	Медвежьи озера	00:19:16	00:33:40	19.88
05	Углегорск	10:19:52	10:35:20	24.26
05	Углегорск	17:27:04	17:43:36	47.10

Таким образом, показано, что всем рассматриваемым КА выделяются наземные пункты для проведения по три сеанса связи с наземными станциями. При этом для представленного варианта исходных условий наиболее часто используется пункт, расположенный в Медвежьих озерах. С ним планируется проведение 5-ти сеансов связи. С остальными пунктами будут проведены 3-4 сеанса связи.

Внедрение методологического аппарата и программно-моделирующего комплекса в практику управления крупномасштабными группировками КА позволит решить ряд важных задач функционирования космической инфраструктуры. Во-первых, обеспечивается нахождение рациональных распределений средств управления, в том числе в условиях нештатных ситуаций с КА, а также при неисправностях и проведении регламентных и профилактических работ на наземных станциях. Во вторых, позволит оценить нагрузку на наземные средства управления и установить порог их насыщения в результате роста численности группировок

КА. В-третьих, выработать требования к развитию наземного комплекса управления, а также к совместному применению средств наземного и спутникового контуров для управления крупномасштабными группировками КА различных типов и назначений.

Заключение

Планируемое расширение состава орбитальных группировок космических аппаратов различных типов и назначений предопределяет необходимость решения новых задач управления КА. Эти задачи характеризуются тем, что объектом управления являются не отдельные аппараты, а единая взаимосвязанная их система.

Разработанный методологический подход дает возможность найти решения одной из важных задач управления крупномасштабными группировками КА - определить рациональные распределения средств наземного комплекса для проведения всей совокупности планируемых сеансов связи с космическими аппаратами.

Список литературы

- [1] Крафт Э. Будущее космической индустрии. М.: Машиностроение. 1979, с. 392.
- [2] Красильников А. Российская гражданская орбитальная группировка. Новости космонавтики. 2014, №3 (374), т. 24, с.47-49.
- [3] Матюшин М.М., Соколов Н.Л., Овчко В.М. Направления развития средств и технологий управления перспективными орбитальными группировками космических аппаратов. Материалы XXXIX Академических чтений по космонавтике. Москва, МГТУ им. Н.Э, Баумана. 2015, с.296-298.
- [4] Машиностроение. Энциклопедия. Ракетно-космическая техника. Под редакцией Легостаева В.П. М.: Машиностроение. 2012, т. IV-22, кн.1, с. 925.
- [5] Исследования космического пространства. Ракетная и космическая техника. Экспресс информация. Серия 1. 2014, №8 (2828), с. 2-5.
- [6] Milkovskii A.G., Matjushin M.M., Sokolov N.L., Zelenov D.A. The russian mission control centre – an important element of space exploration by the world community. 65th International Astronautical Congress Toronto, Canada, 29 september-03 october 2014.
- [7] Максимов А.М., Райкунов Г.Г., Шучев В.Г. Научно-технические проблемы развития наземного автоматизированного комплекса управления космическими аппаратами научного и социально-экономического назначения. Космонавтика и ракетостроение. 2011. №4 (65), с. 5-12.

КОМПЛЕКС ПОЛУНАТУРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ЛЕТАТЕЛЬНЫМ АППАРАТОМ

С.А. Белоконь¹, Д.С. Деришев², Ю.Н. Золотухин¹, М.А. Золотухина¹, М.Н. Филиппов¹, А.П. Ян¹

¹ Институт автоматики и электрометрии СО РАН
630090, Новосибирск, проспект Академика Коптюга, 1, Россия

zol@idisys.iae.nsk.su

тел: +7 (383) 333-26-25

² АО «НовосибНИАТ»

630051, Новосибирск, ул. Ползунова, 15, Россия

derishev@yandex.ru

тел: +7 (383) 279-06-64

Ключевые слова: стенд полунатурного моделирования, БПЛА.

Abstract

An architecture of the simulation stand for development and testing controlling algorithms and software for UAV onboard control systems is presented. This complex has a modular structure and allows hardware-in-the-loop tests and also can be used as simulation training system.

Введение

Летные испытания летательных аппаратов зачастую связаны с большим риском потери опытного образца, что является основной причиной недообследованности опасных режимов полета. Испытания на стенде полунатурного моделирования [1] является дополнительным промежуточным этапом между испытаниями в аэродинамической трубе и летными испытаниями. На стенде могут быть промоделированы взлетно-посадочные режимы и пространственные маневры с использованием отклонения вектора тяги, есть возможность отработки системы активного управления перегрузкой. Кроме того, стенд позволяет испытать летательный аппарат и систему управления в опасных режимах: сваливание, штопор и вывод из штопора, режимах установившегося плоского штопора, возникающих при выполнении энергичных маневров с угловыми скоростями крена и рыскания на больших углах атаки. Эксперименты на стенде полунатурного моделирования, в отличие от летных испытаний, легко воспроизводятся: есть возможность задания необходимых режимов полета и внешних возмущающих воздействий. Эксперимент может быть начат в определенном режиме и в любой момент остановлен для доработки.

Основные требования к СПМ:

- возможность работы в режиме реального времени;
- удобная система моделирования;
- удобная среда визуализации;
- модульная структура;
- возможность внешнего тестирования;
- возможность проверки генерированного кода (алгоритмов управления) до загрузки в контроллер.

1 Особенности реализации стенда полунатурного моделирования

Структурная схема изображена на рисунке 1; на ней представлены следующие основные элементы:

- АРМ моделирования (MATLAB/SIMULINK);
- АРМ визуализации (FlightGear);
- Макет НПУ (наземный пункт управления):
 - АРМ инженера;
 - АРМ пилота;
 - Пилотажно-навигационный комплекс;
- Сервоприводы.



Рисунок 1 – Состав системы полунатурного моделирования

При реализации программного обеспечения стенда полунатурного моделирования использовано модульное построение с раздельными рабочими пространствами, которые могут быть расположены как в пределах одного компьютера, так и на нескольких компьютерах технологической локальной сети.

Разделение рабочих пространств дает возможность:

- использовать сложные модели летательных аппаратов и систем управления, требующие значительных вычислительных ресурсов компьютера;
- использовать современные системы визуализации;
- имитировать обмен командной и телеметрической информацией между пунктом управления и летательным аппаратом;
- позволяет работать с системой нескольким разработчикам одновременно.

Обмен данными между отдельными элементами стенда полунатурного моделирования (модель летательного аппарата, модель системы управления, система визуализации, макет наземного пункта управления) осуществляется при помощи нереляционной базы данных Redis (рисунок 2).

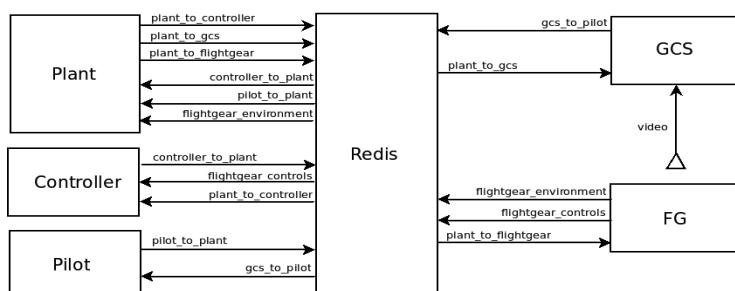


Рисунок 2 – Обмен данными между элементами стенда полунатурного моделирования

2 АРМ моделирования

Для моделирования аэродинамических характеристик, движения летательного аппарата, алгоритмов системы управления, в состав стенда включен АРМ моделирования. Это может быть одно или несколько рабочих мест (отдельно для модели летательного аппарата, отдельно для системы управления), оборудованных средой разработки MATLAB/Simulink с расширениями Aerospace Toolbox и Aerospace Blockset.

Расширение Aerospace Toolbox - это набор специальных инструментов для анализа и моделирования авиационных, космических, реактивных и турбореактивных систем. Содержит средства для преобразования координат, векторов, кватернионов и тензоров, функции для вычислений аэродинамических показателей, специальную графику и средства моделирования.

Набор блоков Aerospace Blockset основан на международных стандартах моделирования атмосферы, турбулентностей и гравитации. Вычислительные возможности имитационного моделирования пакета Simulink совместно с расширениями Aerospace Blockset и другими библиотеками позволяют создавать и рассчитывать сложные комплексные модели летательных аппаратов.

Ключевые возможности пакета:

- Моделирование динамики аэрокосмических объектов и их составных частей, включая двигательные установки, системы управления и приводы.
- Поддержка стандартов моделирования окружающей среды, включая моделирование атмосферы, силы тяжести, ветра и магнитных полей.
- Импорт аэродинамических коэффициентов из базы данных DATCOM.
- Преобразование координат, в том числе с использованием кватернионов.
- Инерциальные координатные системы, связанные с Землей, с учетом ее вращения.
- Анимационные блоки для вывода на экран движения систем с шестью и тремя степенями свободы, в том числе интерфейс для симулятора FlightGear.

В рамках работы с использованием блоков пакета Aerospace Blockset в среде MATLAB/SIMULINK создана динамическая модель летательного аппарата, модель системы штурвального управления, средства сопряжения с симулятором FlightGear и макетом наземного пункта управления. Модель летательного аппарата реализована в системе координат по ГОСТ 20058-80. Для описания аэродинамических свойств объекта использованы предварительные материалы, предоставленные АО «НовосибНИАТ». Построение модели позволяет воспользоваться возможностями пакета Aerospace Blockset для учета влияния окружающей среды (турбулентность атмосферы, характеристики ветровой обстановки, свойства используемой модели Земли).

Обеспечена возможность как ручного (дистанционного, fly-by-wire) управления движением летательного аппарата, так и от системы автоматического управления (САУ).

3 АРМ визуализации

В качестве среды графической визуализации использована программа-авиасимулятор FlightGear.

Помимо графического отображения режима полета ЛА, его перемещений и поворотов авиасимулятор FlightGear передает в MATLAB информацию о положении рулей управления. Для обмена информацией используются блоки Simulink, реализующие функции записи в базу данных и чтения из базы. Обмен информацией происходит в реальном времени.

FlightGear позволяет использовать режим, когда расчет динамических моделей ведется внешней программой или даже отдельным компьютером.

4 Модель наземного пункта управления

Модель НПУ состоит из АРМ пилота, осуществляющего непосредственное управление летательным аппаратом и АРМ инженера, который формирует полетное задание, контролирует данные телеметрии и параметры полета.

4.1 АРМ пилота

На АРМ пилота используется специальное программное обеспечение. Видеоизображение на АРМ пилота передается с помощью видеокамеры, направленной на экран АРМ визуализации. Данные для индикатора на лобовом стекле передаются из АРМ моделирования через СУБД redis. Пример видеокадра АРМ пилота приведен на рисунке 3.

АРМ пилота оборудован органами управления летательным аппаратом (Replica USAF A-10C Stick).

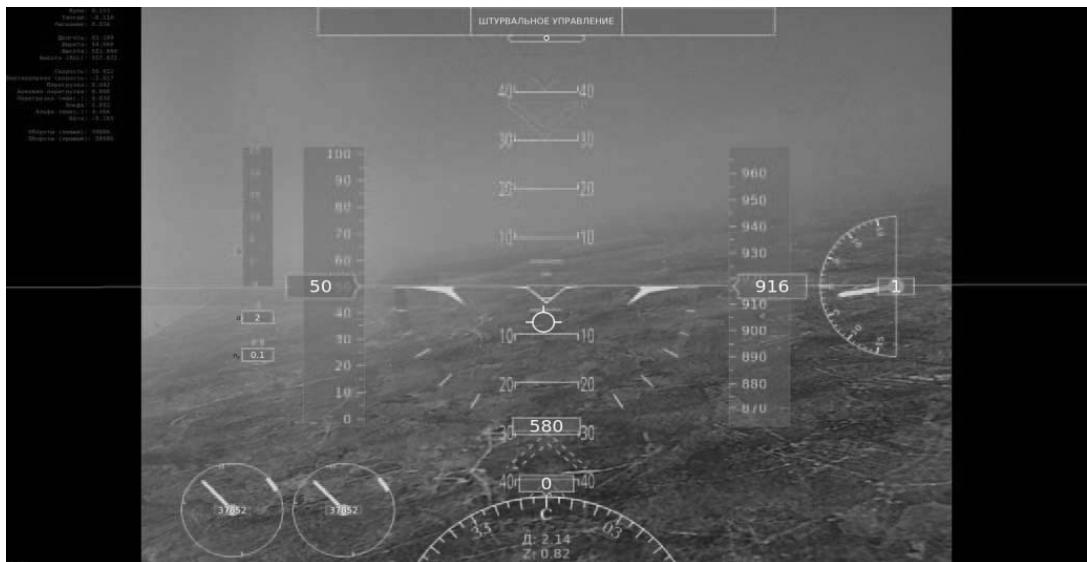


Рисунок 3 – Индикатор на лобовом стекле

4.2 АРМ инженера

В качестве базовой версии программного обеспечения на АРМ инженера использован пакет «QGROUNDCONTROL» (рисунок 4).

«QGROUNDCONTROL» - это наземная станция управления небольшими автономными беспилотными объектами.

Основные особенности:

- коммуникационный протокол с открытым исходным кодом MAVLink;
- поддержка операционных систем Windows / Linux / MacOS;
- 2D/3D карты (поддержка Google Earth) с перемещаемыми маршрутными точками;
- возможность изменения в полете маршрутных точек и бортовых параметров (в EEPROM);
- построение в реальном времени графиков и диаграмм показаний датчиков и данных телеметрии;
- ведение и архивирование журналов сигналов телеметрии;
- поддержка UDP (*User Datagram Protocol*) — протокола пользовательских датаграмм);
- поддержка индикации на лобовом стекле.

Программа может настраиваться путем добавления различных встраиваемых окон.



Рисунок 4 – Пример видеокадра АРМ инженера

5 СУБД REDIS

Redis (REmote DIctionary Server) — это нереляционная высокопроизводительная СУБД, хранящая базу данных в оперативной памяти, снабженная механизмами снимков и журналирования для обеспечения постоянного хранения. СУБД также предоставляет операции для реализации механизма обмена сообщениями в паттерне publish — subscribe[en]. С его помощью приложения могут создавать каналы, подписываться на них и помещать в каналы сообщения, которые будут получены всеми подписчиками. Поддерживает репликацию данных с основных узлов на несколько подчиненных (англ. master — slave replication). Также Redis поддерживает транзакции (последовательное выполнение всех операций, либо ни одной) и пакетную обработку команд (выполнение пакета команд, получение пакета результатов). Высокая производительность Redis обуславливается тем, что все данные хранятся в оперативной памяти. На Linux-сервере достигнут результат в 110 000 запросов SET и 81 000 запросов GET в секунду.

Заключение

Комплекс полунатурного моделирования позволяет:

- разрабатывать и тестировать сложные математические модели аэродинамики, динамики полета, алгоритмов систем управления;
- разрабатывать и тестировать программное обеспечение наземных пунктов управления;
- проводить испытания разработанных моделей и алгоритмов в различных режимах без риска потери опытного образца;
- заменять программные модули аппаратными средствами для тестирования (HIL);
- проводить доработку моделей и алгоритмов управления при сопровождающем моделировании [2] в процессе летных испытаний.

Кроме того, разработанный комплекс может быть использован в качестве базы для построения авиационного тренажера [3].

Список литературы

- [1] Ильиных В.В., Андреев С.В., Ключников А.В., Чертков М.С. Моделирование динамики полета беспилотного летательного аппарата в компьютеризированном имитационном стенде // Труды международного симпозиума «Надежность и качество», том 1/2011. <http://cyberleninka.ru/article/n/modelirovanie-dinamiki-polyota-bespilotnogo-letatelnogo-apparata-v-komputerizirovannom-imitatsionnom-stende.pdf>.
- [2] Матвеев А.В., Махуков А.А. Сопровождающее моделирование в процессе летных испытаний беспилотных летательных аппаратов // Электронный журнал «Труды МАИ». Выпуск № 45. <http://www.mai.ru/science/trudy/published.php?ID=25461>
- [3] Лапшин Э.В., Гущина А.А. Имитация динамики полета и ее модельное представление // Труды международного симпозиума «Надежность и качество», том 1/2007. <http://cyberleninka.ru/article/n/imitatsiya-dinamiki-poleta-i-ee-modelnoe-predstavlenie>.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЛАДКИХ ТРАЕКТОРИЙ ПРИ ПЛАНИРОВАНИИ МАРШРУТОВ ДВИЖЕНИЯ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА (КИНЕМАТИКА)

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

Институт автоматики и электрометрии СО РАН
630090, Новосибирск, пр. ак. Коптюга, 1, Россия

zol@idisys.iae.nsk.su

тел: +7 (383) 333-26-25, факс: +7 (383) 333-88-78

Ключевые слова: летательный аппарат, планирование траектории, поворотные пункты маршрута, спираль Корнио (клютоида), ограничение перегрузки.

Abstract

In the paper we presented the smoothing 2D-path planning procedure for aircraft. Desired path is given as an ordered sequence of waypoints. Modeling results demonstrate an effectiveness of proposed technique based on the use of clothoid.

Введение

Для решения проблемы планирования маршрута, заданного последовательностью поворотных пунктов маршрута (ППМ), используются два основных метода. В первом способе аппарат должен следовать за точкой, передвигающейся вдоль желаемой траектории с установленной скоростью; этот способ называется «отслеживанием траектории» [1]. При этом неявно требуется, чтобы аппарат находился в определенном положении в определенное время.

Второй способ – это «следование вдоль пути» [2]. Цель следования вдоль пути – нахождение аппарата на пути, а не в определенном положении в определенное время. Алгоритмы следования вдоль пути используют либо метод векторных полей, либо метод потенциальных полей [3, 4].

Данная работа может быть отнесена к работам, использующим второй способ планирования маршрута. Далее под маршрутом движения летательного аппарата (ЛА) понимается проекция трехмерной траектории полета на горизонтальную плоскость. Основой планирования такого маршрута является указание координат поворотных пунктов маршрута и определение траекторий движения между ППМ и траекторий поворотов в окрестностях этих пунктов. На рис. 1. представлена схема фрагмента маршрута, состоящего из трех ППМ и соответствующих траекторий L_1, L_2, S_1 .

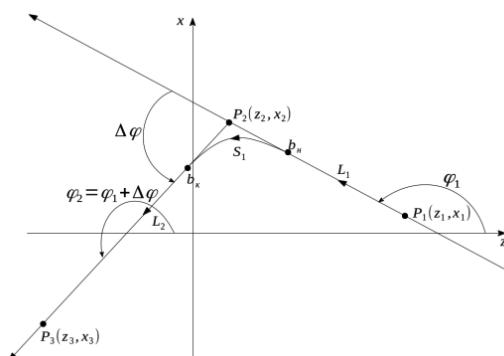


Рисунок 1 – Схема фрагмента маршрута

Пункты поворота представлены точками P_1, P_2, P_3 с указанием координат в системе (z, x) , принятой при описании движения ЛА. Движение между ППМ осуществляется по прямым линиям в направлениях возрастания индексов ППМ, т. е. по отрезкам L_1, L_2 ориентированных прямых линий. Поворот от траектории L_1 к траектории L_2 осуществляется по кривой S_1 , к которой предъявляются специфические требования, связанные с необходимостью учета ограничений на перегрузки, испытываемые ЛА.

Определим перегрузку \bar{n} как отношение ускорений, испытываемых ЛА, к ускорению силы тяжести g , т. е.:

$$\bar{n} = \frac{\dot{V}}{g},$$

где \dot{V} – вектор ускорения (a_t, a_n) с компонентами a_t – тангенциальное ускорение, и a_n – нормальное ускорение. Без потери общности мы будем считать, что движение по маршруту осуществляется с постоянной скоростью $V = const$ и, следовательно, в перегрузке отсутствует компонента a_t , т. е.

$$(1) \quad n = \frac{a_n}{g}$$

В точках b_s и b_e начала и конца поворота соответственно прямые L_1 и L_2 должны быть касательными к кривой S_1 . Это необходимо для непрерывности траектории. Но для гладкости траектории этого недостаточно. Необходимо еще соблюсти равенство кривизны траекторий в точках сопряжения. Важность этого требования демонстрируется, например, в случае сопряжения прямой с окружностью. В этом случае в точке сопряжения нормальное ускорение скачком изменяется от нуля на прямой до V^2/R на окружности. Внезапное приложение такого ускорения, в общем случае немалого, воспринимается конструкцией ЛА как ударная нагрузка, при которой деформации элементов конструкции могут значительно превысить деформации при медленном приложении аналогичной нагрузки. С этим явлением, например, давно знакомы строители дорог. Ими широко используется кривая, сопряжение которой с прямолинейными участками траектории не приводит к ударным нагрузкам. Это спираль Корню или клотоида [5].

Основные результаты

В данной работе мы предлагаем упрощенный метод расчета гладкого маршрута P_1, P_2, P_3 с использованием клотоиды в качестве траектории поворота и ориентированных прямых L_1, L_2 в качестве маршрутов движения от точки P_1 к точке P_2 , и от P_2 к P_3 соответственно.

Для описания маршрутов L_1 и L_2 естественно воспользоваться хорошо разработанной теорией ориентированных пересекающихся прямых, проходящих через две заданные точки [3]. Для сокращения объема излагаемого материала мы воспользуемся векторной формой вычислений.

Введем в рассмотрение радиусы-векторы $\bar{r}_1(z_1, x_1) = [z_1 \ x_1]^T$, $\bar{r}_2(z_2, x_2) = [z_2 \ x_2]^T$ и $\bar{r}(z, x) = [z \ x]^T$ точек P_1, P_2 и произвольных точек $P(z, x)$, лежащих на прямых L_1 и L_2 соответственно (рис. 2).

Вектор $\bar{R}_1 = \bar{r}_2 - \bar{r}_1$ определяет направление движения ЛА от точки P_1 к точке P_2 , т. е. единичный вектор \bar{t}_1 касательной к траектории L_1 :

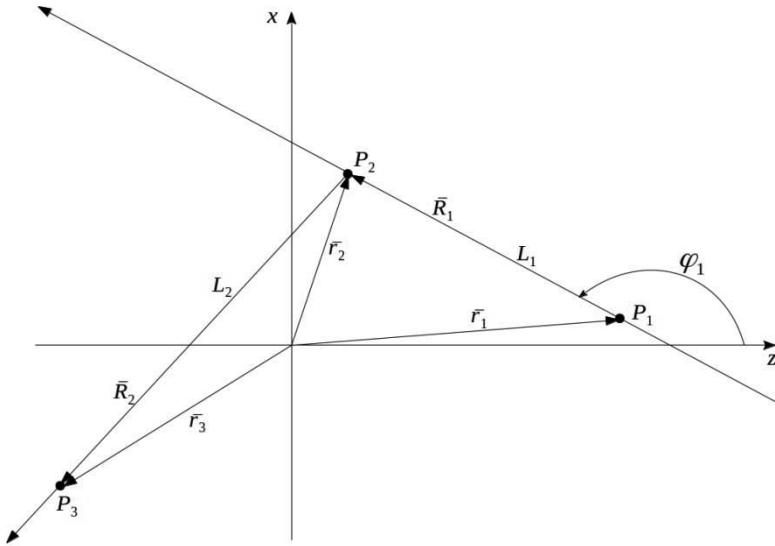


Рисунок 2 – Радиусы-векторы

$$(2) \quad \bar{\tau}_1 = \frac{\bar{R}_1}{|\bar{R}_1|} = [(\bar{\tau}_1)_z \quad (\bar{\tau}_1)_x]^T = [\cos \varphi_1 \quad \sin \varphi_1]^T$$

и единичный вектор нормали к этой траектории

$$(3) \quad \bar{n}_1 = [(\bar{\tau}_1)_z - (\bar{\tau}_1)_x]^T = [\cos \varphi_1 - \sin \varphi_1]^T,$$

где φ_1 – угол между положительным направлением оси z и ориентированной прямой L_1 соответственно.

Сама прямая $L_1(z, x)$ определяется уравнением

$$(4) \quad L_1(z, x) = \bar{r}(z, x) \cdot \bar{n}_1 + c_1 = z \cdot \sin \varphi_1 - x \cdot \cos \varphi_1 + c_1 = 0.$$

Уравнение прямой $L_2(z, x)$ определяется аналогично с заменой индексов 1 на 2:

$$(5) \quad L_2(z, x) = \bar{r}(z, x) \cdot \bar{n}_2 + c_2 = z \cdot \sin \varphi_2 - x \cdot \cos \varphi_2 + c_2 = 0.$$

Константы c_1 и c_2 определяются из условия прохождения прямых L_1 и L_2 через точки P_1 и P_2 для L_1 и точки P_2 и P_3 для L_2 :

$$(6) \quad \begin{cases} c_1 = -\bar{r}_1(z_1, x_1) \cdot \bar{n}_1 = -\bar{r}_2(z_2, x_2) \cdot \bar{n}_1 \\ c_2 = -\bar{r}_2(z_2, x_2) \cdot \bar{n}_2 = -\bar{r}_3(z_3, x_3) \cdot \bar{n}_2 \end{cases}.$$

Очевидно, величина и направление скоростей движения по прямым L_1 и L_2 определяются векторами

$$(7) \quad \bar{V}_1 = V \cdot \bar{\tau}_1, \quad \bar{V}_2 = V \cdot \bar{\tau}_2,$$

где $V = \text{const.}$ – линейная скорость ЛА.

В качестве траектории поворота S_1 принимаем клотоиду (спираль Корню), которая не только обеспечивает непрерывное с заданной скоростью изменение центробежного ускорения, но и является самой короткой среди переходных кривых подобного класса.

В координатах (z, x) спираль Корню описывается интегралами Френеля

$$(8) \quad \begin{cases} z(U) = \int_0^U \cos \frac{\pi}{2} U^2 dU, \\ x(U) = \int_0^U \sin \frac{\pi}{2} U^2 dU. \end{cases}$$

Поскольку мы не будем пользоваться табличными значениями интегралов Френеля, нам удобнее другая нормировка в соотношениях (8) и мы определим клотоиду в форме

$$(9) \quad \begin{cases} z(\tau) = a \cdot \int_0^\tau \cos \frac{\tau^2}{2} d\tau \\ x(\tau) = a \cdot \int_0^\tau \sin \frac{\tau^2}{2} d\tau \end{cases}$$

Чтобы соотношения (9) имели физический смысл, параметр a следует рассматривать как некий масштабный коэффициент, т. е. положить $[a] = M$, и принять τ за безразмерное время, т. е. положить $d\tau = \frac{dt}{T}$, где $[T] = [t] = c$. Здесь и далее знак $[\bullet]$ обозначает размерность переменной.

Соотношения (9) задают траекторию поворота S_1 в параметрической форме. Дважды дифференцируя (9) по параметру τ получаем:

$$(10) \quad \bar{V}(\tau) = a \cdot \begin{bmatrix} \cos \frac{\tau^2}{2} \\ \sin \frac{\tau^2}{2} \end{bmatrix} \text{ и } \frac{d\bar{V}(\tau)}{d\tau} = a\tau \cdot \begin{bmatrix} -\sin \frac{\tau^2}{2} \\ \cos \frac{\tau^2}{2} \end{bmatrix},$$

т. е. векторы скорости и ускорения ЛА в функции параметра τ .

Из второго соотношения (10) очевидно, что $\left| \frac{d\bar{V}(\tau)}{d\tau} \right| = a\tau$ и, следовательно, для плавного перехода к повороту или выхода из него в точках сопряжения клотоиды с прямыми L_1 и L_2 необходимо иметь $\tau = 0$.

Определим (τ) – угол наклона касательной к клотоиде. В точке сопряжения клотоиды с прямой L_1 $\tau = 0$ и $(0) = 0$. При движении по клотоиде $\Delta(\tau)$ будет получать приращение $\Delta(\tau) = \Delta \operatorname{arctg} \frac{V_x(\tau)}{V_z(\tau)} = \Delta \frac{\tau^2}{2}$, т. е.

$$(11) \frac{d}{d\tau} = \tau \text{ и } \varphi(\tau) = \varphi(0) + \frac{\tau^2}{2}.$$

Очевидно, что соотношение (11) не может одновременно удовлетворять условиям $\varphi(0) = \varphi_1$ и $\varphi(0) = \varphi_2$ в точках сопряжения с прямыми L_1 и L_2 . Это противоречие устраняется использованием так называемой симметричной клоиды, состоящей из двух частей. При этом параметр τ изменяется от $\tau = 0$ в точке сопряжения с прямой L_1 до некоторого значения τ_c с соответствующим изменением $\varphi(\tau)$ от $\varphi(0) = \varphi_1$ на L_1 до некоторого $\varphi(\tau_c) = \varphi_c$ и обратного изменения τ от τ_c до $\tau = 0$ на участке изменения $\varphi(\tau)$ от $\varphi(\tau_c) = \varphi_c$ до $\varphi(0) = \varphi_2$ на L_2 . Соотношение (11) в этом случае принимает форму $\varphi(\tau) = \varphi(0) \pm \frac{\tau^2}{2}$, справедливую для обоих участков клоиды.

Для симметричности клоиды следует положить

$$(12) \Delta\varphi(\tau_c) = \frac{\Delta\varphi}{2} = \pm \frac{\tau_c^2}{2},$$

где $\Delta\varphi$ – угол между положительными направлениями прямых L_1 и L_2 .

Знак в (12) определяется знаком угла $\Delta\varphi$, т. е. необходимо положить

$$(13) \tau_c^2 = |\Delta\varphi| \text{ и } \tau_c = \sqrt{|\Delta\varphi|}.$$

Угол $\Delta\varphi$ отсчитывается от положительного направления L_1 до положительного направления L_2 против часовой стрелки, т. е. $\Delta\varphi \geq 0$ при левом повороте от L_1 к L_2 и $\Delta\varphi \leq 0$ при правом повороте от L_1 к L_2 .

При таком определении $\Delta\varphi$ всегда должно выполняться равенство

$$(14) \varphi_2 = \varphi_1 + \Delta\varphi.$$

В [3] приведены соотношения для вычисления $\Delta\varphi$ при задании прямых в форме $f(z, x) = Az + Bx + C = 0$.

В нашем случае с учетом (2), (3), (4), (5) получим

$$(15) A_1 = (\bar{\tau}_1)_z, B_1 = -(\bar{\tau}_1)_x, A_2 = (\bar{\tau}_2)_z, B_2 = -(\bar{\tau}_2)_x.$$

Теперь из (15) получим

$$(16) \begin{cases} \cos\Delta\varphi = (\bar{\tau}_1)_x \cdot (\bar{\tau}_2)_x + (\bar{\tau}_1)_z \cdot (\bar{\tau}_2)_z = \bar{\tau}_1 \cdot \bar{\tau}_2, \\ \sin\Delta\varphi = (\bar{\tau}_1)_z \cdot (\bar{\tau}_2)_x - (\bar{\tau}_1)_x \cdot (\bar{\tau}_2)_z = \bar{\tau}_1 \cdot \bar{n}_2 \end{cases}$$

Применение процедуры atan2 системы MATLAB™ к соотношениям (16) дает значение $\Delta\varphi$, удовлетворяющее условию $-\pi < \Delta\varphi < \pi$, что при выполнении (14) исключает ошибки, связанные с многозначностью функции Arctg.

Очевидно, прямая с углом наклона

$$(17) \varphi_c = \varphi_1 + \frac{\Delta\varphi}{2} = \varphi_2 - \frac{\Delta\varphi}{2},$$

проходящая через точку $P_2(z_2, x_2)$, делит угол между положительными направлениями прямых L_1 и L_2 пополам, т. е.

$$(18) \varphi_h = \frac{\varphi_1 + \varphi_2}{2}.$$

Из (17) следуют более удобные соотношения

$$(19) \Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1 \text{ и } \tau_c = \sqrt{|\varphi_2 - \varphi_1|}.$$

Теперь можно полностью определить закон изменения угла $\Delta\varphi_{\tan}(\tau)$ наклона касательной к клотоиде в функции параметра τ :

1. $\Delta\varphi > 0, \varphi_2 > \varphi_c > \varphi_1$ (левый поворот):

$$(20) \varphi_{\tan}(\tau) = \begin{cases} \varphi_1 + \frac{\tau^2}{2} & \text{for } 0 \leq \tau \leq \tau_c, \frac{d\tau}{dt} > 0, \\ \varphi_2 - \frac{\tau^2}{2} & \text{for } \tau_c > \tau \geq 0, \frac{d\tau}{dt} < 0 \end{cases}.$$

2. $\Delta\varphi < 0, \varphi_1 > \varphi_c > \varphi_2$ (правый поворот):

$$(21) \varphi_{\tan}(\tau) = \begin{cases} \varphi_1 - \frac{\tau^2}{2} & \text{for } 0 \leq \tau \leq \tau_c, \frac{d\tau}{dt} > 0, \\ \varphi_2 + \frac{\tau^2}{2} & \text{for } \tau_c > \tau \geq 0, \frac{d\tau}{dt} < 0 \end{cases}.$$

Соотношения (20), (21) можно объединить:

$$(22) \varphi_{\tan}(\tau) = \begin{cases} \varphi_1 + sign\Delta\varphi \cdot \frac{\tau^2}{2} & \text{for } 0 \leq \tau \leq \tau_c, \frac{d\tau}{dt} > 0, \\ \varphi_2 - sign\Delta\varphi \cdot \frac{\tau^2}{2} & \text{for } \tau_c > \tau \geq 0, \frac{d\tau}{dt} < 0 \end{cases}.$$

Для полного описания траектории поворота необходимо определить точки $b_s(z_s, x_s)$ и $b_e(z_e, x_e)$ начала и конца траектории поворота. Очевидно, координаты этих точек должны удовлетворять уравнениям (4) и (5) соответственно. Это дает два уравнения для четырех неизвестных координат. При движении по клотоиде координаты ЛА получают приращения, которые мы обозначим через Δz_{cl} и Δx_{cl} . Это дает нам еще два уравнения:

$$(23) \begin{cases} z_e = z_s + \Delta z_{cl}, \\ x_e = x_s + \Delta x_{cl} \end{cases}.$$

Введем обозначения:

$$(24) \quad \left\{ \begin{array}{l} I_1 = \int_0^{\tau_c} \cos \left(\varphi_1 + \text{sign} \Delta \varphi \cdot \frac{\tau^2}{2} \right) d\tau \\ I_2 = - \int_0^{\tau_c} \cos \left(\varphi_2 - \text{sign} \Delta \varphi \cdot \frac{\tau^2}{2} \right) d\tau \\ I_3 = \int_0^{\tau_c} \sin \left(\varphi_1 + \text{sign} \Delta \varphi \cdot \frac{\tau^2}{2} \right) d\tau \\ I_4 = - \int_0^{\tau_c} \sin \left(\varphi_2 - \text{sign} \Delta \varphi \cdot \frac{\tau^2}{2} \right) d\tau \end{array} \right.$$

и функции

$$(25) \quad CF(\tau_c) = \int_0^{\tau_c} \cos \frac{\tau^2}{2} d\tau \quad SF(\tau_c) = \int_0^{\tau_c} \sin \frac{\tau^2}{2} d\tau .$$

С учетом этих обозначений после простых преобразований интегралы в (24) приобретают простую форму

$$(26) \quad \left\{ \begin{array}{l} I_1 = \cos \varphi_1 \cdot CF(\tau_c) - \text{sign}(\Delta \varphi) \cdot \sin \varphi_1 \cdot SF(\tau_c), \\ I_2 = -\cos \varphi_2 \cdot CF(\tau_c) - \text{sign}(\Delta \varphi) \cdot \sin \varphi_2 \cdot SF(\tau_c), \\ I_3 = \sin \varphi_1 \cdot CF(\tau_c) + \text{sign}(\Delta \varphi) \cdot \cos \varphi_1 \cdot SF(\tau_c), \\ I_4 = -\sin \varphi_2 \cdot CF(\tau_c) + \text{sign}(\Delta \varphi) \cdot \cos \varphi_2 \cdot SF(\tau_c), \end{array} \right.$$

и для Δz_{cl} и Δx_{cl} получаем соотношения

$$(27) \quad \Delta z_{cl} = a \cdot (I_1 + I_2), \quad \Delta x_{cl} = a \cdot (I_3 + I_4).$$

Подставляя векторы $[z_s \ x_s]^T$ и $[z_e \ x_e]^T$ с учетом (23) и (27) в уравнения (4) и (5) соответственно, получим систему линейных уравнений относительно координат (z_s, x_s) точки начала поворота. Решение этой системы в матричной форме имеет вид:

$$(28) \quad \begin{bmatrix} z_s \\ x_s \end{bmatrix} = \text{inv} \begin{bmatrix} \bar{\tau}_1 & -\bar{\tau}_1 \\ \bar{\tau}_2 & -\bar{\tau}_2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} -C_1 \\ -C_2 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \bar{\tau}_1 \\ \bar{\tau}_2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \Delta z_{cl} \\ \Delta x_{cl} \end{bmatrix}.$$

Для дальнейшего планирования маршрута желательно описать движение ЛА в функции времени. Выше отмечалось, что параметр τ удобно определить как безразмерное время. Пусть t – текущее время движения по маршруту и t_s – время начала поворота. Определим $\Delta t = t - t_s$ и положим $\tau = \Delta t T$. Тогда $\Delta t_c = T \cdot \tau_c$ – интервал времени, необходимый для изменения угла $\varphi(\tau)$ наклона касательной к клотоиде от $\varphi(0) = \varphi_1$ до $\varphi(\tau_c) = \varphi_c$ и для $\tau(t)$ справедливо соотношение

$$(29) \tau(t) = \frac{t - t_s}{T}, \quad t_s \leq t \leq t_s + T \cdot \tau_c, \quad \frac{d\tau}{dt} = \frac{1}{T}.$$

Очевидно, на интервале изменения $\varphi(\tau)$ от $\varphi(\tau_c) = \varphi_c$ до $\varphi(0) = \varphi_2$ $\tau(t)$ будет изменяться по закону

$$(30) \tau(t) = \frac{2T \cdot \tau_c - (t - t_s)}{T}, \quad T \cdot \tau_c + t_s < t \leq 2T \cdot \tau_c + t_s.$$

Полученные соотношения позволяют определить вектор скорости движения ЛА по переходной кривой в функции времени. Из (9), (10), (22), (29), (30) получаем

$$(31) \bar{V}(t) = \bar{V}(\tau) \cdot \frac{d\tau}{dt} = \frac{a}{T} \cdot [\cos \varphi_{\tan}(\tau(t)) \quad \sin \varphi_{\tan}(\tau(t))]^T,$$

где

$$(32) \varphi_{\tan}(t) = \begin{cases} \varphi_1 + sign \Delta \varphi \cdot \left(\frac{t - t_s}{T} \right)^2 \cdot \frac{1}{2} & \text{for } t_s \leq t \leq t_s + T \cdot \tau_c, \\ \varphi_2 - sign \Delta \varphi \cdot \left(\frac{2T \cdot \tau_c - (t - t_s)}{T} \right)^2 \cdot \frac{1}{2} & \text{for } t_s + T \cdot \tau_c < t \leq t_s + 2T \cdot \tau_c \end{cases}.$$

Осталось определить постоянные a и T . Из (9.1) определяем $\left[\frac{a}{T} \right] = m/s = [V]$. Из структуры (31) очевидно, что следует положить

$$(33) V = \frac{a}{T},$$

где V – заданная линейная скорость движения ЛА по переходной кривой, и

$$(34) \bar{V}(t) = V \cdot [\cos \varphi_{\tan}(\tau(t)) \quad \sin \varphi_{\tan}(\tau(t))]^T.$$

Далее, из соотношений (9) легко определяются основные свойства клотоиды:

$$\text{кривизна } k(\tau) = \frac{\tau}{a};$$

$$\text{радиус кривизны } \rho(\tau) = \frac{a}{\tau};$$

$$\text{длина траектории поворота } S(\tau) = 2a \cdot \tau_c.$$

$$\text{Нормальное ускорение } a_n = \frac{V^2}{\rho} = \frac{V^2}{a} \cdot \tau \text{ достигает максимума при } \tau = \tau_c.$$

Из (1) необходимо

$$(35) n_{\max} = \frac{V^2 \tau_c}{ag} \leq n_{enable}.$$

Из (33) и (35) получаем оценку

$$\frac{V}{T} \tau_c \leq g \cdot n_{enable} \text{ и } T \geq \frac{V \cdot \tau_c}{g \cdot n_{enable}}.$$

С учетом (13) положим

$$(36) \quad T = \frac{V}{g} \cdot \frac{\sqrt{|A\varphi|}}{n_{enable}}, \quad a = \frac{V^2 \cdot \sqrt{|A\varphi|}}{g \cdot n_{enable}}, \quad S = 2 \cdot \frac{V^2 \cdot \sqrt{|A\varphi|}}{g \cdot n_{enable}}.$$

Предложенный метод планирования траектории движения, заданной последовательностью поворотных пунктов маршрута, реализован в среде MATLAB/Simulink. На рисунке 3 представлены результаты планирования траектории движения с использованием клоноид для перехода между отрезками прямых маршрута.

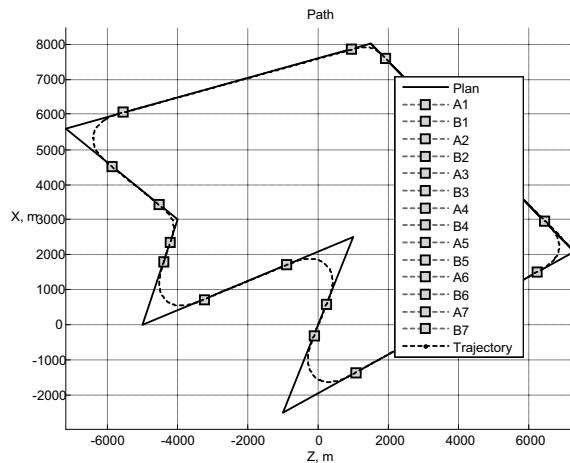


Рисунок 3 – Планирование траектории движения

Заключение

Результаты моделирования процедуры планирования гладких траекторий движения, заданных последовательностью поворотных пунктов маршрута подтвердили работоспособность и эффективность предложенного упрощенного метода планирования с использованием криевых Корню.

Благодарности

Работа частично поддержана грантом РФФИ № 15-08-03233.

Список литературы

- [1] Kaminer, I., Pascoal, A., Hallberg, E. and Silvestre, C., Trajectory tracking for autonomous vehicles: An integrated approach to guidance and control // AIAA J. Guidance, Control Dynam., 1998, vol. 21, no. 1, pp. 29–38.
- [2] P. Aguiar, J. Hespanha, and P. Kokotović, Path-following for non-minimum phase systems removes performance limitations, IEEE Trans. Automat. Control, vol. 50, no. 2, pp. 234–239, Mar. 2005.
- [3] Khatib, O., Real-Time Obstacle Avoidance for Manipulators and Mobile Robots, The International Journal of Robotics Research, March 1 1986, vol. 5, pp. 90-98.
- [4] Borenstein, J. and Koren, Y. Real-time obstacle avoidance for fast mobile robots, IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, 1989, vol. 19, pp. 1179-1187.
- [5] Бронштейн И.Н., Семенджев К.А. Справочник по математике. ГКТЛ, Москва, 1957.

МЕТОД УПРАВЛЕНИЯ УГЛОВЫМ ПОЛОЖЕНИЕМ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

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

Институт автоматики и электрометрии СО РАН
630090, Новосибирск, пр. ак. Коптюга, 1, Россия
zol@idisys.iae.nsk.su
тел: +7 (383) 333-26-25, факс: +7 (383) 333-88-78

Ключевые слова: летательный аппарат, управление угловым положением, углы Эйлера, вычисление потребных вращающих моментов.

Abstract

The problem of control of the aircraft attitude in a three-dimensional space is considered. The attitude is described by the Euler angles between the axes of the body-fixed coordinate system and the Earth frame. A method of calculating the torque driving the aircraft to a prescribed attitude is proposed. A controller implementing this method is presented. Results of simulations are reported.

Введение

В настоящем докладе представлены результаты исследования задачи управления ориентацией летательного аппарата – «нижнего слоя» системы автоматического управления, воспринимающего задания (очередное угловое положение аппарата) от системы траекторного управления и передающего уставки сервоприводам управляющих поверхностей (в случае аппарата самолетной схемы) либо силовым установкам (в случае мультироторной схемы аппарата).

1 Постановка задачи

При движении летательного аппарата (ЛА) как твёрдого тела различают поступательное движение — движение центра масс аппарата относительно Земли и вращательное движение — вращение аппарата вокруг его центра масс. При исследовании этих движений используются различные системы координат. В дальнейшем мы будем использовать *нормальную* и *связанную* системы координат [1] для описания поступательного и вращательного движений соответственно.

Начало O нормальной системы координат $OX_gY_gZ_g$ совпадает с центром масс летательного аппарата. Ось OY_g направлена вверх по местной вертикали. Плоскость OX_gZ_g является местной горизонтальной плоскостью, проходящей через точку O перпендикулярно оси OY_g . Оси OX_g и OZ_g параллельны осям O_0X_0 , O_0Z_0 нормальной земной системы координат и образуют совместно с осью OX_g прямоугольную правую систему координат.

Начало O связанный системы координат $OXYZ$ совпадает с центром масс летательного аппарата, а оси ориентированы по главным осям инерции аппарата. Продольная ось OX расположена в плоскости симметрии и направлена в сторону носовой части. Поперечная ось OZ перпендикулярна плоскости симметрии и направлена по правому полукрылу. Ось OY лежит в плоскости симметрии и направлена к верхней части аппарата. Система $OXYZ$ — прямоугольная правая система координат.

Поскольку оси связанный системы координат неподвижны относительно ЛА и совпадают с его главными осями инерции, её положение относительно нормальной системы координат определяет параметры пространственного положения ЛА в его вращательном движении относительно Земли. Этими параметрами являются эйлеровы углы ψ — угол рыскания, ϑ — угол тангажа и γ — угол крена [2, 3].

Угол рыскания ψ — угол между осью Ox_g нормальной системы координат и проекцией продольной оси ОХ связанный системы координат на горизонтальную плоскость Ox_gZ_g нормальной системы координат.

Угол тангажа ϑ — угол между продольной осью ОХ связанный системы координат и горизонтальной плоскостью Ox_gZ_g нормальной системы координат.

Угол крена γ — угол между поперечной осью ОZ связанный системы координат и осью Oz_g нормальной системы координат.

В дальнейшем под управлением ориентацией ЛА мы будем понимать целесообразное изменение значений углов ψ , ϑ и γ .

Управление ориентацией позволяет изменять угловое положение ЛА относительно воздушных потоков, обтекающих аппарат. Это изменяет значения аэродинамических сил и моментов, действующих на ЛА, что позволяет управлять скоростью и направлением его движения.

2 Основные результаты

Будем считать, что известны желаемые значения углов $\psi = \psi_{ref}$, $\vartheta = \vartheta_{ref}$ и $\gamma = \gamma_{ref}$, обеспечивающие требуемый режим полёта. Наша задача — путём использования органов управления ЛА перевести значения эйлеровых углов из произвольного начального состояния в заданные значения ψ_{ref} , ϑ_{ref} , γ_{ref} по траекториям, удовлетворяющим требованиям к качеству переходных процессов.

Вращательное движение ЛА будем описывать следующими векторными функциями времени:

- $\bar{\Gamma}(t) = (\gamma(t), \psi(t), \vartheta(t))^T$ — вектор текущих значений углов Эйлера;
- $\bar{\omega}(t) = (\omega_x(t), \omega_y(t), \omega_z(t))^T$ — вектор угловых скоростей вращения ЛА в проекциях на оси связанный системы координат;
- $\bar{M}(t) = (M_x(t), M_y(t), M_z(t))^T$ — суммарный момент вращения, создаваемый всеми силами, действующими на ЛА, включая аэродинамические силы, создаваемые управляющими поверхностями аппарата;
- $\bar{I}(m) = (I_x(m), I_y(m), I_z(m))^T$ — вектор моментов инерции ЛА относительно осей связанный системы координат;
- m — масса ЛА.

При полёте над плоской Землёй для описания ориентации ЛА достаточно знания углов ψ , ϑ и γ , определяющих положение осей связанный системы координат относительно нормальной системы координат. В этом случае проекции вектора угловой скорости аппарата на связанные оси определяются кинематической системой дифференциальных уравнений [2, 3]

$$(1) \quad \left. \begin{aligned} \omega_x &= \dot{\gamma} + \dot{\psi} \sin \vartheta; \\ \omega_y &= \dot{\psi} \cos \vartheta \cos \gamma + \dot{\vartheta} \sin \gamma; \\ \omega_z &= -\dot{\psi} \cos \vartheta \sin \gamma + \dot{\vartheta} \cos \gamma \end{aligned} \right\},$$

имеющей обращённую форму

$$(2) \quad \left. \begin{aligned} \dot{\gamma} &= \omega_x - \tan \vartheta \cdot (\omega_y \cos \gamma - \omega_z \sin \gamma) \\ \dot{\psi} &= \frac{1}{\cos \vartheta} \cdot (\omega_y \cos \gamma - \omega_z \sin \gamma) \\ \dot{\vartheta} &= \omega_y \sin \gamma + \omega_z \cos \gamma, \end{aligned} \right\},$$

а закон изменения вектора угловой скорости определяется системой динамических уравнений

$$(3) \quad \left. \begin{aligned} \dot{\omega}_x &= \frac{1}{I_x} M_x - \frac{I_z - I_y}{I_x} \cdot \omega_y \omega_z; \\ \dot{\omega}_y &= \frac{1}{I_y} M_y - \frac{I_x - I_z}{I_y} \cdot \omega_z \omega_x; \\ \dot{\omega}_z &= \frac{1}{I_z} M_z - \frac{I_y - I_x}{I_z} \cdot \omega_x \omega_y \end{aligned} \right..$$

Системы уравнений (1), (2) и (3) хорошо известны [2, 3] и являются основой построения систем управления различными режимами полёта ЛА.

В дальнейшем будем пользоваться более компактной векторно-матричной формой записи нелинейных дифференциальных уравнений (2) и (3):

$$(4) \quad \left. \begin{aligned} \dot{\bar{\Gamma}} &= \bar{F}_1(\bar{\omega}, \bar{\Gamma}) \\ \dot{\bar{\omega}} &= \bar{F}_2(\bar{\omega}) + B \cdot \bar{M}, \end{aligned} \right\},$$

где векторы $\bar{\Gamma}, \bar{\omega}, \bar{M}$ определены ранее, а значения векторов \bar{F}_1 и \bar{F}_2 и диагональной матрицы B следуют из сопоставления правых частей уравнений (4) и систем (2) и (3) соответственно.

3. В уравнениях (4) под \bar{M} будем понимать некоторое требуемое значение момента \bar{M}_{ref} , позволяющее перевести значения углов $\bar{\Gamma}$ в требуемое значение $\bar{\Gamma}_{ref}$ по желаемой траектории $\bar{S}(t)$, которую будем определять уравнением

$$(5) \quad \bar{S}(t) = \dot{\bar{\Gamma}}(t) + K_1 \cdot (\bar{\Gamma}(t) - \bar{\Gamma}_{ref}) = 0.$$

Для выполнения условия (5), т. е. реализации вынужденного движения системы (4) по заданной траектории, будем определять \bar{M}_{ref} из условия

$$(6) \quad \dot{\bar{S}}(t) = -K_2 \cdot \bar{S}(t),$$

что с учётом (5) приводит нас к линейному относительно $\ddot{\bar{\Gamma}}(t)$ дифференциальному уравнению второго порядка

$$(7) \quad \ddot{\bar{\Gamma}} = -(K_1 + K_2) \cdot \dot{\bar{\Gamma}} - K_1 \cdot K_2 \cdot (\bar{\Gamma} - \bar{\Gamma}_{ref}),$$

определяющему необходимое значение $\ddot{\bar{\Gamma}}$ для движения системы по траектории (5).

В уравнениях (5) и (6) коэффициенты диагональных матриц K_1 и K_2 выбираются из условия устойчивого и качественного переходного процесса системы (7) в точку $\bar{\Gamma} = \bar{\Gamma}_{ref}$. Так например, при $K_1 = K_2$ с положительными диагональными элементами соответствующих матриц выполнение уравнения (7) приводит к устойчивым переходным процессам без перерегулирования [4].

Вращающий момент \bar{M} в соответствии с (4) может влиять на $\ddot{\bar{\Gamma}}$ только через изменения вектора угловых скоростей $\bar{\omega}$. Из системы (4) получим

$$(8) \quad \ddot{\bar{\Gamma}} = \frac{\partial F_1(\bar{\omega}, \bar{\Gamma})}{\partial \bar{\omega}} \cdot \dot{\bar{\omega}} + \frac{\partial F_1(\bar{\omega}, \bar{\Gamma})}{\partial \bar{\Gamma}} \cdot \dot{\bar{\Gamma}}$$

и, подставляя $\dot{\bar{\omega}}, \dot{\bar{\Gamma}}$ из (4) в (8), получим

$$(9) \quad \ddot{\bar{\Gamma}} = \frac{\partial F_1(\bar{\omega}, \bar{\Gamma})}{\partial \bar{\omega}} \cdot F_2(\bar{\omega}) + \frac{\partial F_1(\bar{\omega}, \bar{\Gamma})}{\partial \bar{\Gamma}} \cdot \dot{\bar{\Gamma}} + \frac{\partial F_1(\bar{\omega}, \bar{\Gamma})}{\partial \bar{\omega}} \cdot B \cdot \bar{M}.$$

Для вычисления желаемого значения $\bar{M} = \bar{M}_{ref}$ приравняем правые части соотношений (7) и (9). Опустив обозначения переменных в функциях \bar{F}_1 и \bar{F}_2 , после несложных преобразований получим

$$(10) \quad \bar{M}_{ref} = -inv(B) \cdot \left[\bar{F}_2 + inv\left(\frac{\partial \bar{F}_1}{\partial \bar{\omega}} \right) \cdot \left(\left(\frac{\partial F_1}{\partial \bar{\Gamma}} + K_1 + K_2 \right) \cdot \dot{\bar{\Gamma}} + K_1 \cdot K_2 \cdot (\bar{\Gamma} - \bar{\Gamma}_{ref}) \right) \right].$$

Простая подстановка \bar{M}_{ref} из (10) в уравнение (9) приводит к уравнению (7), т. е. введение нелинейной обратной связи в управляемую систему (4) превращает её в линейную систему второго порядка с желаемым переходным процессом из начального состояния $\bar{\Gamma}(0)$ в конечное состояние $\bar{\Gamma}_{ref}$. При этом в случае $\bar{\Gamma}_{ref} = const$ значения $\ddot{\bar{\Gamma}}$ и $\dot{\bar{\Gamma}}$ экспоненциально стремятся к нулю, что в соответствии с (1) приводит к нулю и вектор угловых скоростей $\bar{\omega}$.

Соотношение (10) определяет вектор т. н. потребных значений вращающих моментов, позволяющих установить и поддерживать значения углов $\bar{\Gamma} = \bar{\Gamma}_{ref}$. Однако особенности конструкции ЛА и эффективность его рулей не всегда позволяют выполнить (10). В этом случае говорят о располагаемых значениях моментов вращения и допустимых углах отклонения рулевых поверхностей. Определение необходимых углов отклонения рулей существенно зависит от конструкции ЛА.

4. Рассмотрим вопрос определения углов отклонения рулей для ЛА со схемой рулевых поверхностей в соответствии с рис. 1 для требуемого значения момента \bar{M}_{ref} . Эффективность рулей зависит от скорости аппарата, плотности воздуха и многих других параметров полёта, наиболее существенными из которых являются скорость движения и углы атаки α и скольжения β . Углы α и β определяют положение скоростной системы координат относительно связанной системы координат. В скоростной системе ось OX_a направлена по воздушной скорости \bar{V} , ось подъёмной силы OY_a располагается в плоскости симметрии ЛА и направлена вверх, боковая ось OZ_a направлена перпендикулярно плоскости симметрии по правому полукрылу [1]. Угол атаки α - угол между осью OX_a и проекцией скорости \bar{V} на плоскость OXY связанной системы координат; угол скольжения β - угол между скоростью \bar{V} и плоскостью OXY связанной системы координат.

Скоростная система координат используется для описания воздействия на ЛА набегающего потока воздуха при продувках ЛА или его динамически подобных моделей в аэродинамических трубах. Результатом продувок являются таблицы безразмерных коэффициентов, отражающих зависимости аэродинамических коэффициентов ЛА от углов α, β , углов от-

клонения рулевых поверхностей и других параметров полёта. Эти таблицы в условиях реального полёта позволяют восстановить силы и моменты, действующие на летательный аппарат.

В общем случае значение располагаемого момента \bar{M}_{av} можно представить в виде

$$(11) \bar{M}_{av}(\alpha, \beta, \bar{\delta}) = \bar{M}_0(\alpha, \beta) + \frac{\partial \bar{M}(\alpha, \beta, \bar{\delta})}{\partial \bar{\delta}} \cdot \bar{\delta}.$$

В (11) $\bar{\delta} = (\delta_a, \delta_r, \delta_e)^T$ - вектор углов отклонений обобщённых рулей крена, курса и высоты соответственно; $\bar{M}_0(\alpha, \beta)$ - момент вращения, создаваемый воздушным потоком при нулевых отклонениях рулей. Для создания момента в соответствии с (10) необходимо отклонить рули на углы

$$(12) \bar{\delta}_{ref} = \text{inv}\left(\frac{\partial \bar{M}(\alpha, \beta, \bar{\delta})}{\partial \bar{\delta}}\right) \cdot (\bar{M}_{ref} - \bar{M}_0(\alpha, \beta)).$$

Последнее соотношение справедливо при зависимости $\bar{M}_{av}(\alpha, \beta, \bar{\delta})$ от $\bar{\delta}$, близкой к линейной при ограниченных углах $\bar{\delta}$. Углы $\bar{\delta}$ всегда ограничены либо конструктивными соображениями, либо величинами допустимых перегрузок. В этом случае не всегда возможно выполнить условие $\bar{M}_{av} = \bar{M}_{ref}$ и заданная желаемая траектория (5), (6) оказывается нереализуемой. Выход из такого положения может заключаться в уменьшении диагональных коэффициентов матриц K_1 и K_2 . Это приводит к увеличению постоянных времени переходных процессов на траектории (5), (6) и снижению требований к моменту \bar{M}_{ref} .

5. Предложенный метод управления ориентацией летательного аппарата реализован в среде MATLAB/Simulink. На рис. 1-3 представлены графики переходных процессов углов Эйлера, угловых скоростей и потребных моментов соответственно. При моделировании использованы параметры летательного аппарата ЛЛ-80: осевые моменты инерции $I_x = 3,4 \text{ кг}^* \text{м}^2$, $I_y = 4,8 \text{ кг}^* \text{м}^2$, $I_z = 4,2 \text{ кг}^* \text{м}^2$.

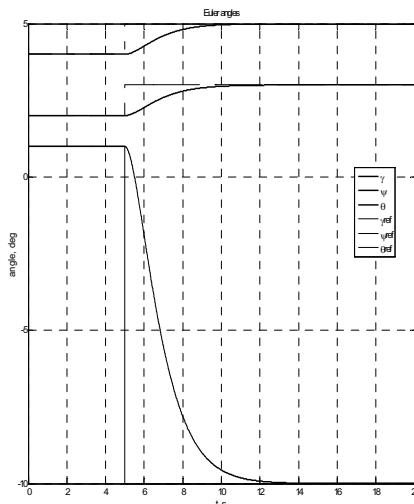


Рисунок 1. Углы Эйлера

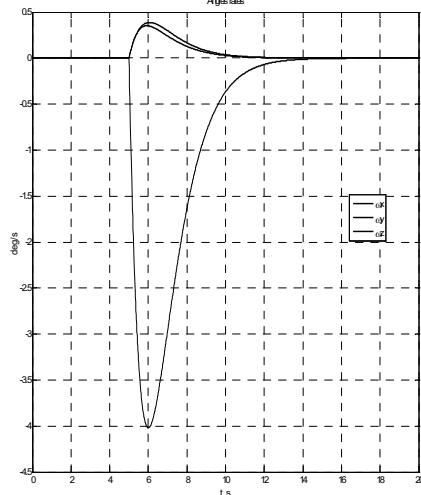


Рисунок 2. Угловые скорости

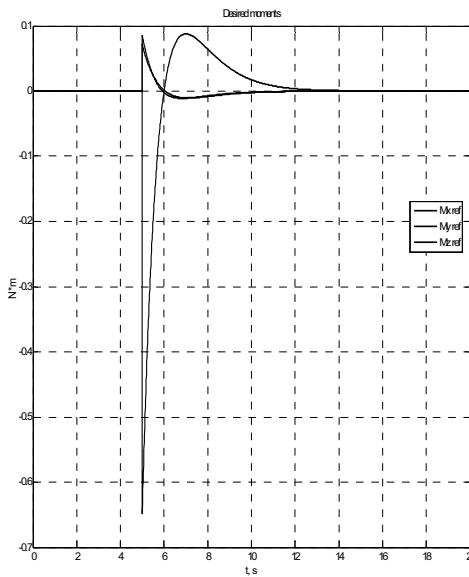


Рисунок 3. Потребные вращающие моменты

Начальные значения угловых скоростей $\omega_x = \omega_y = \omega_z = 0^\circ$, углов ориентации: $\gamma_0 = 1^\circ$, $\psi_0 = 2^\circ$, $\vartheta_0 = 4^\circ$. Желаемые значения углов ориентации: $\gamma_{ref} = -10^\circ$, $\psi_{ref} = 3^\circ$, $\vartheta_{ref} = 5^\circ$.

Заключение

Использование предложенного ранее [5] метода организации вынужденного движения вдоль желаемой траектории в пространстве состояний для управления ориентацией летательного аппарата позволило достичь удовлетворительных переходных процессов.

Разработанная схема контроллера более проста в сравнении с результатами, полученными в [6] методом back-stepping, при примерно равных показателях качества переходных процессов.

Предложенный способ вычисления потребных для достижения заданной ориентации летательного аппарата моментов реализован в среде MATLAB/Simulink. Результаты численного моделирования подтвердили эффективность предложенного подхода.

Благодарности

Работа частично поддержана грантом РФФИ № 15-08-03233.

Список литературы

- [1] ГОСТ 20058-80. Динамика летательных аппаратов в атмосфере. М., Госстандарт, 1981. <http://gostexpert.ru/gost/getDoc/3780>.
- [2] В.Г. Воробьев, С.В. Кузнецов. Автоматическое управление полетом самолета. М., Транспорт, 1995, 448 с.
- [3] А.А. Лебедев, Л.С. Чернобровкин. Динамика полёта. М., Машиностроение, 1973, 616 с.
- [4] И.В. Мирошник. Теория автоматического управления. Линейные системы. Питер, 2005. 36 с.

- [5] В.Д. Бобко, Ю.Н. Золотухин, А.А. Нестеров. Нечеткая реализация скользящих режимов в системе возбуждения синхронного генератора. В кн. Труды Международной конференции «Проблемы управления и моделирования в сложных системах» (15-17 июня 1999, Самара, Россия). - Самара: Изд. Самарский научный центр РАН, 1999. С. 229-234.
- [6] M. Lungu, Stabilization and Control of a UAV Flight Attitude Angles using the Back-stepping Method World Academy of Science, Engineering & Technology; 2012, Issue 6(1), p. 241-248.

МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЙ ДИНАМИКИ ПОЛЕТА И СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ НА ДИНАМИЧЕСКИ ПОДОБНЫХ ЛЕТАЮЩИХ МОДЕЛЯХ

С.Г. Деришев¹, Д.С. Деришев¹, А.Б. Кощеев², А.З. Тарасов³

¹АО «Новосибирский научно-исследовательский институт

авиационной технологии и организации производства»

630051, Новосибирск, ул. Ползунова, 15, Россия

niat@mail.ru

Тел., факс: +7 (383) 279 06 64

²ПАО «Туполев»

105005, Москва, а/я 20, Набережная Академика Туполева, 17, Россия

tu@tupolev.ru

Тел.: +7 (499) 263-75-00, факс: +7 (499) 263-77-01

³ПАО «Компания «Сухой»

125284, Москва, ул. Поликарпова, 23Б, Россия

avpk@sukhoi.org

Тел.: +7 (499) 550-01-06, факс: +7 (495) 945-68-06

Ключевые слова: летательный аппарат, модель, подобие, аэродинамические характеристики, автоматическое управление, критические режимы полета, telemetry.

Abstract

A method of aerodynamics, flight dynamics and control system research using of dynamically scaled flying models is presented. The method complements traditional ways of development and improvement of new aerodynamic aircraft configuration: wind tunnel tests and numerical modeling. The main value of the method is the ability to obtain reliable estimates of "aircraft - control system" behavior at critical flight conditions: at the stall, spin, in the event of tumbling.

Введение

Создание новых образцов летательных аппаратов начинается с разработки аэродинамической компоновки, определяющей облик нового изделия и достижимые пределы летно-технических характеристик. Интеллектуальные системы управления, интенсивно развивающиеся в последнее время, дают возможность устраниить или в значительной степени ослабить неблагоприятные особенности некоторых перспективных аэродинамических компоновок. Соединение достоинств оригинальной аэродинамической компоновки и интеллектуальной бортовой системы открывает путь к созданию летательных аппаратов с лучшими лётно-техническими характеристиками. Для оценки уровня совершенства построенного по такой концепции летательного аппарата недостаточно иметь ответы на частные вопросы относительно уровня аэродинамических характеристик и совершенства системы управления. Нужен инструмент, позволяющий достоверно оценить интересующие разработчика качества объекта «аэродинамическая компоновка – система управления». Таким инструментом и являются летающие динамически подобные модели, воспроизводящие в полете все необходимые свойства объекта.

Летающая динамически подобная модель (ДПМ) – это беспилотный летательный аппарат исследовательского назначения, геометрически подобный создаваемому натуральному образцу (уменьшенная копия), способный совершать автоматический или дистанционно пилотируемый полет по заданной программе и обеспечивающий возможность регистрации получаемой в полете информации.

В настоящее время во всем мире исследования на ДПМ прочно вошли в процесс разработки новых аэродинамических компоновок летательных аппаратов и систем автоматического управления. Основными причинами быстрого и широкого внедрения ДПМ являются, с одной стороны, расширение круга задач, недоступных для исследований в аэродинамических трубах. С другой стороны – появление миниатюрных радиоэлектронных устройств, позволяющих создать совершенный бортовой информационно-измерительный и управляющий комплекс на моделях относительно небольшого размера, композиционных материалов и технологий для быстрого изготовления планера, появление размерного ряда поршневых и газотурбинных двигателей с высокой удельной мощностью (или тягой), пригодных для использования в качестве силовой установки ДПМ.

Традиционные режимы полёта, исследуемые на ДПМ – сваливание, штопор и вывод из штопора – дополнились режимами пространственного маневрирования с большими перегрузками, изучением особенностей работы систем автоматического управления, систем активного управления перегрузкой, аэроупругости конструкции и её влияния на аэродинамические и лётно-технические характеристики, исследованием возможностей изменяемого вектора тяги.

С 70-х годов прошлого столетия в программы разработок США включается обязательный этап исследований летающей модели самолёта для определения характеристик устойчивости, управляемости и штопора. В процессе разработки самолётов F-22, F-117, X-35, X-32, X-45, X-47, B-2 (рисунок 1) было испытано несколько десятков летающих моделей. Экономический эффект от внедрения испытаний летающих моделей в программу разработки нового самолёта специалистами NASA оценивается стоимостью одного экспериментального самолёта, построенного по этой программе [1].

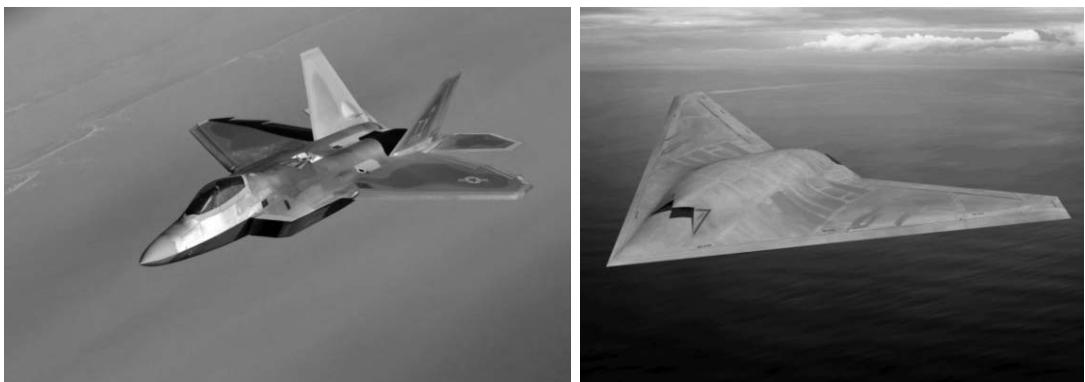


Рисунок 1 – Самолеты F-22 и X-45

В нашей стране до распада СССР существовала лаборатория лётных исследований в Харьковском авиационном институте (позднее переименованная в НИИ ПФМ), возглавляемая О.Р. Черановским. В лаборатории проводились исследования на динамически подобных моделях практически всех маневренных самолётов, созданных в Советском Союзе в 70...90-е годы: Су-27, МиГ-29, Су-47 и их модификации.

1 Критерии и масштабы подобия

Основой физического моделирования является теория подобия, [2]. В её задачи входит определение требований, которым должна удовлетворять модель для адекватного отображения заданного натурного процесса, а также вывод соотношений, позволяющих перейти от данных, полученных на модели, к характеристикам натурного объекта.

Физические явления называются подобными, если в сходственные моменты времени в сходственных точках пространства значения переменных величин, характеризующих состоя-

ние одной системы, пропорциональны соответствующим значениям величин другой системы. Коэффициенты пропорциональности для каждой из этих величин называются масштабами подобия.

Обычно рассматривают три вида подобия: геометрическое подобие исследуемых объектов, кинематическое и динамическое. Динамическое подобие при моделировании полёта летательного аппарата требует обеспечения подобия внешних – аэродинамических – сил и моментов, сил тяги и моментов двигателей, массово-инерционных нагрузок. Если исследуют динамику движения самолёта с системой автоматического управления (САУ), влияющей на его динамические характеристики, модель также должна иметь САУ, подобную самолётной: структурные схемы всех каналов управления на самолёте и модели должны быть одинаковы, каждый элемент в схеме модели должен быть преобразован согласно требованиям подобия. Суммарный сигнал на рулевой привод должен состоять из тех же слагаемых, что и у самолёта, но быть преобразованным согласно масштабам подобия [3].

Аэродинамическое подобие при моделировании полёта натурного объекта и его модели обеспечивается геометрическим подобием обтекаемых тел и динамическим подобием потоков обтекающей жидкости.

Известно [2, 4, 5], что два газовых потока подобны, если выполняются следующие критерии:

$$Re = \frac{V_\infty l}{\nu_\infty} \text{ - число Рейнольдса,}$$

$$M = \frac{V_\infty}{a_\infty} \text{ - число Маха,}$$

$$Sh = \frac{V_\infty t}{l} \text{ - число Струхала.}$$

К приведенным выше критериям подобия необходимо в общем случае добавить число Прандтля и показатель адиабаты, но для большинства задач, решаемых с помощью ДПМ, эти критерии не являются значимыми. Подобием по числу Маха в случаях, когда скорость полета натуры на моделируемом режиме менее 350...400 км/ч ($M < 0,3$) также можно пренебречь.

Число Струхала, обеспечивающее кинематическое подобие при неустановившемся обтекании, представляет собой тождество и при удовлетворении условий кинематического подобия на стационарном режиме выполняется автоматически.

Таким образом, подобие течений в задаче моделирования полета недеформируемого тела в несжимаемой среде обеспечивается единственным критерием – равенством для модели и натуры чисел Re . Число Re оказывает заметное влияние на течение в пограничном слое: при безотрывном обтекании различие чисел Re приводит к различию сил трения – на модели и натуре будут различаться величины c_{x0} и аэродинамическое качество. При возникновении отрыва потока появятся различия в углах атаки и скольжения, соответствующих началу отрыва, а также изменится динамика распространения области отрывного обтекания. Если с первым отмеченным фактором можно примириться: оценка минимального сопротивления и аэrodинамического качества обычно не являются целью исследований на ДПМ, то второй фактор является существенным. Динамика области срывного обтекания на несущих и управляющих поверхностях, ее зависимость от углов атаки и скольжения является фактором, определяющим характер поведения летательного аппарата на критических режимах полета.

Средства, нивелирующего различие обтекания модели и натуры, связанное с различием числа Re , в общем случае не существует, и это обстоятельство является сильным ограничением области применения метода. Однако, как показывает практика, современные самолеты,

предназначенные для полетов на режимах больших дозвуковых скоростей, имеют профиль крыла, основные аэродинамические характеристики которого, имеют весьма слабую зависимость от числа Re , начиная с $Re \approx 2\dots 2,5$ млн., [6]. Эти значения вполне достижимы для летающих моделей небольших размеров. Слабая, близкая к автомодельности, зависимость аэродинамических характеристик от числа Re предопределяет и близкое по характеру поведение самолёта и его динамически подобной модели на режимах сваливания, штопора и при других формах динамической неустойчивости, возникающих на больших углах атаки.

Подобие других сил, действующих на самолёт – сил инерции тела, взаимодействующего с потоком, и тяги двигателей – обеспечивает критерий Ньютона:

$$Ne = \frac{m}{\rho l^3}.$$

Критерий Фруда выражает условие пропорциональности гравитационных и инерционных сил, действующих в натурном и модельном процессах.

$$Fr = \frac{V_\infty^2}{gl}.$$

В экспериментах на летающих моделях выполнение критерия Фруда является условием обеспечения кинематического подобия течений: равенства углов атаки (скольжения) модели и натуры на подобных режимах, равенства углов отклонения рулевых поверхностей, равенства перегрузок при выполнении подобных маневров и т.п.

При исследованиях явлений аэроупругости в число фундаментальных критериев подобия необходимо включить и критерий Коши:

$$Ca = \frac{\rho V^2}{E}$$

устанавливающий связь между силами упругого деформированного тела, обтекаемого потоком воздуха, и действующими на него аэродинамическими силами.

Подводя итог изложенному краткому анализу условий обеспечения динамического подобия для летающей модели, можно резюмировать следующее. Критерии Ньютона и Фруда должны быть удовлетворены непременно. Критерий Струхала при обеспечении динамического подобия выполняется автоматически. Что касается критериев Рейнольдса и Маха, совместное удовлетворение которых на ДПМ возможно только в тривиальном случае, представляется целесообразным воспользоваться общепринятым приемом и выбирать масштабы подобия таким образом, чтобы аэродинамические характеристики находились в области автомодельности по этим параметрам. Критерий Коши должен быть выполнен в тех случаях, когда прогнозируется существенное влияние аэроупругих деформаций конструкции самолета.

Основной целью анализа вопросов подобия при проектировании ДПМ является получение масштабов подобия, которые позволяют установить взаимосвязь соответствующих параметров модели и натурного самолёта:

$$k_l = \frac{l_m}{l_n}, \quad k_m = \frac{m_m}{m_n}, \quad k_J = \frac{J_{x(y,z)m}}{J_{x(y,z)n}}, \quad k_V = \frac{V_m}{V_n}, \quad k_t = \frac{t_m}{t_n},$$

где k_l - масштаб линейных размеров,

k_m - масштаб масс,

k_J - масштаб осевых моментов инерции,

k_V - масштаб скорости,

k_t - масштаб времени.

Если масштаб линейных размеров k_l принять в качестве первичного масштаба, то, с учётом принятых в предыдущем разделе критериев подобия, вторичные масштабы, зависящие от k_l , определяются следующим образом:

$$k_m = k_l^3 \frac{\rho_m}{\rho_n},$$

где ρ_m и ρ_n - плотность воздуха на высоте полёта модели и натуры соответственно.

$$k_J = k_m k_l^2 = k_l^5 \frac{\rho_m}{\rho_n},$$

$$k_v = \sqrt{k_l},$$

$$k_t = \sqrt{k_l}.$$

Таким образом, основные вторичные масштабы определяются масштабом линейных размеров k_l и заданной высотой динамического подобия (k_ρ).

Удовлетворение перечисленных фундаментальных критериев подобия обеспечивает для модели и натуры равенство на сходственных режимах полета углов атаки и скольжения, аэродинамических коэффициентов, компонент перегрузки, углов отклонения рулевых поверхностей. При этом траектории движения модели и натуры геометрически подобны, вид переходных процессов – одинаков, а параметры процессов пересчитываются по масштабам подобия.

2 Решаемые задачи

Метод исследования на летающих динамически подобных моделях является более дорогим инструментом по сравнению с другими экспериментальными методами, поэтому используется он, как правило, в тех случаях, когда оказывается затруднительным или невозможным получить достоверную информацию в аэrodинамической трубе или другом наземном стенде.

К таким случаям относятся режимы, вплотную примыкающие к критическим или опасным режимам полета, режимы полета на критических углах атаки, критических скоростях по условиям аэроупругости, либо иные режимы, где существенно оказывается предыстория движения: сваливание и штопор, режимы полета на больших углах атаки, когда возникает динамическая неустойчивость типа Wing Rock и Tumbling.

Tumbling – это явление авторотации самолета относительно поперечной оси с движением центра масс по наклонной траектории. Особую склонность к возникновению тамблинга проявляют схемы типа «Летающее крыло», «Бесхвостка» и статически неустойчивые компоновки. На режиме тамблинга органы управления теряют эффективность и выход на нормальный режим полета иногда оказывается невозможным.

Wing Rock – это раскачивание самолета по крену с нарастающей амплитудой колебаний вплоть до вращения. Наблюдается на компоновках со стреловидным крылом на больших углах атаки.

Помимо перечисленных задач, по результатам испытаний ДПМ разрабатываются рекомендации по пилотированию на больших углах атаки и «аварийные» алгоритмы управления, ограничивается область эксплуатационных режимов полета.

В США с 2009 года началось выполнение программы AirSTAR, [7], нацеленной на исследование причин попадания пассажирских и грузовых самолетов на режимы потери управляемости (Loss-of-control) и поиск путей возврата самолета на штатные режимы полета. Основным инструментом для окончательных проверок принятых решений о модернизации системы управления, «аварийных» алгоритмов управления, последовательности действий рулями и пр. являются летные испытания динамически подобных моделей.

3 Конструкция динамически подобной модели

Планер летающей динамически подобной модели выполняется в соответствии с обводами натурного самолета (в выбранном масштабе). Точность воспроизведения обводов регламентируется ОСТ 1 02608-87 «Модели летательных аппаратов для испытаний в аэродинамических трубах». Прочность планера модели должна обеспечить восприятие нагрузок, определенных из условия заданной максимальной перегрузки в 1,5...2 раза превосходящей аналогичное значение для натуры. Обводообразующие элементы планера – крыльевые и фюзеляжные панели, обшивка оперения и рулевых поверхностей – как правило, выполняются из полимерно-композитных материалов. Конструктивно-силовой набор – композитный или металлический.

Размеры модели зависят от решаемой задачи и наличия подходящего двигателя, обеспечивающего необходимую тяговооруженность.

Силовая установка модели – поршневой или турбореактивный двигатель. В настоящее время несколько зарубежных фирм поставляют на рынок (в основном для авиамоделистов) как поршневые двигатели широкой номенклатуры, так и турбореактивные с тягой от 5 до 80 кг (рисунок 2).

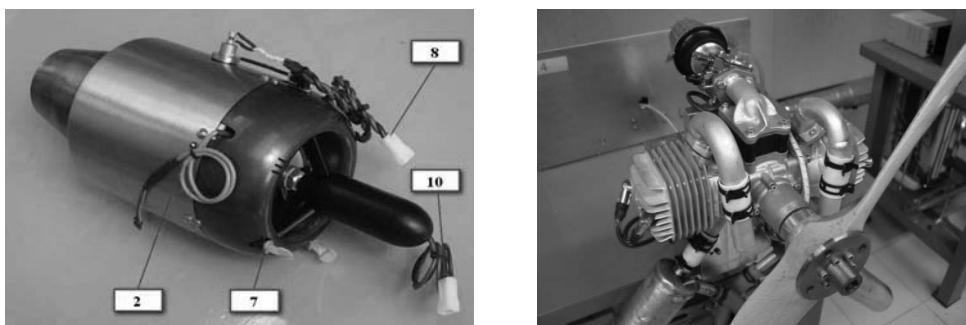


Рисунок 2 – Турбореактивный двигатель «Titan» и двухцилиндровый поршневой двигатель 3W-157



Рисунок 3 – Рулевая машинка Hitec HS7980TH

В качестве аварийной обычно используется парашютная система спасения, обеспечивающая автоматический выпуск парашюта и снижение спасаемого изделия с вертикальной скоростью ~ 5 м/с.

Система управления моделью – обычно электромеханическая. В качестве рулевых приводов используются рулевые машинки, применяемые на авиамоделях, либо предназначенные для беспилотных летательных аппаратов (рисунок 3).

Бортовой комплекс радиоэлектронного оборудования содержит пилотажно-навигационный комплекс с вычислителем, инерциальной и спутниковой (GPS/ГЛОНАСС) системами навигации, системой связи и передачи информации, бортовой видеокамерой обзора передней полусферы, системой энергоснабжения бортовой аппаратуры, периферийными датчиками и исполнительными механизмами.

Одно из основных требований, предъявляемых к перечисленным элементам комплекса БРЭО, является минимальное время запаздывания в работе. Это требование обусловлено необходимостью обеспечить возможность «ручного» пилотирования модели летчиком-оператором с наземного пункта управления. Максимально допустимое время запаздывания – время между событием перед объективом бортовой видеокамеры и отражением события на пилотажном мониторе летчика-оператора – не должно превосходить 0,2 секунды.

Пилотажно-навигационный комплекс содержит вычислитель, на котором решаются задачи навигации и управления и интерфейсы сопряжения с периферийными датчиками и исполнительными механизмами. Инерциальная система навигации традиционно базируется на 3-х гироскопах и 3-х акселерометрах. Магнитометр практически не используется из-за сложностей обеспечения условий его нормальной работы. GPS/GLONASS-приемник обеспечивает передачу данных в ПНК с частотой 10 Гц.

Связное оборудование состоит из 2-х нисходящих каналов: видеоканала и канала передачи данных телеметрии и одного восходящего – передача команд управления и служебной информации. Антенные устройства по возможности компонуются внутри конструкции.

Система энергоснабжения включает в себя литий-полимерные аккумуляторные батареи и модуль контроля питания, выполняющий функции измерения параметров батарей, аварийного переключения и передачи информации в ПНК.

Видеокамера переднего обзора через видеопередатчик передает видеоизображение на монитор летчику-оператору в наземном пункте управления (НПУ).

Периферийные бортовые датчики представлены комбинированным приемником воздушного давления с датчиками углов атаки и скольжения (ПВД ДУАС), лазерным высотомером, датчиками обжатия амортизаторов, позволяющими определить режим работы системы автоматического управления – «земной» или «полет», датчиками углов отклонения рулевых поверхностей, датчиком оборотов двигателя.

Информация, поступающая в ПНК во время полета, сохраняется на бортовых накопителях информации и, частично, в реальном времени передается на НПУ (см. таблицу 1).

Таблица 1 – Информация, сохраняемая на бортовых накопителях

Параметр	Обозначение	Датчик
Приборная скорость	V	ПВД ДУАС
Угол атаки	α	ПВД ДУАС
Угол скольжения	β	ПВД ДУАС
Угловые скорости в связанной системе	$\omega_x, \omega_y, \omega_z$	ИНС
Линейные ускорения в связанной системе	$\dot{V}_x, \dot{V}_y, \dot{V}_z$	ИНС
Текущие значения координат ЛА	X_3, Z_3	GPS
Высота полета над поверхностью	$H_{бар}, H_{ист}$	ПВД ДУАС, Лазер.
Углы отклонения рулевых поверхностей	δ_i лев., δ_i прав	Датчики на ИМ
Степень дросселирования двигателей	$\delta_{трд1}, \delta_{трд2}$	Штатный ЭБУ ТРД
Скорость по траектории	V_x, V_y, V_z	GPS

Взлетная масса моделей варьируется в зависимости от решаемой задачи в диапазоне от нескольких десятков до нескольких сотен килограмм. Время полета составляет ориентировочно 20...30 минут.

4 Наземный пункт управления

Управление летающей динамически подобной моделью осуществляется летчиком-оператором с наземного пункта управления (НПУ – см. рисунок 4). НПУ, как правило, содержит два автоматизированных рабочих места (АРМ): летчика-оператора и инженера-оператора. На АРМ летчика-оператора размещены органы управления моделью, аналогичные органам управления, устанавливаемым на натурном самолёте: ручка (или штурвал) управления самолетом, рычаги управления двигателями, педали управления.



Рисунок 4 – Наземный пункт управления

В качестве органов управления могут использоваться джойстики, предназначенные для авиационных симуляторов или тренажеров. Перед летчиком-оператором располагаются несколько мониторов: главный – пилотажный экран, куда выводится видеинформация с бортовой видеокамеры, на которую накладывается изображение основных пилотажных приборов (подобно системе ИЛС на самолете): авиаориентира, индикатора курса, углов атаки и скольжения, высоты и скорости полета, режима работы силовой установки и САУ.



Рисунок 5 – Пилотажный экран летчика-оператора

На другом мониторе индицируется изображение цифровой карты местности с отметкой мгновенного положения летательного аппарата и конфигурация модели в динамике. На мониторы инженера-оператора выводится телеметрия с борта, информация о состоянии систем модели и НПУ, осцилограммы выбранных параметров и т.п.

Связь между членами летного экипажа и руководителем полетов в процессе испытаний осуществляется по радиоканалу с использованием стандартной самолетной гарнитуры.

5 Обработка результатов испытаний

Первичные данные, получаемые в испытаниях летающей динамически подобной модели, представляют собой осцилограммы полетных параметров, синхронизированных по времени, видеозапись изображения на пилотажном экране летчика-оператора и видеозапись с внешней камеры наблюдения, установленной вблизи взлетно-посадочной полосы.

Получаемые материалы в сочетании с данными трубных испытаний могут быть использованы для идентификации основных аэродинамических характеристик, прогнозирования областей потери аэродинамического демпфирования, оценки эффективности рулевых поверхностей и т.д.

Основная ценность информации, получаемая в полете ДПМ, это достоверные оценки поведения самолета на критических режимах полета. Здесь одинаково важны как количественные, так и качественные оценки, отзывы летчика-оператора, видеозапись траектории и пространственного положения модели в ходе моделирования исследуемого режима.

Заключение

- 1) Метод исследований с помощью летающих динамически подобных моделей, базирующийся на теории подобия и размерностей, широко распространяется и охватывает все большее число задач, решаемых в процессе создания и совершенствования аэродинамической компоновки новых летательных аппаратов. Причиной тому является прогресс в технологии производства, внедрении полимерно-композитных материалов, миниатюризации электронных компонент бортового измерительного комплекса, выпуск малогабаритных турбореактивных и поршневых двигателей с высокой удельной мощностью.
- 2) Особую ценность метод приобретает при исследовании поведения системы «самолет – интеллектуальная система управления» на критических режимах полета – в процессе сваливания, в штопоре, при возникновении тамблинга.
- 3) В Новосибирском научно-исследовательском институте авиационной технологии создан научно-технический задел для проектирования, изготовления и летных испытаний динамически подобных моделей, разработано несколько летающих динамически подобных моделей в интересах Российских опытно-конструкторских бюро, проведены их летные испытания.

Список литературы

- [1] Применение свободно летающих моделей для исследования динамики полета. Обзоры, переводы, рефераты ЦАГИ. Выпуск № 352, 1971 г.
- [2] Л.И. Седов. Методы подобия и размерности в механике. М. Изд. «Наука», 1977 г.
- [3] Методы исследований на летающих моделях. Под ред. А.Д. Миронова. М. «Машиностроение», 1988 г.
- [4] А.И. Рыженко. Определение системы критериев и масштабов подобия при проектировании свободнолетающих динамически подобных моделей самолетов. Харьков, ХАИ, 1992 г.
- [5] Similitude Requirements and Scaling Relationships as Applied to Model Testing. NASA Technical Paper 1435. August 1979.

- [6] Д.С. Деришев, С.Г. Деришев, А.Б. Кощеев, А.З. Тарасов. Исследование аэродинамики, динамики полета и систем управления летательных аппаратов на летающих динамически подобных моделях. Материалы XXVII научно-технической конференции Центрального аэрогидродинамического института им. проф. Н.Е. Жуковского, 2016 г.
- [7] Thomas L. Jordan and Roger M. Bailey. NASA Langley's AirSTAR Testbed – A Subscale Flight Test Capability for Flight Dynamics and Control System Experiments. American Institute of Aeronautics and Astronautics Paper No 092407.

Biography

Dr. Sergey Derishev – General Director of Research Institute of Aviation Technology & Engineering. Expert in aircraft wind-tunnel testing. State Award Laureate of Russia.

Dmitry Derishev – Chief Designer of Research Institute of Aviation Technology & Engineering. He has experience in development and testing of dynamically scaled aircraft models, took part in several UAV projects.

Dr. of Sc. Anatoly Koscheev – Head of Aerodynamic Division of Tupolev Design Bureau, expert in aerodynamics of long-range aircrafts. His research background began during the development of the famous Tu-144 supersonic airliner.

Dr. Alexey Tarasov – Head of Aerodynamic Division of Sukhoi Design Bureau, expert in maneuverable aircraft aerodynamics, He is the supervisor of Sukhoi-35 and T-50 aerodynamics and control system development.

УПРАВЛЕНИЕ КВАДРОКОПТЕРАМИ В СОСТАВЕ ГРУППЫ ЛИДЕР-ВЕДОМЫЕ

К.Ю. Котов, А.С. Мальцев, А.А. Нестеров, М.А. Соболев, А.П. Ян

Институт автоматики и электрометрии СО РАН

630090, Новосибирск, пр. Коптюга 1, Россия

kotov@idisys.iae.nsk.su

тел: +7 (383) 333-26-25

Ключевые слова: квадрокоптер, управление группировкой, вынужденное движение.

Abstract

In this paper the task of formation control of quadrocopters in leader-followers group is considered. The proposed method allow one to form control inputs for robots-followers only on the basis of information about the relative positions of the followers and the leader. The effectiveness of the proposed method is confirmed by the results of experiments.

Введение

В последнее десятилетие значительно возрос интерес к управлению группировками компактных беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) мультироторных конфигураций, что объясняется простотой и гибкостью конструкции, надежностью и управляемостью таких аппаратов [1-3]. Для таких задач как поиск, наблюдение, транспортировка, аварийно-спасательные и военные операции, исследования местности использование группы роботов более эффективно, чем применение одного робота.

В настоящее время можно выделить три основных подхода к управлению группой подвижных объектов: лидер–ведомый [4], ситуационный подход [5], виртуальные структуры [6]. В данной работе используется подход лидер–ведомые, предполагающий разделение членов группы на объекты-лидеры и объекты-ведомые.

В отличие от работ [5], [7], где для вычисления требуемого положения ведомого необходимо знать абсолютное положение и/или курс лидера, мы используем метод, в котором положение ведомого задается только в системе координат ведомого с привлечением информации об относительном взаимном расположении лидера и ведомого. Применение такого подхода более оправдано с точки зрения практических приложений. Как правило, мобильный робот в группе может обладать данными сенсоров только о взаимном расположении по отношению к другим роботам группы.

В данной работе используется метод организации вынужденного движения по желаемой траектории в пространстве состояний объекта [7-9] в задаче управления движением однородной группы мобильных роботов квадроторного типа.

Численные эксперименты подтверждают работоспособность системы управления в присутствии шумов измерений и внешних возмущений.

1 Постановка задачи и алгоритм управления

Положение квадрокоптера в пространстве характеризуется координатами x , y , z центра масс аппарата в неподвижной декартовой системе координат и тремя углами поворота вокруг осей связанной системы координат [10].

Считаем, что квадрокоптер обладает собственной системой управления, обеспечивающей движение аппарата с заданной «пилотом» ориентацией ψ_{ref} , ϕ_{ref} , θ_{ref} . Стабилизация по высоте выполняется посредством команды на изменение вертикальной скорости. По причине того,

что управление \dot{z}_{ref} по высоте аппарата всегда направлено вдоль оси z , движение аппарата может быть рассмотрено в виде проекции траектории движения на плоскость (x, y) [11]. Упрощенные уравнения динамики, описывающие движение i -го квадрокоптера в координатах (x_i, y_i) имеют следующий вид:

$$(1) \quad \begin{cases} \ddot{x}_i = c_{1i} (\cos \psi_i \sin \phi_i \cos \theta_i - \sin \psi_i \sin \theta_i) - c_{2i} \dot{x}_i, \\ \ddot{y}_i = c_{1i} (\sin \psi_i \sin \phi_i \cos \theta_i - \cos \psi_i \sin \theta_i) - c_{2i} \dot{y}_i, \\ \dot{\phi}_i = c_{3i} \phi_{i_ref} - c_{4i} \phi_i, \\ \dot{\theta}_i = c_{3i} \theta_{i_ref} - c_{4i} \theta_i, \\ \ddot{\psi}_i = c_{5i} \dot{\psi}_{i_ref} - c_{6i} \dot{\psi}_i, \\ \ddot{z}_i = c_{7i} \dot{z}_{i_ref} - c_{8i} \dot{z}_i. \end{cases}$$

Здесь $c_{1i}\dots c_{8i}$ – постоянные коэффициенты, определенные экспериментально.

Выделим в группе объект-лидер, относительно которого остальные члены группы определяют свое положение и за которым следуют. Будем полагать, что движение лидера по предписанной траектории осуществляется согласно некоторому закону управления, например изложенному в [7]. Для описания движения остальных членов группы необходимо указать их место в группе относительно лидера. Считаем, что навигационная система робота-ведомого может определять следующие параметры расположения ведомого относительно лидера: d_i – расстояние до лидера, α_i – направление на лидера относительно направления движения ведомого [8]. Такие данные являются дальномерической информацией и могут быть получены, например, с помощью лазерных сканеров.

Поставим перед роботом-ведомым задачу выхода в целевое положение, заданное параметрами d_{i_ref} , α_{i_ref} , относительного положения ведомого и лидера.

Зададим ошибку в положении ведомого относительно целевого положения двумя величинами:

$$(2) \quad \begin{cases} E_{\alpha} = d_i \sin(\psi_{vi} + \alpha_i) - d_{i_ref} \sin(\psi_{vi} + \alpha_{i_ref}), \\ E_{\alpha_i} = d_i \cos(\psi_{vi} + \alpha_i) - d_{i_ref} \cos(\psi_{vi} + \alpha_{i_ref}). \end{cases}$$

Здесь ψ_{vi} – угол, характеризующий направление движения объекта или ориентацию вектора линейной скорости V_i в плоскости (x, y) .

Аналогично [8] введем функции:

$$(3) \quad \begin{cases} S_{1i} = \dot{E}_{\alpha}, \\ S_{2i} = \dot{E}_{\alpha_i}, \\ S_i = 0.5(S_{1i}^2 + S_{2i}^2). \end{cases}$$

Потребуем выполнения условий:

$$(4) \quad S_{1i} = 0; \quad S_{2i} = 0,$$

что обеспечивает экспоненциальный выход квадрокоптера в целевое положение с постоянной времени $1/k_e$.

Выбирая управляющие параметры из условия

$$(5) \quad \dot{S}_i \leq 0,$$

обеспечим вынужденное движение системы в окрестности траектории (4).

Дальнейшие расчеты идентичны приведенным в [9], с незначительными изменениями, которые определяются способом задания функций отклонений аппарата от целевого положения, и позволяют вычислить необходимые значения ускорений центра масс квадрокоптера по

оси x , y , z и углы ориентации аппарата ψ_{i_ref} , φ_{i_ref} , θ_{i_ref} из соотношений (1) при движении квадрокоптера по траектории, определяемой уравнениями (4). Задание отклонений от целевого положения в виде проекций на соответствующие оси системы координат обеспечивает возможность непосредственного вычисления желаемых ускорений центра масс, и отсутствие необходимости в дополнительном управлении при приближении ведомого к целевому положению [12].

2 Результаты моделирования

Проверка эффективности предложенного алгоритма управления проводилась посредством численного моделирования. В качестве объекта управления была выбрана модель квадрокоптера AR.Drone с коэффициентами $c_{1i} = 7.0$, $c_{2i} = 0.2$, $c_{3i} = 4.5$, $c_{4i} = 10.0$, $c_{5i} = 10.0$, $c_{6i} = 15.0$, $c_{7i} = 1.40$, $c_{8i} = 1.0$ в уравнениях (1).

На рисунке 1 приведены результаты моделирования движения группы лидер–ведомый с использованием предложенного алгоритма управления.

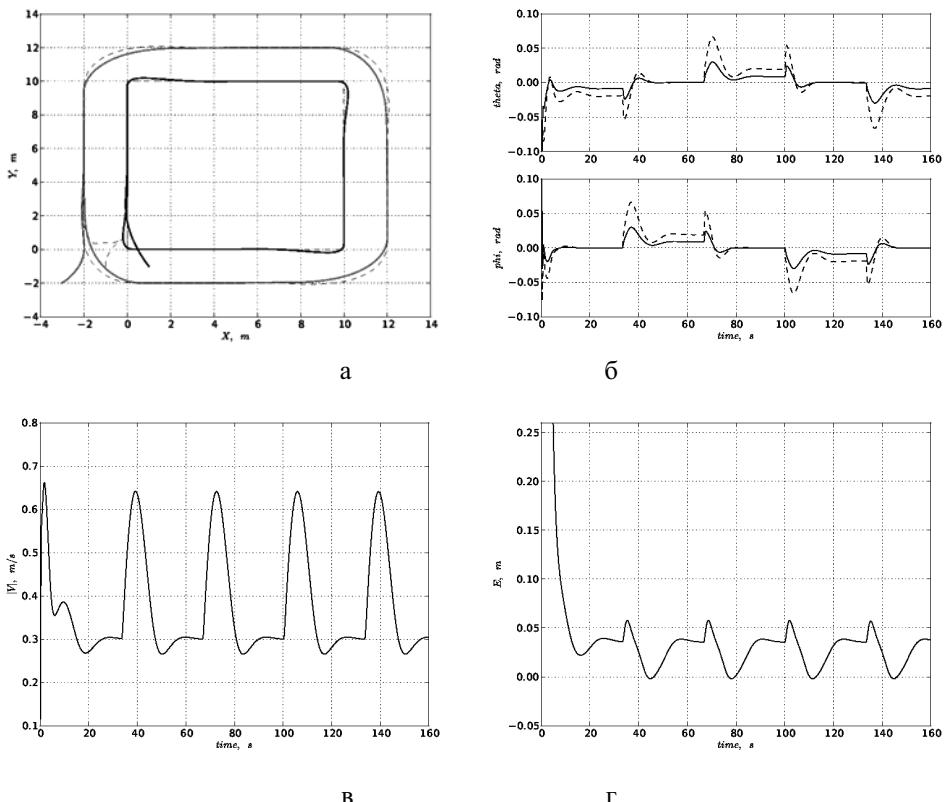


Рисунок 1 – Движение группы лидер–ведомый с использованием предложенного алгоритма:
а – траектория движения группы в плоскости (x , y); б – управляющие параметры ϕ_{i_ref} , θ_{i_ref}
(пунктирная кривая) и ориентация ϕ_i , θ_i ведомого; в – линейная скорость ведомого;
г – величина отклонения ведомого от заданного целевого положения

Показанное на рисунке 1а. заданное целевое положение (пунктирная кривая) для ведомого относительно координат x_0 , y_0 лидера вычислялось как

$$(6) \quad \begin{cases} x_{l_ref} = x_0 - d_{l_ref} \sin(\psi_{vl} + \alpha_{l_ref}), \\ y_{l_ref} = y_0 - d_{l_ref} \cos(\psi_{vl} + \alpha_{l_ref}). \end{cases}$$

Параметры целевого положения ведомого и управляющие параметры следующие:

$d_{l_ref} = 2$ м, $\alpha_{l_ref} = 1,57$ рад, $k_e = 1$, $\psi_{l_ref} = z_{l_ref} = 0$.

3 Заключение

В данной работе предложен алгоритм управления квадрокоптерами в составе однородной группы лидер–ведомый. Предложенный метод позволяет сформировать управляющие воздействия для роботов-ведомых группы только на основе информации относительного расположения ведомых и лидера без привлечения абсолютных пространственных координат квадрокоптеров. Эффективность предложенного метода подтверждается результатами численных экспериментов.

Благодарности

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 15-08-03233).

Список литературы

- [1] Mohammad Rezaei, Hossein Bolandi, Fateme Jamaldoost, SeyedMajid Smailzadeh. A New Obstacle Avoidance Algorithm for Quadrotors Group in the presence of Dynamic and Static Obstacles // Cumhuriyet University Faculty of Science, Science Journal (CSJ), Vol. 36, No: 3 Special Issue 2015. Pp. 105-120.
- [2] Karl E. Wenzel, Andreas Masselli and Andreas Zell. Visual Tracking and Following of a Quadrocopter by another Quadrocopter // IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, 7-12 Oct. 2012. Pp. 4993-4998.
- [3] С.А. Скляров. Синергетическое управление группой мобильных роботов // Известия ЮФУ. Технические науки, 2014. – № 8. – С. 147-158.
- [4] A. K. Das, R. Fierro, V. Kumar et al. A vision-based formation control framework // IEEE Trans. Robotics and Automation. 2002, Vol. 18, no. 5. Pp. 813-825.
- [5] J. R. Lawton, R. W. Beard, B. J. Young. A decentralized approach to formation maneuvers // IEEE Trans. Robotics and Automation. 2003, Vol. 19, no. 6. Pp. 933-941.
- [6] M. A. Lewis, K.-H. Tan. High precision formation control of mobile robots using virtual structures // Autonomous Robots. 1997, Vol. 4, no. 4. Pp. 387-403.
- [7] Ю. Н. Золотухин, К. Ю. Котов, А. А. Нестеров. Децентрализованное управление подвижными объектами в составе маневрирующей группы // Автометрия, 2007. – № 3. С. 31-39.
- [8] Ю.Н. Золотухин, К.Ю. Котов, А.С. Мальцев, А.А. Нестеров, М.А. Соболев, М.Н. Филиппов, А.П. Ян. Робастное управление подвижными объектами в группе лидер–ведомые с использованием метода структурного синтеза. // Автометрия, 2015. – № 5. С. 82-91.
- [9] С.А. Белоконь, Ю.Н. Золотухин, А.С. Мальцев, А.А. Нестеров, М.Н. Филиппов, А.П. Ян. Управление параметрами полета квадрокоптера при движении по заданной траектории // Автометрия, 2012. – № 5. С. 32-41.
- [10] J. Kim, M.-S. Kang, S. Park. Accurate modeling and robust hovering control for a Quad-rotor VTOL aircraft // Journ. Intell. Robotics Syst. – 2010. – Vol. 57, no. 1-4. – Pp. 9-26.
- [11] J. Engel, J. Sturm, D. Cremers. Accurate figure flying with a quadrocopter using onboard visual and inertial sensing // Proc. Of the Workshop on Visual Control of Mobile Robots (ViCoMoR) at the IEEE/RJS Intern. Conference on Intelligent Robot Systems (IROS). Vilamoura, Algarve, Portugal, oct. 11, 2012. Pp. 43-48.
- [12] С.А. Белоконь, Ю.Н. Золотухин, К.Ю. Котов, А.С. Мальцев, А.А. Нестеров, М.А. Соболев, М.Н. Филиппов, А.П. Ян. Управление полетом квадрокоптера при параметрическом задании траектории движения. // В сборнике: XII Всероссийское совещание по проблемам управления ВСПУ-2014. Москва, Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, 2014. С. 3384-3390.

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПОЛЕТОМ ПАРАПЛАНА

К.Ю. Котов¹, А.М. Милованова^{1,2}, Е.Д. Семенюк^{1,2}, М.А. Соболев¹

¹Институт автоматики и электрометрии СО РАН

630090, Новосибирск, пр. Коптюга, 1, Россия

kotov@idisys.iae.nsk.su

тел: +7 (383) 333-26-25

²Новосибирский государственный университет

630090, Новосибирск, ул. Пирогова, 2, Россия

тел: +7 (383) 330-32-44

Ключевые слова: параплан, П-регулятор, интегральный критерий качества, продольное и боковое движение.

Abstract

This report describes the stabilization system of longitudinal and lateral movement of the paraglider, on the basis of P-regulators. Selection of control coefficients is based on the integral quality criterion. The simulation results confirm the effectiveness of the proposed method.

Введение

В настоящее время беспилотные летательные аппараты (БПЛА), в том числе и парапланы, широко используются как для военных, так и для гражданских целей [1]. К преимуществам параплана по сравнению с другими летательными аппаратами, относятся: низкая скорость (важная характеристика при мониторинге), устойчивость, управляемость (выходит в стационарные режимы планирования). Также параплан имеет невысокую стоимость, компактность, не требует аэродрома для взлета и посадки. При соизмеримой с другими летательными аппаратами массе конструкции, парапланы обладают значительной грузоподъемностью и продолжительностью нахождения в воздухе. Благодаря данным достоинствам параплан можно адаптировать к определенным практическим задачам.

Основным подходом к разработке систем автоматического управления является линеаризация модели динамики движения параплана и применение классических методов теории линейных систем для установления оптимальных величин параметров регулятора [2], [3].

Предложенный в работе алгоритм управления основан на построении П-регуляторов с перекрестной связью между продольным и боковым движением, которые уменьшают воздействие маятниковых колебаний системы. Отличительной особенностью работы является использование нелинейной модели и поиск коэффициентов регулятора, основанный на применении интегрального критерия качества.

1 Описание объекта управления

По аналогии с [4] рассмотрим нелинейную математическую модель динамики движения параплана. Введем обозначения:

$[a^B]$ – индекс обозначает систему координат, в которой вычисляется величина (“B” – *body* – центр масс параплана, “G” – *geographic* – географические координаты, т.е. система координат, связанная с землей); $\begin{bmatrix} a^B \end{bmatrix}$ – транспонированная матрица $[a^B]$; $\begin{bmatrix} x_B^G \end{bmatrix}^G = \begin{bmatrix} x, y, z \end{bmatrix}$ – координаты

центра масс относительно земли, в системе координат земли; $\begin{bmatrix} v_B^G \end{bmatrix}^G = \begin{bmatrix} u, v, w \end{bmatrix}$ – линейная ско-

рость центра масс относительно земли, в системе координат центра масс; $[\omega^{BG}]^B = [\overline{p, q, r}]$ – скорость вращения (угловая скорость) центра масс относительно земли, в системе координат центра масс; $[\overline{\phi, \theta, \psi}]$ – углы Эйлера – углы, которые задают ориентацию центра масс параплана относительно земли (крен, тангаж, рыскание).

Основу модели составляют уравнения динамики и кинематики:

$$(1) \quad m^B \frac{d[v_B^G]^B}{dt} + m^B [\Omega^{BG}]^B [v_B^G]^B = [f]^B,$$

где $[f]^B$ – это сумма всех сил, действующих на тело, в системе координат центра масс, $[\Omega^{BG}]^B$ – кососимметрическая матрица угловых скоростей, m^B – масса параплана;

$$(2) \quad [I_B^B]^B \frac{d[\omega^{BG}]^B}{dt} + [\Omega^{BG}]^B [I_B^B]^B [\omega^{BG}]^B = [M_B]^B,$$

где $[I_B^B]^B$ – 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;

$$(3) \quad [\dot{x}_B^G]^G = [v_B^G]^G;$$

$$(4) \quad \begin{bmatrix} \dot{\phi} \\ \dot{\theta} \\ \dot{\psi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & \sin \phi \tan \theta & \cos \phi \tan \theta \\ 0 & \cos \phi & -\sin \phi \\ 0 & \sin \phi / \cos \theta & \cos \phi / \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p \\ q \\ r \end{bmatrix}.$$

Для компьютерной реализации непрерывная математическая модель была заменена на дискретную с малым шагом дискретизации по времени (0,01 секунды).

2 Постановка задачи и алгоритм управления

Основной целью разработки системы управления является создание алгоритма регулирования движения параплана в двух плоскостях: продольной и поперечной. Таким образом, задача управления разбивается на две подзадачи: стабилизация заданной высоты и поддержание курса полета в соответствующих плоскостях.

Стабилизация полета по высоте обеспечивается регулированием тяги f_T , по курсу – натяжением левой и правой управляющих строп δ_L и δ_R . Соотношения, которые связывают силы и моменты, действующие на параплан, с управляющими воздействиями, приведены в [2].

Построим управление в виде обратной связи по ошибке управления высотой Δz и отклонению курсового угла от заданного $\Delta \varphi$:

$$(5) \quad \Delta z = z - z_{ref},$$

$$(6) \quad \Delta \varphi = \varphi - \varphi_{ref},$$

где z_{ref} и φ_{ref} – заданные значения высоты и угла соответственно.

Также необходимо учесть наличие маятниковых колебаний в динамике полета параплана, которые влияют на его устойчивость. Чтобы обеспечить поперечную устойчивость, компенсируем колебания по крену, включая угловую скорость p в обратную связь. Для продольного

движения поступим аналогично, устранив колебания по тангажу добавлением звена с угловой скоростью q . В результате, П-регулятор движения по курсовому углу имеет вид:

$$(7) \quad \begin{cases} C = K_\varphi \Delta\varphi + K_p p, \\ \delta_R = C, \delta_L = 0, C \leq 0, \\ \delta_L = C, \delta_R = 0, C > 0. \end{cases}$$

В управление движением по высоте необходимо ввести дополнительное звено для устранения возникающей статической ошибки. К сожалению, добавление интегральной составляющей привело к ухудшению быстродействия переходных процессов, появлению перерегулирования и неустойчивости системы. Однако мы можем добавить базовое значение тяги f_{TBase} , соответствующее горизонтальному режиму полета параплана [3]. Также внесем ограничение на величину тяги:

$$(8) \quad \begin{cases} f_T = K_z \Delta z + K_q q + f_{TBase}, \\ 0H < f_T < 15H. \end{cases}$$

Использование нелинейной модели не позволяет применять стандартные методы линейной теории. Одним из вариантов решения этой задачи является вычисление параметров или определение структуры регулятора на основе желаемого вида переходных процессов [5]. В данном случае удобно воспользоваться улучшенным интегральным критерием качества [6]:

$$(9) \quad I_z = \int_0^t (\Delta z - T \Delta \dot{z})^2 dt + \int_0^t (\Delta q - T \Delta \dot{q})^2 dt,$$

где T – время переходного процесса.

Организуем поиск параметров регулятора движения по высоте следующим образом: для каждой высоты z_{ref} в интервале [0.5:5] м рассчитаем коэффициенты K_z и K_q , обеспечивающие минимум интегрального критерия I_z . Примем желаемое время переходного процесса $t_{m\text{ жел}} = 7$ с, тогда значение $T = t_{m\text{ жел}}/3$. В данном случае, максимальная продольная скорость – 0.7 м/с, что соответствует реальной скорости набора высоты. При этом величина тяги составляет около 60% от максимально допустимой. Полученные оптимальные параметры: $K_z = 1.09$ и $K_q = 7$. Время переходного процесса при найденных коэффициентах во всем интервале высот отличается от заданного $t_{m\text{ жел}}$ не более чем на 5%.

Оценим процедуру поиска параметров в точке $z_{ref} = 5$ м. Будем задавать желаемое время переходного процесса от 4 до 10 с. Найдем коэффициенты K_z и K_q , обеспечивающие минимум I_z , и вычислим реальное время переходного процесса $t_{m\text{ реал}}$ (таблица 1). В интервале требуемого времени [5:10] с погрешность получения $t_{m\text{ реал}}$ составила не более 10%.

Аналогичный алгоритм поиска параметров применим для регулятора движения по курсовому углу.

Таблица 1 – Результаты численного моделирования поиска параметров регулятора движения по высоте

$t_{m\text{ жел}}$	K_q	K_z	$t_{m\text{ реал}}$	$f_T \text{ max}$
4	6.5	1.6	4.89	11.63
5	7.0	1.5	5.07	11.13
6	7.0	1.3	5.98	10.13
7	7.0	1.09	7.36	9.08
8	7.0	0.99	8.23	8.58
9	7.0	0.89	9.3	8.08
10	7.0	0.79	10.64	7.58

Промоделируем работу системы для проверки предложенного алгоритма управления. На рисунке 1 изображена работа регуляторов независимо друг от друга. Результаты совместной работы регуляторов показаны на рисунке 2.

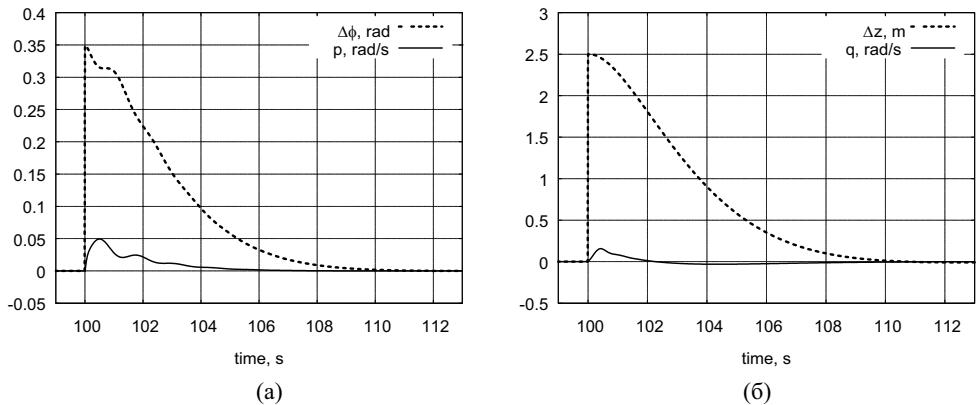


Рисунок 1 – Переходные процессы в каналах управления курсом (а) и высотой (б)

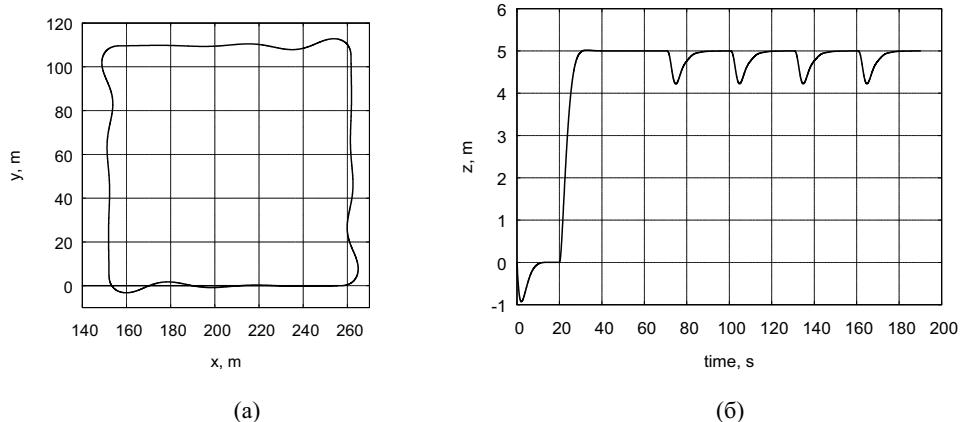


Рисунок 2 – Траектория движения параплана в поперечной (а) и продольной (б) плоскости

Заключение

Структуру системы управления движением параплана составляют П-регуляторы бокового и продольного движения с компенсацией поперечных колебаний. Для подбора параметров регулятора с использованием нелинейной модели был предложен алгоритм, основанный на применении интегрального критерия качества. Эффективность предложенного метода поиска коэффициентов подтверждают результаты моделирования.

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 (ACRA), Australasian Conference on. – 2012. – pp. 1-10.

- [3] Зайцев П.В., Формальский А.М. Автономное продольное движение параплана: математическое моделирование, синтез управления //Известия. – 2008. – №. 5. – С. 122-130.
- [4] Toglia C., Vendittelli M. Modeling and motion analysis of autonomous paragliders //Department of Computer and System Sciences Antonio Ruberti Technical Reports. – 2010. – Т. 2. – №. 5. – 20 p.
- [5] Золотухин Ю.Н., Котов К.Ю., Мальцев А.С., Несторов А.А., Соболев М.А., Филиппов М.Н., Ян А.П.. Робастное управление подвижными объектами в группе лидер–ведомые с использованием метода структурного синтеза. // Автометрия, 2015. – № 5. – С. 82-91.
- [6] Бесекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического управления. – 4-е изд., перераб. и доп. – СПб.: Профессия, 2003. – 752 с.

МНОГОКОНТУРНАЯ АДАПТИВНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ГРУППИРОВКОЙ ТРАНСПОРТНЫХ РОБОТОВ

А.С. Мальцев, А.Е. Цупа

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: управление группой мобильных роботов, подчиненное управление, синтез систем автоматического регулирования, настройка коэффициентов регулятора.

Abstract

The paper addresses how to control a group of mobile robots with differential drive in the problem of cargo transportation along the desired trajectory. We propose a multiple loops structure of the control system with additional adaptive loop for each robot to compensate disturbance in motion dynamic and provide reference dynamic characteristics.

Введение

В ряде случаев, таких как наблюдение, исследование окружающей среды на большой площади, транспортирование груза, совместное использование относительно простых роботов в составе единой группы более эффективно, чем применение одиночного робота сложной конструкции [1]. В то же время, при построении системы в виде набора устройств, совместно работающих в группе, возникает необходимость в разработке специализированных методов и алгоритмов управления, отличающихся от методов управления одиночным роботом [2]. Для разработки таких систем целесообразно применять подходы, основанные на принципах централизации и децентрализации [3-5]. Для задач перемещения груза распространен подход при котором группа роботов окружает объект и двигает его совместно, контролируя, чтобы каждый робот оставался внутри заданной конфигурации [6, 7]. Сохранение конфигурации обеспечивается за счет потенциальных или векторных полей.

В то же время на параметры движения роботов значительное влияние оказывают внешние и внутренние факторы, такие как нестационарные характеристики приводных механизмов, неоднородность поверхности движения, наличие неизвестных преград и нагрузок. В таких условиях целесообразно дополнить систему управления контуром адаптации, который позволяет компенсировать априори точно неизвестные динамические характеристики отдельных роботов, либо изменения этих характеристик в процессе движения.

В докладе приведен способ построения системы координированного управления группой мобильных роботов с дифференциальным приводом применительно к задаче транспортирования груза по заданной траектории. Предложена многоконтурная структура системы управления, дополненная блоками адаптации к действию неизвестных и переменных факторов.

1 Постановка задачи

Движение груза при отсутствии возмущений можно описать многомерной нелинейной системой стационарных уравнений, где суммируются компоненты векторов движения каждого робота [8]. Требуется определить структуру и параметры системы управления для перемещения груза группой роботов по заданной траектории с погрешностью, не превышающей требуемую величину. При этом задачу управления перемещением груза предлагается свести к

задаче слежения каждым роботом за желаемым положением относительно его центра, которое определяется требуемой траекторией и распределением роботов, с необходимостью поддержания заданного расстояния между всеми работами группы. В этом случае требуемая траектория перемещения груза формируется в виде программного движения целевой точки по кусочно-линейным участкам между заданными точками пути, либо по проведенному через них сплайну.

Далее приведен способ построения такой следящей системы, которая обеспечивает управление перемещением отдельно взятого робота в заданную точку пространства координат, коррекцию положения этой точки с целью сохранения конфигурации группы роботов и их координированного движения при перемещении груза, а также адаптацию параметров регуляторов к изменению динамических характеристик роботов в процессе движения.

2 Управление перемещением роботов

Для решения поставленной задачи предлагается синтезировать многоконтурную систему подчиненного регулирования, в состав которой входят три контура. Контур управления положением отдельно взятого робота обеспечивает его перемещение из произвольного начального состояния в малую окрестность желаемого положения в пространстве координат. Контур управления конфигурацией группы выполняет коррекцию желаемого положения для каждого робота с целью сохранения конфигурации группы и обеспечения координированного движения. Контур управления перемещением груза формирует сигналы заданного положения для каждого робота в зависимости от требуемой траектории движения груза и необходимого расположения роботов относительно него. Рассмотрим принципы построения каждого из этих контуров в отдельности.

Движение i -го робота при управлении линейной и угловой скоростями описывается системой нелинейных дифференциальных уравнений первого порядка [3], дополненных зависящими от времени возмущениями:

$$(1) \quad \begin{cases} \dot{x}_i = (v_i - m_{vi}(t))\cos\psi_i, \\ \dot{y}_i = (v_i - m_{vi}(t))\sin\psi_i, \\ \dot{\omega}_i = \omega_i - m_{\omega i}(t), \end{cases}$$

где x_i, y_i, ψ_i – координаты и курсовой угол i -го робота; v_i и ω_i – команды управления линейной и угловой скоростями соответственно; $m_{vi}(t)$ и $m_{\omega i}(t)$ – зависящие от времени возмущения, связанные с проскальзыванием колес при движении по неоднородной поверхности, с изменением нагрузок, либо изменением уровня заряда аккумулятора, причем

$$(2) \quad |m_{vi}(t)| < |v_i|, \quad |m_{\omega i}(t)| \leq \omega_{\max}.$$

Потребуем от системы экспоненциального движения к заданному положению в соответствии со следующими уравнениями:

$$(3) \quad \begin{cases} F_{xi} = a_1(x_{ri} - x_i), \\ F_{yi} = a_1(y_{ri} - y_i), \\ F_{\psi i} = a_2(\psi_{ri} - \psi_i), \end{cases}$$

где $F_{xi}, F_{yi}, F_{\psi i}$ – желаемые значения старших производных состояния; a_1, a_2 – положительные коэффициенты, задающие скорость сходимости к желаемым координатам $(x_{ri}, y_{ri}, \psi_{ri})$, которые определяются требуемым положением робота в соответствии с текущим расположением груза, заданной траекторией его перемещения и необходимым распределением роботов относительно него.

Тогда, приравнивая правые части уравнений (1) и (3), на основе метода решения обратной задачи динамики [9] получим закон управления, обеспечивающий заданное время сходимости процессов:

$$(4) \quad \begin{cases} v_i = a_1(x_{ri} - x_i) \cos \psi_i + a_1(y_{ri} - y_i) \sin \psi_i + m_{vi}(t), \\ \omega_i = a_2(\psi_{ri} - \psi_i) + m_{\omega i}(t), \end{cases}$$

или

$$(5) \quad \begin{cases} v_i = F_{xi} \cos \psi_i + F_{yi} \sin \psi_i + m_{vi}(t), \\ \omega_i = F_{\psi i} + m_{\omega i}(t). \end{cases}$$

Закон управления (5) содержит неизвестные (переменные) параметры и поэтому в точном виде не реализуем. В этой связи неизвестные параметры заменяются на соответствующие настраиваемые коэффициенты регулятора $k_{vi}(t)$ и $k_{\omega i}(t)$:

$$(6) \quad \begin{cases} v_i = F_{xi} \cos \psi_i + F_{yi} \sin \psi_i + k_{vi}(t), \\ \omega_i = F_{\psi i} + k_{\omega i}(t). \end{cases}$$

Система (6) определяет структуру аддитивного регулятора полного порядка с аддитивно входящими настраиваемыми параметрами.

Уравнения закона адаптации находятся согласно методу относительной старшей производной и второму методу Ляпунова [10, 11]. В результате алгоритм настройки коэффициентов регулятора рассматривается в виде:

$$(7) \quad \begin{cases} \dot{k}_{vi} = -\gamma_v L_v(F_{zi} - \dot{z}_i), \\ \dot{k}_{\omega i} = -\gamma_\omega L_\omega(F_{\psi i} - \dot{\psi}_i), \end{cases}$$

либо

$$(8) \quad \begin{cases} \dot{k}_{vi} = -\gamma_v L_{v1} \operatorname{sgn}(L_{v2}(F_{zi} - \dot{z}_i)), \\ \dot{k}_{\omega i} = -\gamma_\omega L_{\omega 1} \operatorname{sgn}(L_{\omega 2}(F_{\psi i} - \dot{\psi}_i)). \end{cases}$$

Здесь γ_v, γ_ω – коэффициенты адаптера; L_v, L_ω – вспомогательные функции, которые зависят от переменных состояния. Значения этих коэффициентов и вид функций выбираются из условия сходимости процессов к желаемой траектории. Функции z_i описывают отклонения роботов от желаемого положения: $z_i = z(x_i, y_i)$.

При наличии шумов оценивания координат, прямое вычисление производных для законов (7) или (8) приведет к значительному усилению влияния этих шумов. В этом случае в выражениях (7) или (8) целесообразно использовать оценки производных, полученных с помощью дифференцирующих фильтров [10].

3 Управление координированным движением группы

Уравнения (6) описывают внутренний контур управления перемещением робота в заданную точку (рисунок 1). Очевидно, что этого закона управления недостаточно для координированного движения группы из-за отсутствия ограничения на расположение роботов друг относительно друга. Для сохранения конфигурации группы, а именно поддержания требуемого расстояния между всеми роботами, уравнения (6) необходимо дополнить потенциальными функциями [12] G_{xi} и G_{yi} , которые описывают изменение величины силы отталкивания и притягивания между роботами по двум координатам в зависимости от текущего и требуемого расстояний, и выполняют задачу коррекции желаемого положения каждого робота так, что:

$$(9) \quad \tilde{x}_{ri} = x_{ri} + G_{xi}, \quad \tilde{y}_{ri} = y_{ri} + G_{yi},$$

где

$$(10) \quad G_{xi} = \sum_{j=1}^n G(\Delta x_{ij}, \Delta y_{ij}, d_{rij}) \cos \beta_{ij},$$

$$G_{yi} = \sum_{j=1}^n G(\Delta x_{ij}, \Delta y_{ij}, d_{rij}) \sin \beta_{ij},$$

$$\beta_{ij} = \arctan \frac{\Delta y_{ij}}{\Delta x_{ij}}.$$

Здесь \tilde{x}_{ri} , \tilde{y}_{ri} – скорректированное желаемое положение робота, использующееся в законе управления (5) вместо x_{ri} , y_{ri} ; Δx_{ri} , Δy_{ri} – рассогласование координат между i -м и j -м роботами; $G(\Delta x_{ij}, \Delta y_{ij}, d_{rij})$ – потенциальная функция отталкивания и притягивания, зависящая от отклонения между текущим и требуемым d_{rij} расстояниями между роботами. В качестве потенциальных функций могут быть использованы выражения вида:

$$(11) \quad G(\Delta x_{ij}, \Delta y_{ij}, d_{rij}) = k \left(\frac{d_{rij}}{d_{ij}} - 1 \right),$$

либо

$$(12) \quad G(\Delta x_{ij}, \Delta y_{ij}, d_{rij}) = k \left(\frac{d_{rij}}{d_{ij}^2} - \frac{1}{d_{ij}} \right),$$

где d_{ij} – расстояние между i -м и j -м роботами; k – положительный коэффициент усиления.

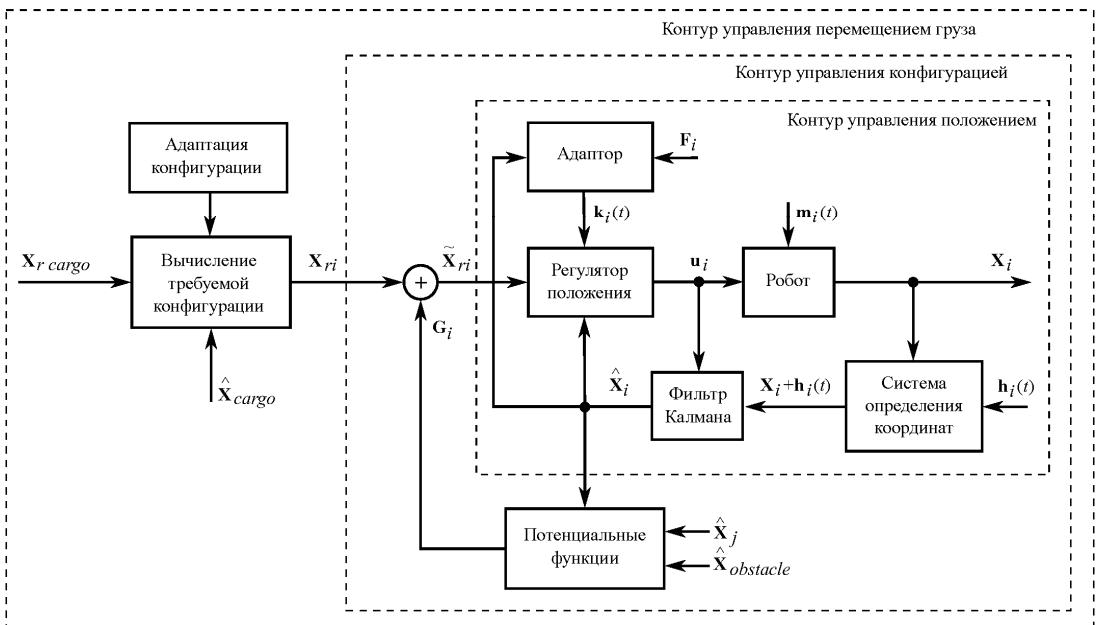


Рисунок 1 – Функциональная схема системы управления

Общая схема функционирования системы представлена на рисунке 1. На схеме $X_i = [x_i, y_i, \psi_i]$ – вектор состояния i -го робота; $u_i = [v_i, \omega_i]$ – вектор управляющих воздейст-

вий; $\hat{\mathbf{X}}_i$ – оценка вектора состояния, получаемая в фильтре Калмана [13, 14]; \mathbf{G}_i – вектор значений потенциальных функций; $\mathbf{h}_i(t)$ – вектор шумов измерений.

Моделирование движения группы роботов в условиях действия возмущений показано на рисунке 2. Видно, что наличие адаптивной подстройки (рисунок 2б) в значительной степени уменьшает влияние рассмотренных возмущений на траектории движения каждого робота. При этом на рисунке 3 представлен пример изменения во времени значения настраиваемого коэффициента $k_\omega(t)$ и курсового угла ψ одного робота для системы с адаптивными законами управления (6), (7) при $\gamma_\omega = -2$, $L_\omega = 1$.

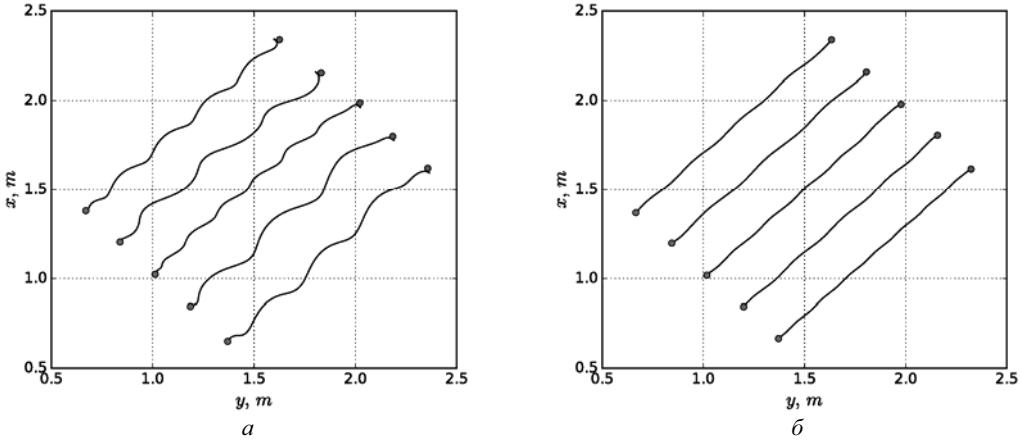


Рисунок 2 – Траектория движения группы роботов в условиях возмущений для случая без адаптации (а) и для случая наличия адаптивного закона в регуляторе положения (б)

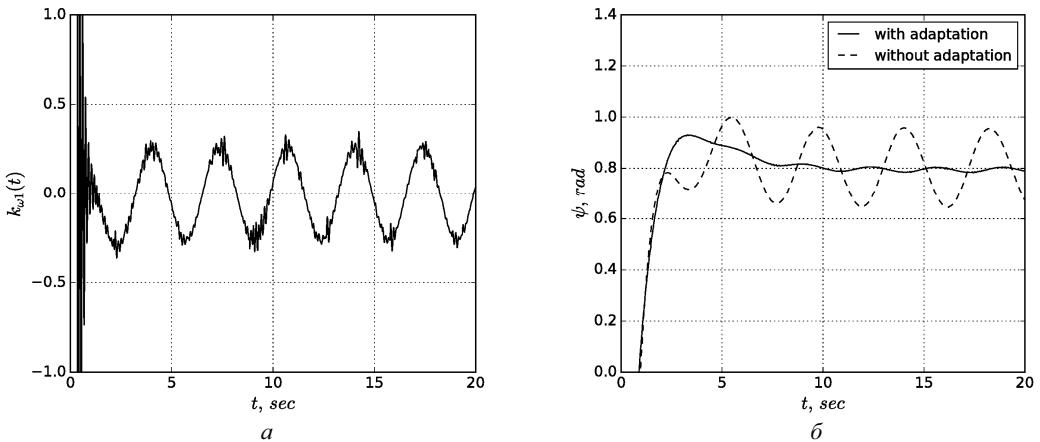


Рисунок 3 – Изменение во времени настраиваемого коэффициента $k_\omega(t)$ (а) и курсового угла ψ (б) для одного робота

Анализ работы контура коррекции желаемого положения каждого робота показал [8] возможность обеспечения координированного движения группы роботов, перемещающих груз по заданной траектории, с поддержанием необходимой конфигурации с погрешностью не более 5% по данным численных и реальных экспериментов.

Заключение

Представлена многоконтурная структура управляющей системы и метод организации движения группы мобильных роботов для решения задачи перемещения груза, основанный на слежении за желаемым положением относительно центра груза, отличающийся введением потенциальных функций отталкивания и притягивания между роботами для коррекции желаемого положения, позволяющий обеспечить сохранение конфигурации группы роботов и их координированное движение при совместном перемещении и вращении груза. Использование дополнительных законов адаптации позволило компенсировать действия возмущений и обеспечить заданные динамические характеристики по каналам управления для каждого робота в составе группы.

Список литературы

- [1] Ogren P., Fiorelli E., Ehrich Leonard N. Cooperative control of mobile sensor networks: Adaptive gradient climbing in a distributed environment // IEEE Trans. on automatic control. 2004. Vol. 49, No. 8. P. 1292–1302.
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] Nathan M., Jonathan F., Vijay K. Cooperative manipulation and transportation with aerial robots // Autonomous Robots. 2011. Vol. 30, No. 1. P. 73–86.
- [5] Yamashita A., Arai T., Ota J., Asama H. Motion planning of multiple mobile robots for Cooperative manipulation and transportation // Robotics and Automation. 2003. Vol. 19, No. 2. P. 223–237.
- [6] Rubenstein M., Cabrera A., Werfel J. Collective transport of complex objects by simple robots: theory and experiments // Proc. of the 40th Int. Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems (AAMAS 2013). Saint Paul, MN, USA, 2013. P. 47–54.
- [7] Sugar T., Kumar V. Multiple cooperating mobile manipulators // Proc. of the IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation (ICRA 99). Detroit, MI, USA, 1999. P. 1538–1543.
- [8] 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.
- [9] Крутько П.Д. Обратные задачи динамики в теории автоматического управления. М.: Машиностроение. 2004. 576 с.
- [10] Востриков А.С. Синтез систем регулирования методом локализации. Новосибирск: Изд-во НГТУ. 2007. 252 с.
- [11] Шпилевая О.Я. Адаптивные системы с эталонными моделями: учебное пособие. Новосибирск: Изд-во НГТУ. 2007. 103 с.
- [12] Song P., Kumar R. A Potential field based approach to multi-robot manipulation // Proc. of the IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation. Washington. 2002. Vol. 2. P. 1217–1222.
- [13] Welch G., Bishop G. An Introduction to the Kalman Filter. University of North Carolina at Chapel Hill. 1995. 16 p.
- [14] Белоконь С.А., Золотухин Ю.Н., Котов К.Ю., Мальцев А.С., Нестеров А.А., Пивкин В.Я., Соболев М.А., Филиппов М.Н., Ян А.П. Использование фильтра Калмана в системе управления траекторным движением квадрокоптера // Автометрия. 2013. Т. 49, № 6. С. 14–24.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ШАГАЮЩЕГО РОБОТА ПО НЕРОВНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

В.В. Михайлов¹, Т.Н. Соловьева², Д.В. Кузьмин¹

¹Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации РАН
199178, Санкт-Петербург, 14-я линия ВО, 39, Россия

mwvcari@gmail.com

тел: +7 (812) 328-01-03

²Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения
190000, Санкт-Петербург, Большая Морская ул., 67, Россия
al2tn@yandex.ru
тел: +7 (812) 494-70-44

Ключевые слова: шагающая машина, походки, устойчивость, неровная поверхность, стереотипы управления движением.

Abstract

The algorithmic complex for limbs control and gait forming of hexapod walking machine is developed in the paper. There is presented method for machine's static and dynamic stability verification. The control patterns for machine's motion on uneven surface are worked out. The models of machine and control system are built with MATLAB package.

Введение

Шагающие устройства обладают преимуществами перед любыми типами движителей при перемещении в условиях бездорожья, сложного рельефа и при преодолении препятствий. Сравнительный анализ характеристик шагающих движителей в сравнении с колесными и гусеничными приведен в работе [1].

Разработка математических моделей и действующих макетов шагающих роботов началась более 50 лет назад [1-2]. Однако условия для создания реальных конкурентоспособных машин такого рода сложились лишь сейчас в связи с потребностями космической отрасли, работ на морском дне, мониторинга энергосетей и нефтегазовых трубопроводов, а также в результате развития информационных и машиностроительных технологий [3-6].

Традиционно задачи водителей колесного или гусеничного транспорта состояли в выборе направления и скорости движения в соответствии с целями движения и дорожной обстановкой. Предполагается, что оператор шагающей машины или интеллектуальная система управления роботом (верхний уровень управления) должны выполнять аналогичные функции. Управлять движением звеньев конечностей для осуществления перемещения машины в заданном направлении, координировать движение ног во время рабочего перемещения и свободного переноса, выбирать тип походки, и величину клиренса с учетом устойчивости машины должна бортовая компьютерная система (нижний уровень управления). Управление на нижнем уровне осуществляется путем реализации заранее определенного набора алгоритмических стереотипов поведения робота. На «ручное» управление оператор (или средства искусственного интеллекта робота) может переходить в сложных нестандартных условиях, когда возможности системы управления нижнего уровня с набором стереотипов оказываются исчерпанными. Таким образом, одной из основных задач проектирования шагающего робота является разработка системы управления, учитывающей различные стереотипы поведения робота.

Для построения и отладки алгоритмов управления необходимо иметь адекватную модель робота. На первом этапе разработки модели робота строится кинематическая модель, в кото-

рой не учитывается вес звеньев робота и динамические связи между ними. Здесь робот рассматривается как совокупность материальных точек (узлов), характеризующихся некоторыми координатами и скоростями. Кинематическая модель машины, прототипом которой является разрабатываемый в ОАО «Арсенал-7» действующий макет, представлена в работах [1, 5]. На модели были проведены эксперименты по управлению приводами звеньев ног для различных законов перемещения платформы машины.

В настоящей работе рассмотрены алгоритмы управления конечностями машины с учетом контроля динамической устойчивости, обеспечивающие движение по неровной поверхности, выполнение поворотов, разгонов и торможений. Предполагается, что конечности оснащены датчиками касания и фиксаторами предельных углов разворота звеньев.

Проведено ранжирование поверхности перемещения машины по уровню шероховатости. Определен предельный уровень шероховатости, при котором корпус машины может перемещаться плоскопараллельно. При большей шероховатости на каждом шаге выполняется корректировка положения координатных осей корпуса для максимального использования областей достижимости звеньев ног. Анимированная модель машины реализована в среде MATLAB.

1 Онтология шагающих машин

Шагающие транспортные средства обладают рядом особенностей, отличающих их от машин, использующих колесо, как основной элемент передвижения. В этом плане шагающие машины, как объекты исследования, разработки и применения образуют собственную предметную область в метаобласти «Транспортные средства».

Формализованное описание предметной области на вербальном уровне, включающее набор объектов (понятий), их основных свойств и связей, принято называть *онтологией* предметной области. Цель онтологии состоит в выявлении системы понятий, присущих данной предметной области и отличающих ее от других. Такая система понятий позволяет сформировать целостный объект из частей, данными понятиями описанных и скрепленных определенными связями.

Онтологию шагающих машин, как объектов предметной области, можно представить следующей системой понятий, приведенной в таблице 1.

Наличие ног и дискретная колея принципиально отличают шагающие транспортные средства от колесных и гусеничных и обеспечивают им большую проходимость и поворотливость при движении по бездорожью, в узких загроможденных проходах, при наличии препятствий, непреодолимых для традиционных машин. Ввиду дискретной колеи и «точечных» нарушений поверхности шагающие машины имеют преимущества при работе на территориях с легко повреждаемым растительным покровом (зоны тундр, полупустынь), в оползневых и лавиноопасных зонах. Однако реализация потенциальных возможностей шагающих машин требует разработки достаточно сложной многоуровневой системы управления. Если первый уровень необходим для управления транспортными средствами любого типа, система управления второго уровня является специфичной именно для шагающих машин.

Представленная система понятий позволяет описать целостный объект – шагающую машину, движущуюся по неровной поверхности с препятствиями. В стандартных условиях системы управления локального и местного уровней, действующие на основе установок верхнего уровня, стереотипов поведения и сигналов датчиков обеспечивают перемещение машины с учетом ее устойчивости и конструкционных ограничений. В нестандартных ситуациях при встрече с препятствиями система верхнего уровня может непосредственно управлять конечностями машины.

Таблица 1 – Понятия предметной области «Шагающие машины»

Понятие	Атрибуты
<i>Ноги</i> (конечности машины)	Количество (одна, две, три, четыре, шесть или более) Тип (жесткие (шарнирные или телескопические) или гибкие)
<i>Корпус машины</i> , к которому прикреплены ноги	Точки закрепления ног Масса машины Положение центра масс
<i>Приводы звеньев ног</i> , выполняющие разворот (выдвижение) звеньев в соответствие с заданными сигналами управления	Тип привода (гидравлический, электрический или другого типа)
<i>Поверхность передвижения</i>	Неровность поверхности (уровни шероховатости) Наличие препятствий
<i>Устойчивость</i> (свойство машины сохранять свое положение в пространстве при малых возмущениях)	Запас статической устойчивости Запас динамической устойчивости
<i>Походка</i> (характеризуется порядком подъема и постановки ног, траекториями переноса стоп)	Тип походки
<i>Стереотип поведения</i> (последовательность действий, которые совершает машина в той или иной стандартной ситуации: при движении по поверхности с тем или иным уровнем шероховатости, повороте, остановке, подъеме по лестнице и т.п.)	Тип стереотипа Параметры движения Сигналы с датчиков контактов с поверхностью, датчиков ограничения рабочей области конечностей, датчиков, определяющих положение системы координат корпуса машины относительно неподвижной системы координат
<i>Препятствие</i> (объект, при встрече с которым возникает нестандартная ситуация)	Тип препятствия (овраг, стена, заросли и др.)
<i>Первый (глобальный) уровень системы управления</i> (решает задачи выработки установок для локального уровня управления в соответствие с целями движения и дорожной обстановкой, формирования алгоритма поведения и управления перемещением конечностей в нестандартной ситуации)	Реализация (автоматическая, полуавтоматическая, с помощью оператора)
<i>Второй (локальный) уровень системы управления</i> (решает задачи выработки сигналов управления приводами (текущие углы и скорости разворота звеньев ног или положения штоков гидроприводов) на основе стереотипов с использованием установок верхнего уровня управления (направление и скорость движения платформы, поворот, тип походки, остановка и т.п.) и сигналов датчиков)	
<i>Третий (местный) уровень системы управления</i> (решает типовую задачу автоматического управления по отработке заданных сигналов)	Тип системы автоматического управления
<i>Датчики</i>	Место расположения датчика Смысл сигнала (касание, достижение предельного угла разворота и т.п.)

2 Описание модели объекта управления

Как было упомянуто выше, объектом управления является действующий макет шагающей машины, разработанный сотрудниками ГУАП и ЗАО «Арсенал-7» [1, 5].

Платформа (корпус машины) представляет собой правильный шестиугольник, в вершинах которого расположены трехзвенные конечности (ноги машины). В отличие от живых ор-

ганизмов с шаровым бедренным суставом, шарниры бедренного сустава машины имеют одну степень свободы. Шарниры разнесены в пространстве, и между ними добавлено промежуточное звено. В точке крепления ноги к платформе происходит вращение вокруг вертикальной оси, а в точке крепления бедра к промежуточному звену – вращение вокруг горизонтальной оси. Коленный сустав имеет одну степень свободы – вращение вокруг горизонтальной оси. Для перемещения звеньев используются гидроприводы.

При построении модели объекта управления используются три координатные системы: система координат конечностей, система координат машины и движущаяся система, связанная с поверхностью перемещения машины для отображения движения поверхности относительно корпуса машины в режиме бегущей дорожки.

Центр системы координат конечности $X_nY_nZ_n$ расположен в точке прикрепления ноги к платформе, плоскость X_nY_n совпадает с плоскостью платформы, ось Z_n направлена центра платформы к точке крепления промежуточного звена к платформе, ось Z_n – вертикально вверх (рисунок 1).

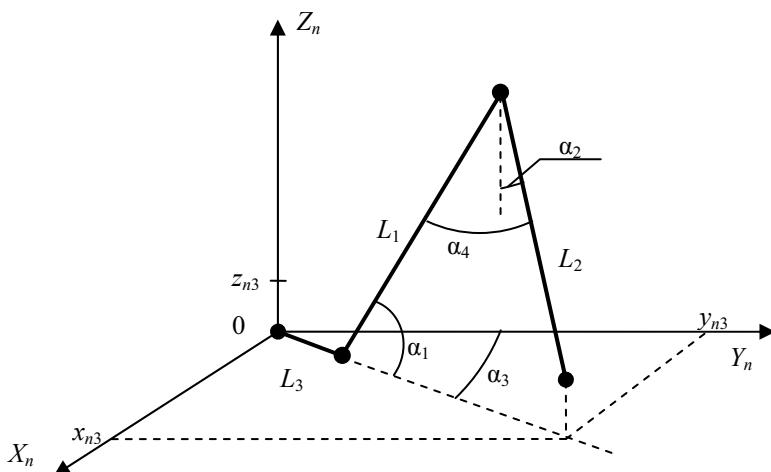


Рисунок 1 – Геометрическая модель конечности робота

Центр координатной системы корпуса $X_mY_mZ_m$ расположен в центре шестиугольной платформы. Плоскость X_mY_m совпадает с плоскостью платформы, ось Y_m направлена в точку крепления первой ноги, ось Z_m направлена вертикально вверх.

Все координатные системы – правые.

Общие геометрические характеристики машины представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Геометрические характеристики робота

Параметр	Значение
Расстояние между точками крепления ног	25 см
Длина бедра L_1	48 см
Длина голени L_2	60 см
Длина промежуточного звена L_3	14,7 см
Допустимые значения угла подъема бедра	$-20^\circ < \alpha_1 < 70^\circ$
Допустимые значения угла поворота голени относительно бедра	$50^\circ < \alpha_3 < 170^\circ$
Допустимые значения угла разворота ноги	$-55^\circ < \alpha_4 < 55^\circ$

Кинематическая (геометрическая) модель ноги машины (рисунок 1) в проекциях на собственную систему координат имеет вид:

$$(1) \quad \begin{aligned} x_{n3} &= (L_1 \cos \alpha_1 + L_2 \sin \alpha_2) \cos \alpha_3; \\ y_{n3} &= (L_1 \cos \alpha_1 + L_2 \sin \alpha_2 + L_3) \sin \alpha_3; \\ z_{n3} &= L_1 \sin \alpha_1 - L_2 \cos \alpha_2. \end{aligned}$$

Здесь x_{n3}, y_{n3}, z_{n3} – координаты стопы; L_1, L_2, L_3 – длины бедра, голени и промежуточного звена соответственно; $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ – углы подъема бедра, подъема голени (относительно вертикальной оси) и разворота бедра соответственно.

Угол α_4 поворота голени относительно бедра связан с углами α_1 и α_2 соотношением: $\alpha_4 = \alpha_2 - \alpha_1 + 90^\circ$. Переход к углу α_4 связан исключительно с компактностью записи уравнений конечности.

Для удобства проведения имитационного моделирования на основании (1) выполним дифференцирование этой системы уравнений. Результат в матричной форме имеет вид:

$$\begin{bmatrix} v_x \\ v_y \\ v_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{dx_{n3}}{dt} \\ \frac{dy_{n3}}{dt} \\ \frac{dz_{n3}}{dt} \end{bmatrix} = \mathbf{A} \begin{bmatrix} \frac{d\alpha_1}{dt} \\ \frac{d\alpha_2}{dt} \\ \frac{d\alpha_3}{dt} \end{bmatrix},$$

$$\text{где } \mathbf{A} = \begin{bmatrix} -L_1 \sin \alpha_1 \cos \alpha_3 & L_2 \cos \alpha_2 \cos \alpha_3 & -\sin \alpha_3 (L_1 \cos \alpha_1 + L_2 \sin \alpha_2) \\ -L_1 \sin \alpha_1 \sin \alpha_3 & L_2 \cos \alpha_2 \sin \alpha_3 & \cos \alpha_3 (L_1 \cos \alpha_1 + L_2 \sin \alpha_2) \\ L_1 \cos \alpha_1 & L_2 \sin \alpha_2 & 0 \end{bmatrix},$$

v_x, v_y, v_z – составляющие вектора скорости движения стопы.

Разрешив систему уравнений относительно производных по углам разворота звеньев, получим:

$$\begin{bmatrix} \frac{d\alpha_1}{dt} \\ \frac{d\alpha_2}{dt} \\ \frac{d\alpha_3}{dt} \end{bmatrix} = \mathbf{A}^{-1} \begin{bmatrix} v_x \\ v_y \\ v_z \end{bmatrix}.$$

После интегрирования системы и перехода к конечным разностям по формуле Эйлера получим уравнения для определения углов разворота звеньев при заданном векторе скорости стопы ноги в собственной системе координат:

$$(2) \quad \begin{bmatrix} \alpha_1(k+1) \\ \alpha_2(k+1) \\ \alpha_3(k+1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha_1(k) \\ \alpha_2(k) \\ \alpha_3(k) \end{bmatrix} + \mathbf{A}(k)^{-1} \begin{bmatrix} v_x \\ v_y \\ v_z \end{bmatrix} \delta,$$

где δ – шаг по времени.

Коэффициенты матрицы \mathbf{A} пересчитываются на каждом шаге в соответствие с новыми значениями углов разворота звеньев ноги.

3 Реализация походок

Походка определяет заданный порядок подъема и постановки ног и координацию их перемещения.

Согласно [3], *походкой* шестиногой шагающей машины называется последовательность ее состояний $\{Q_k\}$, $k = 1, 2, 3, \dots$.

Здесь $Q_k = [q_1 \ q_2 \ q_3 \ q_4 \ q_5 \ q_6]$ – вектор, определяющий состояние ног машины в момент времени k , $q_i = 0, 1$ – состояния i -ой ноги (1 – нога в фазе переноса, 0 – нога в фазе опоры, $i = 1, \dots, 6$).

Для шестиногой машины возможны походки 3-3 (трешками), 4-2 и 5-1. Первая цифра в обозначении походки означает количество опорных ног при совершении шага, а вторая – количество ног, находящихся в фазе переноса. Основными являются походка 3-3 – «нормальная» и 5-1 – «осторожная». В последнем случае последовательность перестановки ног может быть циклической (1-2-3...) или произвольной.

Походка 3-3, характеризуется следующей последовательностью состояний:

$$Q_1 = [0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0],$$

$$Q_2 = [0 \ 1 \ 0 \ 1 \ 0 \ 1],$$

$$Q_3 = [0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0],$$

$$Q_4 = [1 \ 0 \ 1 \ 0 \ 1 \ 0],$$

$$Q_5 = Q_1.$$

Походка 3-3 является циклической (последовательность состояний периодична). Матрица этой походки будет иметь вид:

$$Q_{3-3} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}.$$

Цикл движения конечностей при походке тройками содержит два шага – первый с опорой на 1-3-5 конечности, второй – с опорой на 2-4-6. В дискретном случае движение конечностей на каждом шаге складывается из следующих фаз: подъем холостой тройки ног (2-4-6), перемещение корпуса на опорной тройке (1-3-5), перенос холостой тройки, опускание холостой тройки до касания с поверхностью. Опорными становятся конечности 2-4-6 и фазы движения повторяются. Фазы движения завершаются при достижении стопами ног соответствующих границ (границ области достижимости, заданной высоты подъема ноги, длины шага, касания стопы с поверхностью).

При движении шагающей машины положение стоп ног ограничивается размерами области достижимости, зависящей от конструкционных характеристик машины. Для упрощения синхронизации движения конечностей в качестве оптимальной области может быть выбрана сфера максимального радиуса, вписанная в область достижимости [5]. Длина шага в этом случае будет максимальной, если траектория движения стопы проходит через центр сферы. Для серии шагов соблюдение этого условия требует, чтобы плоскость платформы была параллельна опорной плоскости (плоскости, проходящей через точки касания ног или максимально близко к ним расположенной), вертикальные координаты стоп ног совпадали с координатами центра оптимальной сферы, вектор скорости машины располагался в плоскости платформы машины. В общем случае это условие может выполняться только при движении по ровной поверхности. Для шестиногой машины с походкой тройками по неровной поверхности может быть реализована походка с покачиваниями, когда после касания стоп «холостой» тройки ног и опоры на них выполняется корректировка вертикальных координат для перемещения стоп каждой из ног в оптимальную область. Фаза корректировки должна выполняться на каждом шаге движения машины.

При движении по ровной или слабошероховатой поверхности можно пренебречь условием оптимальности (в указанном выше смысле) в пользу комфорта при плоскопараллельном перемещении корпуса машины без покачивания.

Систему управления машиной, осуществляющую смену фаз походки и перемещение ног в пределах той или иной фазы в целом можно представить моделью гибридного автомата (ГА). Дискретная компонента ГА – автомат походок, каждому состоянию которого соответствует та

или иная фаза перемещения конечностей. Непрерывная компонента – блок управления движением конечностей в пределах фазы шага.

Автомат походок при переходе в очередное состояние задает начальные условия для работы блока управления. В предлагаемой модели автомат походок задает векторы скорости движения стоп и обнуляет сигнал достижения ограничения перемещения для конечности (сигнал окончания фазы шага). Блок управления обеспечивает движение конечностей в соответствие с вектором скорости и фиксирует достижение ограничений – окончание фазы шага. Автомат походок сохраняет свое состояние до получения сигнала окончания фазы шага, который является входным для него и переводит автомат в новое состояние. Блок управления обеспечивает отработку очередной фазы шага и т. д. В фазе опускания ног автомат генерирует сигнал, активизирующий генератор случайных чисел для задания точек касания стоп с поверхностью (при моделировании движения по поверхности со случайными шероховатостями). Внешние входные сигналы обеспечивают запуск и остановку работы автомата походок и всего ГА в целом.

4 Анализ устойчивости машины

Одной из важных задач, возникающих при управлении шагающей машиной, является анализ ее механической устойчивости. В частности, для каждого положения машины необходимо, во-первых, определить, является ли это положение устойчивым, и, во-вторых, если положение устойчивое, то оценить запас устойчивости.

В случае если робот находится в покое или движется равномерно и прямолинейно, говорят о так называемой статической устойчивости. Согласно [3], шагающая машина является *статически устойчивой*, если она находится в положении равновесия под действием силы тяжести. Статическая устойчивость достигается тогда, когда проекция центра масс машины на плоскость XY (на рисунке 2 слева отмечена кружком) лежит внутри многоугольника, вершинами которого являются проекции на плоскость XY точек опор (отмечен широким пунктиром на рисунке 2). В дальнейшем будем называть такой многоугольник *многоугольником опор*.

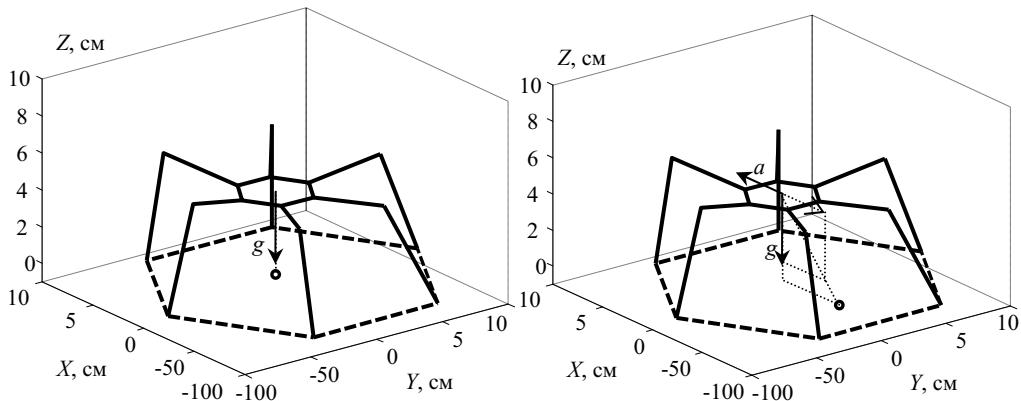


Рисунок 2 – Определение статической устойчивости (слева) и динамической устойчивости (справа)

Если робот движется с ускорением, но на его устойчивость влияет не только положение центра тяжести относительно опор, но и сила инерции. В данном случае говорят о так называемой динамической устойчивости.

Назовем *динамической проекцией* центра масс машины на плоскость XY точку пересечения плоскости XY и прямой, на которой лежит сумма сил тяжести и инерции машины (рисунок 2 справа).

Будем считать, что машина является *динамически устойчивой*, если динамическая проекция центра тяжести машины лежит внутри многоугольника ее опор. Заметим, что в отличие от статической устойчивости, динамическая устойчивость зависит от высоты расположения центра масс.

При оценке запаса статической устойчивости также необходимо учесть, что чем выше находится центр масс машины над опорной поверхностью, тем менее устойчивым является такое положение. Таким образом, при расчете необходимо использовать данные о расстоянии от проекции центра тяжести до границ опорного многоугольника и о вертикальной координате центра масс.

В случае потери устойчивости шагающая машина опрокинется. При этом она будет совершать вращательное движение вокруг прямой, соединяющей две соседние опорные точки (рисунок 3). Таким образом, запас устойчивости целесообразно рассчитывать для каждой пары соседних опорных конечностей.

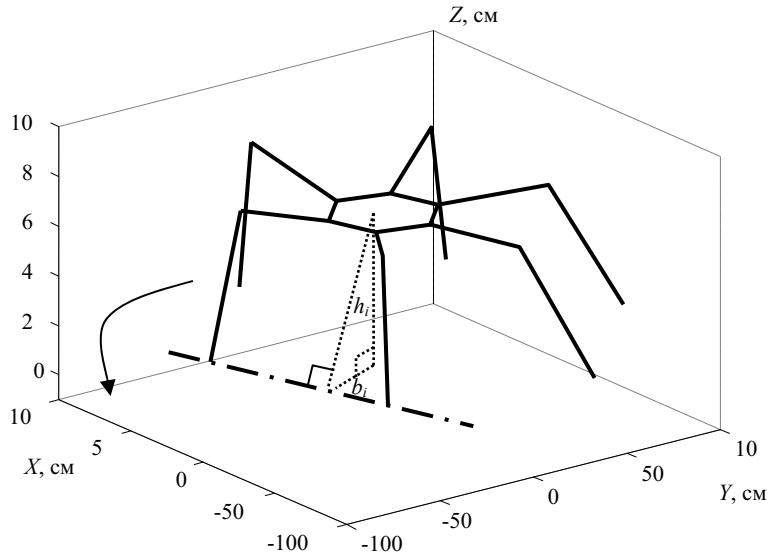


Рисунок 3 – Потеря устойчивости машины

По аналогии с [3] будем оценивать запас статической устойчивости относительно i -й пары соседних конечностей следующим образом:

$$\Delta_i = \frac{\Pi_i}{mg},$$

где Π_i – изменение потенциальной энергии силы тяжести при повороте замороженной конфигурации машины вокруг оси, соединяющей i -ю пару конечностей, из исходного положения в критическое, когда центр масс машины окажется над осью вращения.

Эту формулу можно переписать в виде:

$$\Delta_i = \sqrt{h_i^2 + b_i^2} - h_i,$$

где h_i и b_i – длины проекций на плоскость XY и на ось OZ перпендикуляра, проведенного из центра масс к оси вращения (рисунок 3).

Запасом устойчивости машины в целом будет минимальное из всех полученных значений:

$$\Delta = \min_i \Delta_i.$$

Такой способ вычисления запаса статической устойчивости позволит не только оценить устойчивость текущего положения робота, но и выявить наиболее опасное направление движения корпуса.

Заключение

В заключении подведем основные итоги работы.

- 1) Произведена краткая систематизация понятий предметной области «шагающие машины».
- 2) Построена кинематическая модель шестиногого шагающего робота, прототипом которого является разрабатываемый в ОАО «Арсенал-7» действующий макет.
- 3) Разработан алгоритм для системы управления верхнего уровня, реализующий походку типа 3-3.
- 4) Предложен способ оценки статической и динамической устойчивости машины.
- 5) В пакете MATLAB построена анимированная модель робота. Для удобства проведения экспериментов и наглядности компьютерная модель функционирует в режиме бегущей дорожки, когда центр системы координат корпуса машины остается неподвижным на экране дисплея, а опорная поверхность перемещается в соответствие с движением стоп ног. При этом точки касания каждой из ног (поверхность) задаются случайным образом. На каждом шаге анимации движения машины производится расчет запаса устойчивости. Границы области устойчивости машины и положение на ней проекции цента масс с учетом инерционности также отображаются на экране.

На следующем этапе работы предполагается рассмотреть динамические задачи управления движением шестиногого шагающего робота, задачи формирования непрерывных походок и разработки базы стереотипов поведения робота.

Благодарности

Работа частично поддержана грантом РФФИ № 14-08-00399.

Список литературы

- [1] Игнатьев М.Б. Кибернетическая картина мира. Теория сложных систем. – СПб.: ГУАП, 2011. – 448 с.
- [2] Охоцимский Д.Е., Голубев Ю.Ф. Механика и управление движением автоматического шагающего аппарата. – М.: Наука, 1984. – 310 с.
- [3] Лапшин В.В. Механика и управление движением шагающих машин. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2012. – 199 с.
- [4] Павловский В.Е. О разработках шагающих машин: препринт. – М.: ИПМ РАН, 2013. № 101. – 32 с.
- [5] Михайлов В.В., Попов В.П., Соловьева Т.Н. Моделирование кинематики шагающего робота // Информационно-управляющие системы. 2015. – № 6. – С. 50-5.
- [6] Boaventura T., Buchli J., Semini C., Caldwell D.G. Model-based Hydraulic Impedance Control for Dynamic robots // IEEE Transactions on Robotics. 2015. – Vol. 31, issue 6. – P. 1324-1336. [preprint]

УПРАВЛЕНИЕ ВРАЩАТЕЛЬНЫМ ДВИЖЕНИЕМ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА С МАЛОЙ АСИММЕТРИЕЙ В АТМОСФЕРЕ ПРИ ВНЕШНЕ УСТОЙЧИВОМ ГЛАВНОМ РЕЗОНАНСЕ

В.В. Любимов, В.С. Лашин

Самарский научно-исследовательский университет им. академика С.П. Королева
443086, Самара, ул. Московское шоссе 34, Россия
vlubimov@mail.ru
тел: +7 (927) 603-35-61

Ключевые слова: устойчивость, вращение, космический аппарат, атмосфера, усреднение, управление, резонанс, асимметрия.

Abstract

We discuss the phenomenon of external stability of the main resonance at the controlled descent of a spacecraft with small asymmetry in rarefied atmosphere of Mars. We give numerical results, reflecting the phenomenon of external stability of the resonance with changing asymmetry parameters.

Введение

Проблема устойчивости резонансов при возмущенном движении относительно центра масс возвращаемых космических аппаратов в атмосфере рассматривалась в значительном количестве публикаций [1] и в других работах. При этом устойчивость резонансов исследовалась в асимптотически малой окрестности данных резонансов. Применительно к задаче о спуске в атмосфере космического аппарата с малой асимметрией явление внешней устойчивости резонансов было изучено ранее. В известных исследованиях внешней устойчивости резонансов не учитывалась эволюция характеристик движения центра масс.

1 Постановка задачи

Космический аппарат (КА) рассматривается как твердое тело массой 120 кг и имеет форму, близкую к конической. Предполагается произвести анализ внешней устойчивости главного резонанса при малых значениях угла атаки. Для стабилизации вращательного движения КА рассматривается аналитическая зависимость, позволяющая уменьшить величину аэродинамической асимметрии при атмосферном спуске КА. Рассмотрим подробнее движение спускаемого КА в случае положительных ω_x при выполнении условия $\omega_x - \omega_{1,2} > 0$. Случай положительных значений ω_x при $\omega_x - \omega_{1,2} < 0$ может быть рассмотрен по аналогии.

2 Анализ внешней устойчивости главного резонанса

Для исследования внешней устойчивости главного резонанса $\Delta = \omega_x - \omega_l \geq 0$ требуется рассмотреть изменение на нерезонансных участках функции Ляпунова следующего вида $V = \Delta^2$ [2]. При анализе внешней устойчивости применяется выражение для усредненной производной функции Ляпунова:

$$(1) \quad \left\langle \frac{dV}{dt} \right\rangle = 2\bar{\Delta} \left\langle \frac{d\Delta}{dt} \right\rangle.$$

Далее верхние индексы для соотношения частот $\bar{\Delta}$ не указываются.

В квазилинейном случае производная $\langle d\Delta / dt \rangle$ вычисляется так

$$(2) \quad \left\langle \frac{d\Delta}{dt} \right\rangle = \frac{\partial \Delta}{\partial \omega_x} \left\langle \frac{d\omega_x}{dt} \right\rangle + \frac{\partial \Delta}{\partial \omega} \frac{d\omega}{dt} .$$

Здесь $\frac{\partial \Delta}{\partial \omega_x} = 1 - \frac{\bar{I}_x}{2} - \frac{\bar{I}_x^2 \omega_x}{4m_a}$, $\frac{\partial \Delta}{\partial \omega} = -\frac{\omega}{\omega_a}$. Производные $\left\langle \frac{d\omega_x}{dt} \right\rangle$ и $\frac{d\omega}{dt}$ равны:

$$\left\langle \frac{d\omega_x}{dt} \right\rangle = \frac{-A_m \omega^4}{2\bar{I}_x \omega_a (\omega_x - \omega_{1,2})} \cos(\theta_1 - \theta_2) \text{ и } \frac{d\omega}{dt} = \varepsilon \frac{\omega}{2q} \frac{dq}{dt}, \text{ соответственно. Согласно [2] одно из}$$

условий внешней устойчивости резонанса $\Delta = \omega_x - \omega_1 \geq 0$ имеет вид:

$$(3) \quad \left\langle \frac{dV}{dt} \right\rangle = 2\Delta \left\langle \frac{d\Delta}{dt} \right\rangle < 0$$

При выполнении условия (3) величина $|\Delta|$ эволюционирует к резонансной зоне $|\Delta| \approx o(\sqrt{\varepsilon})$.

Произведем анализ условия внешней устойчивости (3) при движении КА с малыми значениями угла атаки в случае положительных ω_x при выполнении $\omega_x - \omega_{1,2} > 0$, где

$\omega_{1,2} = 0.5\bar{I}_x \omega_x \pm \omega_a$, $\omega_a = \sqrt{\bar{I}_x \omega_x^2 / 4 + \omega^2}$. Область реализации условий (3) следует оценивать следующим образом: $\sqrt{\varepsilon} < |\Delta| < 1/\varepsilon$. Пусть соотношение моментов инерции I_x, I_y, I_z способствует выполнению условия $\frac{\partial \Delta}{\partial \omega_x} > 0$.

Случай 1. Из условия (3) следует, что внешняя устойчивость главного резонанса $\Delta = \omega_x - \omega_1 \geq 0$ наблюдается при одновременном выполнении условий $\langle d\omega_x / dt \rangle < 0$, $d\omega / dt > 0$. На рисунке 1 показана реализация такого случая. Действительно, при нерезонансном уменьшении положительного значения угловой скорости ω_x на участке увеличения величины $\omega(t)$ осуществляется приближение значения угловой скорости к резонансным значениям $\omega_x^r = \omega / \sqrt{1 - \bar{I}_x}$, где $\bar{I}_x = I_x / I$, $I_y = I_z = I$. Такое поведение системы соответствует внешней устойчивости резонанса $\Delta \geq 0$.

Численное интегрирование при получении результатов, показанных на рисунке 1, производилось при следующих исходных данных и параметрах КА: $m = 120$ кг, $S = 0.2$ м², $L = 0.6$ м, $\bar{m}_x^A = 0.08$, $\bar{m}^A = 0.06$, $\theta_1 - \theta_2 = \pi$, σ_x -баллистический коэффициент, $\sigma_x = 32 \cdot 10^{-3}$ м²/кг, $V(0)$ - начальное значение скорости КА, $V(0) = 3400$ м/с, $\vartheta(0)$ - начальное значение угла наклона траектории, $\vartheta(0) = -1$ град, $H(0)$ - начальное значение высоты полета КА, $H(0) = 100$ км, $\alpha(0) = \pi/50$ рад, $\omega_x(0) = 8.3$ с⁻¹.

3 Обеспечение нерезонансного движения КА

Случай 2. В ранее рассмотренном примере малые параметры асимметрии \bar{m}_x^A , \bar{m}^A предполагались неизменными. Пусть изменение аэродинамической асимметрии приводит к уменьшению параметра асимметрии \bar{m}^A в процессе атмосферного спуска в соответствии с аналитическим законом:

$$(4) \quad \bar{m}^A(t) = k_1 \sin(k_2 H(t)),$$

где k_1, k_2 - малые положительные коэффициенты управления. При этом величина параметра \bar{m}_x^A , соответствующая значениям массовой асимметрии, остается неизменной. Величины коэффициентов управления, начальное значение угловой скорости и значение угла $\theta_1 - \theta_2$, используемые при построении рисунка 2а, равны: $k_1 = 0.06$, $k_2 = 7.8 \cdot 10^{-7}$, $\omega_x(0) = 8.3 \text{ rad/s}$, $\theta_1 - \theta_2 = \pi$ рад. Все другие параметры КА и начальные условия движения аналогичны величинам, применяемым для построения рисунка 1.

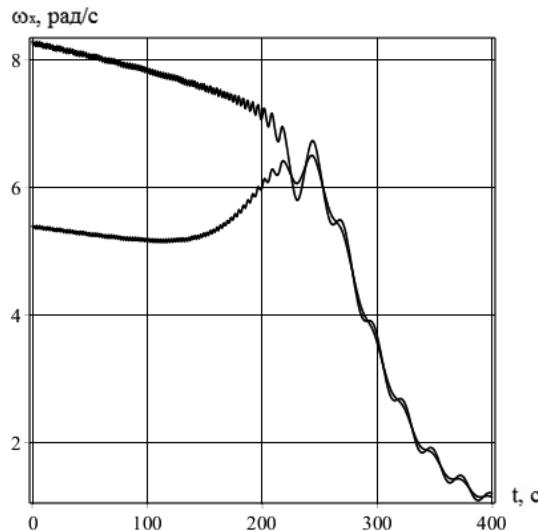


Рисунок 1 – Эволюция угловой скорости при внешней и внутренней устойчивости резонанса

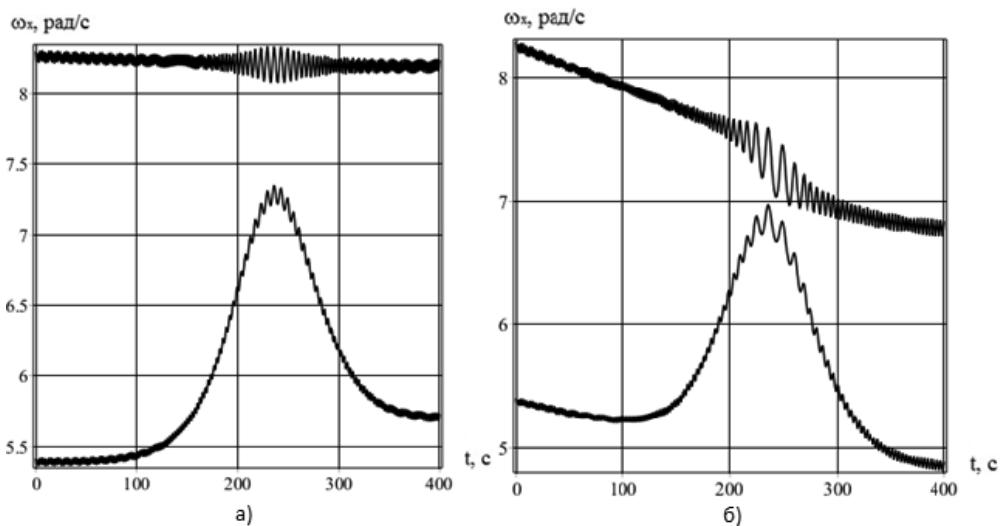


Рисунок 2 – Поведение угловой скорости при использовании законов а) (4) и б) (5)

Из рисунка 2а следует, что уменьшение параметра асимметрии \bar{m}^A при реализации внешней устойчивости в первом случае может происходить без достижения резонансных значений ω_x^r . Кроме того, выбором величин k_1, k_2 можно обеспечить стабилизацию среднего значения угловой скорости ω_x .

Случай 3. Рассмотрим изменение аэродинамической асимметрии \bar{m}^A при атмосферном спуске в соответствии с законом:

$$(5) \quad \bar{m}^A(t) = k_1 e^{k_2 H(t)} \sin(k_3 H(t)),$$

где k_1, k_2, k_3 - малые положительные коэффициенты управления.

Величина параметра \bar{m}_x^A остается неизменной. Величины коэффициентов управления, начальное значение угловой скорости и значение угла $\theta_1 - \theta_2$, используемые при построении рисунка 2б, равны: $k_1 = 0.06$, $k_2 = 1.8 \cdot 10^{-6}$, $k_3 = 9 \cdot 10^{-6}$, $\omega_x(0) = 8.3 \text{ c}^{-1}$, $\theta_1 - \theta_2 = \pi$ рад. Все другие параметры КА и начальные условия движения аналогичны величинам, применяемым для построения рисунка 1. Из рисунка 2б следует, что уменьшение параметра \bar{m}^A при реализации внешней устойчивости, аналогично случаю 2, может происходить без достижения резонансных значений ω_x^r . Изменяя величины k_1, k_2, k_3 можно стабилизировать угловую скорость ω_x . Однако в случае 2 стабилизация происходит быстрее, чем в случае 3. Следовательно, закон (4) более эффективен при уменьшении параметра \bar{m}^A в случае реализации внешней устойчивости.

Заключение

Результаты эксперимента показывают, что при реализации внешней устойчивости при вращении космического аппарата с малой асимметрией в разряженной атмосфере Марса, практический интерес представляет вопросов выбора величин параметров асимметрии спускаемого КА. В связи с этим, применение закона управления величиной аэродинамической асимметрии обеспечивает нерезонансное вращение или даже стабилизацию вращения КА.

Список литературы

- [1] Ярошевский В. А. Движение неуправляемого тела в атмосфере - М.: Машиностроение, 1978. – 168 с.
- [2] Любимов В.В. Внешняя устойчивость резонанса в нелинейной системе с медленно изменяющимися переменными // Известия РАН. Механика твердого тела. - 2002. - № 6. - С.52-58.

НЕПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ МЕТОД ДИАГНОСТИРОВАНИЯ СИСТЕМ, ОПИСЫВАЕМЫХ ЛИНЕЙНЫМИ МОДЕЛЯМИ

А.Н. Жирабок, А.Е. Шумский, С.В. Павлов

Дальневосточный федеральный университет
690990, г. Владивосток, ул. Суханова, 8, Россия

zhirabok@mail.ru

тел: +7(924)234-58-95

Ключевые слова: функциональное диагностирование, наблюдатели, непараметрический метод, декомпозиция, поиск дефектов, матрица синдромов.

Abstract

The problem of fault diagnosis in technical systems described by linear dynamic models based on non-parametric method is considered. The feature of this method for linear system models is that the knowledge of the system constant parameters is not required for purpose of diagnosis; it is sufficient to know only the dimensions of control, state, and output vectors of the system.

Введение

Функциональное диагностирование (ФД) является одним из мощных средств повышения эффективности эксплуатации сложных технических систем, поскольку оно позволяет производить проверку правильности функционирования системы в процессе выполнения ею своих основных функций и оперативно поставлять информацию о возникающих сбоях и дефектах. За несколько десятилетий были разработаны разнообразные методы ФД на основе диагностических наблюдателей, соотношений паритета и методов идентификации, изучены связи между ними; в значительной мере решены задачи обеспечения робастности на основе активных и пассивных методов, использования адаптивного порога и нечеткой логики, подхода H_∞ ; рассмотрены классы технических систем, описываемых различными моделями – линейными, нелинейными, сингулярными, гибридными [1, 2, 4, 7, 8].

В последнее десятилетие перспективным и активно используемым методом решения задач ФД стал так называемый непараметрический метод [5, 6, 9], особенность которого состоит в том, что все или некоторые параметры объекта диагностирования могут быть неизвестными. Как правило, этот метод излагается для систем с непрерывным временем, в настоящей работе он рассматривается применительно к дискретным системам на основе нового метода поиска дефектов.

1 Непараметрический метод

1.1 Основные конструкции

Рассмотрим класс технических систем, описываемых линейной моделью

$$(1) \quad x(t+1) = Fx(t) + Gu(t) + \sum_{i=1}^s D_i d_i(t), \quad y(t) = Hx(t).$$

Здесь $x \in R^n$, $u \in R^m$, $y \in R^l$ - векторы состояния, управления и выхода; F , G , H и D_1 , D_2, \dots, D_s - известные постоянные матрицы; $d_1(t)$, $d_2(t), \dots, d_s(t)$ - скалярные функции, описывающие дефекты: при их отсутствии $d_i(t) = 0$, при появлении i -го дефекта $d_i(t)$ стано-

вится неизвестной функцией времени, $i=1, 2, \dots, s$. Предполагается, что в системе возможны только однократные дефекты, возмущения для простоты не учитываются.

Ниже будем полагать, что в состав некоторых элементов матриц F и G входят параметры, характеризуемые вектором $\gamma = (\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_s)^T$; i -й дефект в системе проявляется в виде отклонения i -го параметра от его номинального значения, что в модели (1) учитывается соответствующим элементом суммы $\sum_{i=1}^s D_i d_i(t)$.

Предполагается, что пара (F, H) наблюдаема. Известно [3], что в этом случае система может быть представлена в идентификационной канонической форме, когда все обратные связи выполнены с помощью вектора выхода. Рассмотрим одну из подсистем этой формы, реализуемую с помощью линейных преобразований

$$(2) \quad x_* = \Phi x, \quad y_* = Ry,$$

для некоторой матрицы Φ и матрицы-строки R , что дает следующую модель этой подсистемы:

$$\begin{aligned} x_{*1}(t+1) &= x_{*2}(t) + J^{(1)}y(t) + G_*^{(1)}u(t), \\ x_{*1}(t+1) &= x_{*i+1} + J^{(i)}y(t) + G_*^{(i)}u(t), \quad i = 2, 3, \dots, N-1, \\ x_{*N}(t+1) &= J^{(N)}y(t) + G_*^{(N)}u(t), \\ y_*(t) &= Ry(t) = x_{*1}(t); \end{aligned}$$

для матриц $J^{(1)}, \dots, J^{(N)}$, $G_*^{(1)}, \dots, G_*^{(N)}$, некоторые элементы которых зависят от параметров, характеризуемых вектором $\gamma = (\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_s)^T$; x_{*i+1} - i -я компонента вектора состояния x_* , $x_{*i} = \Phi_i x$, Φ_i - i -я строка матрицы Φ , $i=1, 2, \dots, N$.

Произведем в полученном представлении ряд временных сдвигов и подстановок одних уравнений в другие:

$$\begin{aligned} x_{*1}(t+2) &= J^{(1)}y(t+1) + G_*^{(1)}u(t+1) + x_{*3}(t) + J^{(2)}y(t) + G_*^{(2)}u(t), \\ x_{*1}(t+3) &= J^{(1)}y(t+2) + G_*^{(1)}u(t+2) + J^{(2)}y(t+1) + G_*^{(2)}u(t+1) + x_{*4}(t) + J^{(3)}y(t) + G_*^{(3)}u(t), \\ &\dots \\ y_*(t+N) &= x_{*1}(t+N) = (J^{(1)} \ G_*^{(1)} \ \dots \ J^{(N)} \ G_*^{(N)}) \begin{pmatrix} y(t+N-1) \\ u(t+N-1) \\ \dots \\ y(t) \\ u(t) \end{pmatrix}. \end{aligned}$$

Запишем выражение для значения величины y_* для T моментов времени:

$$(3) \quad Y_T(t) = (y_*(t+N+T-1) \ y_*(t+N+T-2) \ \dots \ y_*(t+N)) = (J^{(1)} \ G_*^{(1)} \ \dots \ J^{(N)} \ G_*^{(N)}) V_T(t),$$

где

$$V_T(t) = \begin{pmatrix} y(t+N+T-2) & y(t+N+T-3) & \dots & y(t+N-1) \\ u(t+N+T-2) & u(t+N+T-3) & \dots & u(t+N-1) \\ \dots & & & \\ y(t+k) & y(t+k-1) & \dots & y(t) \\ u(t+k) & u(t+k-1) & \dots & u(t) \end{pmatrix}.$$

Характерной особенностью полученного выражения является то, что параметры, значения которых могут быть неизвестны, находятся в строке $(J^{(1)} \ G_*^{(1)} \ \dots \ J^{(N)} \ G_*^{(N)})$; строка $Y_T(t)$ и матрица $V_T(t)$ зависят только от измеряемых значений векторов управления и выхода. По-

следнее позволяет осуществлять ФД с использованием строки $Y_T(t)$ и матрицы $V_T(t)$, т.е. без знания значений параметров диагностируемой системы.

1.2 Генерация невязки

Для принятия решения о возникших дефектах значение T выбирается минимальным, при котором $\text{rank}(V_T(t)) = \text{rank}(V_{T-1}(t))$ [5, 6]. Отсюда следует, что последний столбец матрицы $V_T(t)$ линейно выражается через предыдущие столбцы, т.е. существует ненулевой вектор $v_T(t)$, для которого $V_T(t)v(T) = 0$; это означает, что матрица $V_T(t)$ имеет непустое ядро. Из (3) тогда следует равенство $V_T(t)v(T) = 0$, которое является соотношением паритета. Из сказанного следует, что правило генерации невязки

$$(4) \quad r_T(t) = Y_T(t)v(T), \quad v(T) \in \ker(V_T(t)),$$

предложенное для непрерывных систем в [5, 6], является робастным в том смысле, что оно строится без знания значений элементов матриц системы. Для генерации невязки достаточно знать размерности векторов системы, но вычисление элементов соотношения (4) должно производиться непосредственно в процессе ФД в реальном масштабе времени. Этим правило (4) отличается от известных методов генерации невязки, опирающихся на детальное описание системы, что дает возможность выполнить ряд вычислений предварительно – перед проведением процесса ФД. Отметим, что невязка $r_T(t)$ генерируется для каждого момента t , т.е. временное окно T является скользящим.

Ясно, что операции определения значения T , при котором $\text{rank}(V_T(t)) = \text{rank}(V_{T-1}(t))$, требуют определенных ресурсов времени и не всегда могут быть реализованы в реальном масштабе времени. Для устранения этого недостатка предлагается выбирать T заранее так, чтобы число столбцов матрицы $V_T(t)$ было больше числа ее строк. При известной структуре матриц J и G_* такое значение T можно определить следующим образом. Пусть $N(J, G_*)$ – число ненулевых элементов матриц J и G_* , тогда условие $\text{rank}(V_T(t)) = \text{rank}(V_{T-1}(t))$ выполняется при $T \geq N(J, G_*) + 1$.

2 Поиск дефектов

Главная идея поиска дефектов, предлагаемая в настоящей работе, основана на параллельной декомпозиции исходной системы на несколько независимых подсистем $\Sigma_1, \Sigma_2, \dots, \Sigma_p$ со скалярными выходами $y^{(1)}, y^{(2)}, \dots, y^{(p)}$, представляющими собой линейные функции компонент вектора выхода y :

$$y^{(1)} = R^{(1)}y, \quad y^{(2)} = R^{(2)}y, \quad \dots, \quad y^{(p)} = R^{(p)}y;$$

где $R^{(1)}, \dots, R^{(p)}$ – матрицы-строки, $p \leq \min(l, s)$.

В результате такой декомпозиции компоненты вектора параметров $\gamma = (\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_s)^T$ раскладываются в семейство p множеств $\Gamma = \{\Gamma_1, \Gamma_2, \dots, \Gamma_p\}$, где множество Γ_i содержит определенные параметры из вектора $(\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_s)^T$ в соответствии с тем, какие параметры входят в описание подсистемы Σ_i .

Для поиска дефектов процедура обнаружения дефектов, рассмотренная выше, применяется к подсистемам $\Sigma_1, \Sigma_2, \dots, \Sigma_p$ путем формирования матриц $V_{T_1}^{(1)}(t), V_{T_2}^{(2)}(t), \dots, V_{T_p}^{(p)}(t)$,

образованных измерениями $\{u(\tau), y^{(1)}(\tau)\}, \{u(\tau), y^{(2)}(\tau)\}, \dots, \{u(\tau), y^{(p)}(\tau)\}$ соответственно в пределах временного окна размера $T_\Sigma = \max(T_1, T_2, \dots, T_p)$. Невязки $r_{T_1}^{(1)}(t), r_{T_2}^{(2)}(t), \dots, r_{T_p}^{(p)}(t)$, генерируемые с помощью матриц $V_{T_1}^{(1)}(t), V_{T_2}^{(2)}(t), \dots, V_{T_p}^{(p)}(t)$ соответственно, строятся согласно соотношению (4). Ясно, что процедура поиска дефекта может быть реализована с точностью до множества $\Gamma_i, i=1, 2, \dots, p$.

Опишем процесс построения подсистемы, не содержащей параметр γ_1 . Предполагается, что она описывается в общем виде линейной моделью

$$(5) \quad \begin{aligned} x_*(t+1) &= F_*x_*(t) + G_*u(t) + Jy_*(t), \\ y_*(t) &= H_*x_*(t). \end{aligned}$$

Предполагается также, что при отсутствии дефектов векторы x_* и x связаны равенством (2). Тогда по аналогии с [2, 7] можно получить следующие матричные уравнения, которым подчиняются матрицы, описывающие системы (1) и (5):

$$(6) \quad RH = H_*\Phi, \quad \Phi F = F_*\Phi + JH_*\Phi, \quad G_* = \Phi G, \quad \Phi D_l = 0.$$

Решение этих уравнений дает минимальную размерность подсистемы k и матрицы R и J .

Для возможности применения непараметрического метода каждая подсистема должна быть реализована в канонической форме с матрицами F_* и H_* вида

$$(7) \quad F_* = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 1 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \ddots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \end{pmatrix}, \quad H_* = (1 \ 0 \ 0 \ \dots \ 0).$$

Последнее связано с тем, что в этот случае для каждой подсистемы могут быть составлены соотношения паритета в виде выражений, получаемых на основе ее вход-выходного описания, а именно это требуется для решения задачи ФД непараметрическим методом. Из (7) следует, что два первых уравнения в (6) можно представить в виде совокупности k уравнений:

$$(8) \quad RH = \Phi_1, \quad \Phi_i F = \Phi_{i+1} + J_i RH, \quad i = 1, \dots, k-1, \quad \Phi_k F = J_k RH.$$

Известно [2], что семейство последних уравнения можно свернуть в одно:

$$(9) \quad RHF^k = J_1RHF^{k-1} + J_2RHF^{k-2} + \dots + J_k RH.$$

Запишем это уравнение в виде

$$(R - J_1R \ \dots \ - J_k R)U^{(k)} = 0,$$

где

$$U^{(k)} = \begin{pmatrix} HF^k \\ HF^{k-1} \\ \dots \\ H \end{pmatrix}.$$

Необходимым условием существования нетривиального решения этого уравнения является неравенство

$$(10) \quad \text{rank}(U^{(k)}) < l(k+1).$$

Из него определяется минимальное значение размерности подсистем.

Из (8) можно получить выражения для первых строк матричного произведения ΦD_l :

$$(11) \quad \begin{aligned} \Phi_1 D_1 &= RHD_1, \\ \Phi_2 D_1 &= (\Phi_1 F - J_1 RH) D_1 = RHFD_1 - J_1 RHD_1, \\ \Phi_3 D_1 &= (\Phi_2 F - J_2 RH) D_1 = ((RHF - RJ_1 H) F - J_2 RH) D_1 = RHF^2 D_1 - J_1 RHF D_1 - J_2 RHD_1. \end{aligned}$$

Поскольку по условию рассматриваемая подсистема не содержит параметр γ_1 , должно выполняться условие $\Phi D_1 = 0$, или $\Phi_i D_1 = 0$, $i=1, 2, \dots, k$. Тогда из (11) следует $RHD_1 = 0$, $RHFD_1 = 0, \dots, RHF^{k-1} D_1 = 0$, что можно записать в виде

$$(12) \quad R(HD_1 \ HFD_1 \ \dots \ HF^{k-1} D_1) = 0.$$

Из вида этого уравнения ясно, что оно выступает только в роли ограничения на выбор матрицы R , само решение находится из уравнения (9).

Обозначим через k_0 минимальное значение k , при котором выполняется условие (10). Поскольку рассматривается первый дефект, то для конкретности матрицы R , Φ и J , входящие в (11), отметим верхним индексом (1).

Рассмотрим уравнение

$$(13) \quad R^{(1)}(HD_1 \ HFD_1 \ \dots \ HF^{k_0-1} D_1) = 0,$$

обозначим все его линейно независимые решения $R_{l_1}^{(1)}, \dots, R_{l_1}^{(1)}$; отсутствие решений означает, что подсистемы, не содержащей параметр γ_1 , не существует. Для каждой полученной строки $R_j^{(1)}$, $j=1, 2, \dots, l_1$, и $k=k_0$ решается уравнение (9) и определяются матрицы $J_j^{(1)}$, $j=1, 2, \dots, l_1$. Если для строки $R_j^{(1)}$ решение уравнения (9) существует только при некотором $k > k_0$, проверяются равенства $R_j^{(1)} HF^{k_0} D_1 = 0, \dots, R_j^{(1)} HF^{k-1} D_1 = 0$. При их выполнении строка $R_j^{(1)}$ сохраняется для дальнейшего анализа, в противном случае – отбрасывается. Если для строки $R_j^{(1)}$ решение уравнения (9) отсутствует, она отбрасывается.

Аналогичным образом рассматриваются параметры $\gamma_2, \dots, \gamma_s$, на основе чего определяется множество пар $(R_1^{(1)}, k_1^{(1)})$, \dots , $(R_{l_1}^{(1)}, k_{l_1}^{(1)})$, \dots , $(R_1^{(s)}, k_1^{(s)})$, \dots , $(R_{l_s}^{(s)}, k_{l_s}^{(s)})$ где $k_{l_j}^{(i)}$ – минимальное значение k , при котором уравнение (9) имеет решение для строки $R_{l_j}^{(i)}$; им соответствуют решения уравнения (9) в виде матриц $J_1^{(1)}, \dots, J_{l_1}^{(1)}, \dots, J_1^{(s)}, \dots, J_{l_s}^{(s)}$.

Сформируем множество всех пар $P = \{(R_1^{(1)}, k_1^{(1)}), \dots, R_{l_1}^{(1)}, k_{l_1}^{(1)}\}, \dots, P = \{(R_1^{(s)}, k_1^{(s)}), \dots, R_{l_s}^{(s)}, k_{l_s}^{(s)}\}$, для которых уравнение (9) имеет решение. Если имеются две пары $(R_i^{(a)}, k_i^{(a)}), (R_j^{(b)}, k_j^{(b)})$ такие, что $R_i^{(a)} = R_j^{(b)}$, а $k_i^{(a)} \leq k_j^{(b)}$, то оставляем во множестве P первую пару, поскольку вторая дает подсистему размерности, не меньше первой. Полученное в результате множество P является основой для построения семейства, состоящего из $p = |P|$ подсистем, описываемых моделью (5) с вектором состояния $x_{*j}^{(i)}$, размерность каждой из них определяется числом $k_j^{(i)}$. Матрицы $F_{*j}^{(i)}$ и $H_{*j}^{(i)}$ имеют канонический вид (7); $G_{*j}^{(i)} = \Phi_j^{(i)} G$, где строки матрицы $\Phi_j^{(i)}$ находятся из соотношений (8) на основе матриц $R_j^{(i)}$ и $J_j^{(i)}$; вектор выхода $y_{*j}^{(i)}$ формируется матрицей $R_j^{(i)}(y)$: $y_{*j}^{(i)} = R_j^{(i)}(y)$.

На основе подсистем по изложенным выше правилам генерируется совокупность невязок $r_{T_1}^{(1)}(t), r_{T_2}^{(2)}(t), \dots, r_{T_p}^{(p)}(t)$; для принятия решения о возникшем дефекте используется матрица синдромов S , которая определяется следующим образом. Для параметра γ_i строится вектор-синдром S_i по следующему правилу: если этот параметр входит в описание v -й подсистемы, полагаем $S_{iv} = 1$, в противном случае $S_{iv} = 0$, $i = 1, 2, \dots, s$.

Совпадение синдромов S_i и S_j для некоторых параметров γ_i и γ_j означает, что i -й и j -й дефекты в рамках рассматриваемого подхода неразличимы. В этом случае параметры γ_i и γ_j помещаются в одно множество Γ_c для некоторого c . Параметры, имеющие индивидуальные синдромы, образуют множества, включающие в себя только один параметр. В результате компоненты вектора параметров $\gamma = (\gamma_1, \gamma_s, \dots, \gamma_s)^T$ раскладываются в семейство непересекающихся множеств $\Gamma = \{\Gamma_1, \Gamma_s, \dots, \Gamma_s\}$. Матрица синдромов S строится из множества векторов-синдромов, соответствующих различным дефектам, как из столбцов.

3 Пример

Рассмотрим систему, описываемую следующей моделью:

$$\begin{aligned} x_1^+ &= \gamma_1 x_1 + \gamma_1 x_5 + \gamma_4 x_2 - x_6 + u_1 - \gamma_3 u_2, \\ x_2^+ &= \gamma_2 x_1 + \gamma_2 x_5, \\ x_3^+ &= \gamma_3 x_4 - \gamma_2 x_1 - \gamma_2 x_5 + \gamma_4 u_2, \\ x_4^+ &= x_2 + x_3 + \gamma_3 u_1, \\ x_5^+ &= x_6 + \gamma_3 u_2, \\ x_6^+ &= \gamma_4 x_5 + u_1 \end{aligned}$$

$$y_1 = x_1 + x_5, \quad y_2 = x_2 + x_3, \quad y_3 = x_5,$$

где для простоты используются обозначения $x^+ = x(t+1)$, $x = x(t)$, $u = u(t)$. Нетрудно видеть, что система имеет следующее матричное описание:

$$F = \begin{pmatrix} \gamma_1 & \gamma_4 & 0 & 0 & \gamma_1 & -1 \\ \gamma_2 & 0 & 0 & 0 & \gamma_2 & 0 \\ -\gamma_2 & 0 & 0 & \gamma_3 & -\gamma_2 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \gamma_4 & 0 \end{pmatrix}, \quad G = \begin{pmatrix} 1 & -\gamma_3 \\ 0 & 0 \\ 0 & \gamma_4 \\ \gamma_3 & 0 \\ 0 & \gamma_3 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}, \quad H = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}.$$

$$D_1 = (1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0)^T, \quad D_2 = (0 \ 1 \ -1 \ 0 \ 0 \ 0)^T,$$

$$D_3 = (-1 \ 0 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0)^T, \quad D_4 = (1 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 1)^T.$$

Для удобства дальнейших вычислений найдем матрицы

$$HF = \begin{pmatrix} \gamma_1 & \gamma_4 & 0 & 0 & \gamma_1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \gamma_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, \quad HF^2 = \begin{pmatrix} \gamma_1^2 + \gamma_2 \gamma_4 & \gamma_1 \gamma_4 & 0 & 0 & \gamma_1^2 + \gamma_2 \gamma_4 & 0 \\ 0 & \gamma_3 & \gamma_3 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \gamma_4 & 0 \end{pmatrix}.$$

Нетрудно проверить, что $k_0 = 2$.

Произведем необходимые операции для параметра γ_1 . Поскольку $HD_1 = (1 \ 0 \ 0)^T$, $HFD_1 = (\gamma_1 \ 0 \ 0)^T$, то ясно, что уравнение (13) имеет решения для строк $R_1^{(1)} = (0 \ 1 \ 0)$ и

$R_2^{(1)} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$. Так как $R_1^{(1)}HF^2 = \begin{pmatrix} 0 & \gamma_3 & \gamma_3 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}^T = \gamma_3 R_1^{(1)}H$, то $J_1^{(1)} = \begin{pmatrix} 0 \\ \gamma_3 \end{pmatrix}$; по аналогии $J_2^{(1)} = \begin{pmatrix} 0 \\ \gamma_4 \end{pmatrix}$.

Рассмотрим параметр γ_2 . Так как $HD_2 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}^T$ и $HFD_2 = \begin{pmatrix} \gamma_4 & 0 & 0 \end{pmatrix}^T$, ясно, что решение совпадает с полученным выше для параметра γ_1 .

Так как $HD_3 = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 1 \end{pmatrix}^T$ и $HFD_3 = \begin{pmatrix} 0 & \gamma_3 & 0 \end{pmatrix}^T$, ясно, что уравнение (12) имеет одно решение $R^{(3)} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \end{pmatrix}$. Из выражения $R^{(3)}HF^2 = \begin{pmatrix} \gamma_1^2 + \gamma_2\gamma_4 & \gamma_1\gamma_4 & 0 & 0 & \gamma_1^2 + \gamma_2\gamma_4 & 0 \end{pmatrix}^T = \gamma_1^2 R^{(3)}HF + \gamma_2\gamma_4 R^{(3)}H$ ясно, что $J^{(3)} = \begin{pmatrix} \gamma_1 \\ \gamma_2\gamma_4 \end{pmatrix}$.

Для четвертого дефекта $HD_4 = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 \end{pmatrix}^T$ и $HFD_4 = \begin{pmatrix} \gamma_1 & 0 & 1 \end{pmatrix}^T$; матрица R , удовлетворяющая условиям $RHD_4 = 0$ и $RHFD_4 = 0$, имеет вид $R = \begin{pmatrix} 1 & -1 & -\gamma_1 \end{pmatrix}$. Нетрудно проверить, что она не является решением уравнения (9) при $k = 2$. Приняв $k = 3$, получаем $HF^2D_4 = \begin{pmatrix} \gamma_1^2 + \gamma_2\gamma_4 & \gamma_3 & 0 \end{pmatrix}^T$, откуда ясно, что матрицы R , удовлетворяющей условиям $RHF^jD_4 = 0$ при $j = 0, 1, 2$, не существует и подсистему, инвариантную к γ_4 , построить невозможно.

Таким образом, существует три линейно независимые строки

$$R^{(1)} = R^{(3)} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \end{pmatrix}^T, \quad R^{(2)} = R_1^{(1)} = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}^T, \quad R^{(3)} = R_2^{(1)} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}^T.$$

На основе соотношений (6) и (8) найдем матрицы $\Phi^{(i)}$ и $G_*^{(i)}$, $i=1, 2, 3$:

$$\begin{aligned} \Phi^{(1)} &= \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}, \quad G_*^{(1)} = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}, \\ \Phi^{(2)} &= \begin{pmatrix} 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}, \quad G_*^{(2)} = \begin{pmatrix} 0 & \gamma_4 \\ \gamma_3^2 & 0 \end{pmatrix}, \\ \Phi^{(3)} &= \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}, \quad G_*^{(3)} = \begin{pmatrix} 0 & \gamma_3 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}. \end{aligned}$$

Приведем описания всех подсистем:

первая с $x_{*1}^{(1)} = x_1 + x_5$, $x_{*2}^{(1)} = \gamma_4 x_2$:

$$\begin{aligned} x_{*1}^{(1)+} &= x_{*2}^{(1)} + \gamma_1 y_1 + u_1, \\ x_{*2}^{(1)+} &= \gamma_2 \gamma_4 y_1, \\ y_{*1} &= x_{*1}^{(1)} = y_1; \end{aligned}$$

вторая с $x_{*1}^{(2)} = x_2 + x_3$, $x_{*2}^{(2)} = \gamma_3 x_4$:

$$\begin{aligned} x_{*1}^{(2)+} &= x_{*2}^{(2)} + \gamma_4 u_2, \\ x_{*2}^{(2)+} &= \gamma_3 y_2 + \gamma_3^2 u_1, \\ y_{*2} &= x_{*1}^{(2)} = y_2; \end{aligned}$$

третья с $x_{*1}^{(3)} = x_5$, $x_{*2}^{(3)} = x_6$:

$$\begin{aligned} x_{*1}^{(3)+} &= x_{*2}^{(3)} + \gamma_3 u_2, \\ x_{*2}^{(3)+} &= \gamma_4 y_3 + u_1, \\ y_{*2} &= x_{*1}^{(2)} = y_3. \end{aligned}$$

Из того, какие параметры входят в построенные модели подсистем, нетрудно получить матрицу синдромов S :

$$S = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \end{pmatrix},$$

откуда следует, что дефекты, соответствующие параметрам γ_1 и γ_2 , неразличимы в рамках рассматриваемого подхода.

Приведем описание первой подсистемы к вход-выходному виду:

$$\begin{aligned} y_1(t+1) &= x_{*1}^{(1)}(t+1) = x_{*2}^{(1)}(t) + \gamma_1 y_1(t) + u_1(t), \\ y_1(t+2) &= x_{*2}^{(1)}(t+1) + \gamma_1 y_1(t+1) + u_1(t+1) = \gamma_2 y_4 y_1(t) + \gamma_1 y_1(t) + u_1(t+1). \end{aligned}$$

Можно показать, что $T = 4$. Запишем последнее выражение для четырех моментов времени и скомпонуем полученные результаты:

$$(y_1(t+5) \ y_1(t+4) \ y_1(t+3) \ y_1(t+2)) = (y_2 y_4 \ y_1 \ 1) V_4^{(1)}(t),$$

где

$$V_4^{(1)}(t) = \begin{pmatrix} y_1(t+3) & y_1(t+2) & y_1(t+1) & y_1(t) \\ y_1(t+4) & y_1(t+3) & y_1(t+2) & y_1(t+1) \\ u_1(t+4) & u_1(t+3) & u_1(t+2) & u_1(t+1) \end{pmatrix}.$$

Матрицы $V_4^{(2)}(t)$ и $V_4^{(3)}(t)$ строятся аналогичным образом.

Заключение

В работе предложен новый метод решения задачи поиска дефектов для технических систем, описываемых линейными моделями, на основе непараметрического метода. Особенность этого метода состоит в том, что все или некоторые параметры объекта диагностирования могут быть неизвестными, но все необходимые вычисления должно производиться непосредственно в процессе диагностирования в реальном масштабе времени.. Предлагаемый в работе подход к поиску дефектов базируется на декомпозиции исходной системы на подсистемы и решении задачи диагностирования для каждой из них.

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект №16-09-00046).

Список литературы

- [1] Мироновский Л.А. Функциональное диагностирование динамических систем. М.-СПб.: МГУ-ГРИФ, 1998.
- [2] Жирабок А.Н., Кучер Д.Н., Филаретов В.Ф. Обеспечение робастности при диагностировании нелинейных систем // Автоматика и телемеханика. 2010. № 1. С.159-173.
- [3] Квакераак Х., Сиван Р. Линейные оптимальные системы управления. Москва: Мир, 1977.
- [4] Шумский А.Е., Жирабок А.Н. Методы и алгоритмы диагностирования и отказоустойчивого управления динамическими системами. Владивосток: ДВГТУ, 2009.
- [5] Шумский А. Функциональное диагностирование нелинейных динамических систем с запаздыванием // Автоматика и телемеханика. 2009. № 2. С. 172-184.
- [6] Ding S. Data-driven design of fault diagnosis and fault-tolerant control systems. London: Springer-Verlag, 2014.
- [7] Frank P. Fault diagnosis in dynamic systems using analytical and knowledge-based redundancy. A survey and some new results // Automatica. 1990. V. 26. P. 459-474.
- [8] Simani S., Fantuzzi C., Patton R. Model-based fault diagnosis in dynamic systems using identification. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2002.
- [9] Zhirabok A., Pavlov S. Data-driven method for fault isolation in technical systems // Proc. 2015 Int. Conference on Process Control. 9-12 June, 2015. Strbske Pleso, Slovakia. P. 290-295.

СИСТЕМА ИЗМЕРЕНИЯ РАДИАЛЬНЫХ И ОСЕВЫХ СМЕЩЕНИЙ ТОРЦОВ ЛОПАТОК В ГАЗОВОЗДУШНОМ ТРАКТЕ ТУРБИНЫ

В.Н. Белопухов, С.Ю. Боровик, М.М. Кутейникова, П.Е. Подлипнов,
Б.К. Райков, Ю.Н. Секисов, О.П. Скобелев

Институт проблем управления сложными системами РАН
443020, Самара, ул. Садовая, 61, Россия
borovik@iccs.ru
тел: +7 (846) 333-26-77, факс: +7 (846) 333-27-70

Ключевые слова: радиальные и осевые смещения, лопатки, турбина, одновитковый вихреветковый датчик, кластер, система измерения.

Abstract

The paper reviews hardware and software of the system, designed to measuring of radial and axial displacements of turbine blades tips with complex shape. The system is basis on using of clusters of single-coil eddy-current sensors with sensitive elements made as a conductor section, which are mounted in special manner on turbine stator.

Известна система аналогичного назначения, в которой реализован метод измерения радиальных и осевых смещений торцов лопаток сложной формы, применяемых в турбинах ГТД (*meth 1*), предусматривающий размещение кластера одновитковых вихреветковых датчиков (ОВТД) в хвостовой части лопатки «квазипараллельно» чувствительным элементам (ЧЭ) датчиков и боковым поверхностям [1-3]. В системе измерения, рассматриваемой в докладе, реализован вновь разработанный метод (*meth 2*), обеспечивающий по сравнению с *meth 1* вдвое большую чувствительность к радиальным смещениям (радиальным зазорам, РЗ) и расширение диапазона измерения осевых смещений в пять раз за счёт размещения кластера ОВТД в головной части лопатки и «квазипараллельности» ЧЭ её боковым поверхностям [4, 5].

В докладе рассматриваются разработанные технические и программные средства системы и её действующего макета. В состав технических средств входят ОВТД, ориентированные на применение в турбинах, в которые введены дополнительные термопары для коррекции погрешности измерения температуры ЧЭ датчиков. Кроме того, в отличие от системы [1], в устройстве предварительной обработки данных АЦП на выходе измерительной цепи с приближенным дифференцированием [6], использован микроконтроллер с расширенным объемом памяти и повышенным быстродействием. В состав программного обеспечения включены новые разработки, реализующие алгоритмы аддитивного сжатия данных, поиска экстремальных значений кодов или их вычисления при использовании аппроксимирующих функций, а также вспомогательные программы поддержки функционирования системы в двух режимах, реализующих не только *meth 2*, но и *meth 1* (по выбору пользователя).

Были проведены экспериментальные исследования действующего макета системы измерения для оценки метрологических показателей (в статическом режиме) и работоспособности системы (в динамике). Даны количественные оценки наиболее значимых показателей - систематической и случайной составляющих погрешности. Показано, что систематическая составляющая погрешности, найденная как разность значений кодов семейства градуировочных характеристик (ГХ), представленных в табличном виде семейством полиномиальных функций двух переменных, аппроксимирующих ГХ в «узлах» таблиц, не превышает 0,06%, а в промежутках между «узлами» - 0,4%. При этом приведенные оценки систематической составляющей погрешности получены при использовании *meth 1*. Показано также, что при использова-

нии *meth 2*, для которого характерна немонотонность ГХ, систематические составляющие погрешности возрастают в промежутках между «узлами» таблиц, достигая 1,2%, но остаются незначительными в «узлах» (менее 0,03%). Кроме того, в процессе экспериментальных исследований случайных погрешностей было установлено, что они составляют около 0,2% как для *meth 1*, так и для *meth 2*.

Был разработан и изготовлен имитатор объекта (на базе токарного станка промышленного производства), который содержит имитатор рабочего колеса (ИРК) с тремя лопатками, предназначенными для применения в турбине, а также имитатор статора (ИС) с расположенным на нем кластером из двух ОВТД. Имитатор объекта предназначен для оценки работоспособности аппаратно-программных средств системы, включая завершающую программу, реализующую алгоритм вычисления радиальных и осевых смещений торцов лопаток (координат смещения торцов лопаток *x* и *y*).

Предложена методика оценки работоспособности аппаратно-программных средств системы, предусматривающая ряд последовательных операций - получение семейства ГХ с помощью имитатора объекта (в динамике, т.е. в процессе вращения ИРК), ввод табличных данных о ГХ (как исходных данных для расчета искомых координат), установку и ввод тестовых значений *x*, *y*-координат, а также их сравнение с полученными результатами вычислений тех же координат. Вместе с тем, результаты сравнения в виде разности тестовых и вычисленных значений одноименных координат, выраженные в процентах от диапазонов изменений соответствующих координат нельзя рассматривать как количественные оценки метрологических показателей системы, что связано с серьезными упрощающими допущениями и ограниченными технологическими возможностями изготовления ИРК и ИС, а также проведением исследований в динамическом режиме. Однако предложенная методика обеспечивает вполне достоверные оценки работоспособности всех компонентов аппаратно-программных средств и системы в целом. Показано, что разность заданных тестовых и вычисленных значений *y*-координаты (РЗ) при использовании в системе *meth 1* и *meth 2* незначительно отличаются друг от друга, не превышая 3,75% и 5,5% соответственно. Что же касается *x*-координаты, то разностные значения для *meth 2* в несколько раз меньше, чем для *meth 1* (2,4% и 12%, соответственно), что связано с увеличенным диапазоном изменений *x*-координаты при использовании *meth 2*.

Список литературы

- [1] Беленький Л.Б., Кутейникова М.М., Райков Б.К., Секисов Ю.Н., Скобелев О.П. Способ измерения радиальных зазоров и осевых смещений торцов лопаток рабочего колеса турбины // Патент РФ 2457432. 2012. Бюл. 21.
- [2] Беленький Л.Б., Боровик С.Ю., Белопухов В.Н., Кутейникова М.М., Райков Б.К., Секисов Ю.Н., Скобелев О.П. Технические средства и программное обеспечение системы измерения радиальных и осевых смещений торцов лопаток сложной формы и скорости вращения лопаточного колеса // Тр. XV Междунар. конф. Проблемы управления и моделирования в сложных системах. –Самара: Изд-во СамНЦ РАН, 2013. –С. 655-662.
- [3] Боровик С.Ю., Кутейникова М.М., Райков Б.В., Секисов Ю.Н., Скобелев О.П. Измерение радиальных зазоров между статором турбины и торцами лопаток сложной формы с помощью одновитковых вихреветковых датчиков // Мехатроника, автоматизация, управление, -2013. -№10. -С. 38-46.
- [4] Боровик С.Ю., Кутейникова М.М., Райков Б.К., Секисов Ю.Н., Скобелев О.П. Метод измерения радиальных и осевых смещений торцов лопаток сложной формы с повышенной чувствительностью и в расширенном диапазоне // Автометрия. -2015. -№3.
- [5] Боровик С.Ю., Кутейникова М.М., Подлипнов П.Е., Райков Б.К., Секисов Ю.Н., Скобелев О.П. Метод измерения радиальных и осевых смещений торцов лопаток сложной формы и результаты его исследований // Тр. XVII Междунар. конф. Проблемы управления и моделирования в сложных системах. –Самара: Изд-во СамНЦ РАН, 2015. –С. 683-684.
- [6] Беленький Л.Б., Скобелев О.П. Измерительная цепь с одновитковыми вихреветковыми датчиками и приближенным дифференцированием // Тр. XIV Междунар. конф. «Проблемы управления и моделирования в сложных системах». –Самара: СамНЦ РАН, 2012. –С.602-606.

ПОГРЕШНОСТИ СИСТЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ РАДИАЛЬНЫХ И ОСЕВЫХ СМЕЩЕНИЙ ТОРЦОВ ЛОПАТОК В ТУРБИНЕ

С.Ю. Боровик, М.М. Кутейникова, Ю.Н. Секисов, О.П. Скобелев

Институт проблем управления сложными системами РАН
443020, Самара, ул. Садовая, 61, Россия

borovik@iccs.ru
тел: +7 (846) 333-26-77, факс: +7 (846) 333-27-70

Ключевые слова: радиальные и осевые смещения торцов лопаток, одновитковый вихреветочный датчик, кластер, система измерения, погрешности.

Abstract

The paper reviews three kinds of errors which are possible at turbine blades tips radial and axial displacements measurements on basis of single-coil eddy-current sensors with sensitive elements made as a conductor section.

Введение

Рассматриваются три вида ранее неизученных погрешностей системы измерения, в которой используется кластер из двух одновитковых вихреветочных датчиков (ОВТД) с чувствительными элементами (ЧЭ) в виде отрезка проводника, размещенными непосредственно в газовоздушном тракте турбины:

- погрешности, связанные с изменением температуры в газовоздушном тракте до 1000°C;
- погрешности, связанные с изменением частоты импульсного питания измерительной цепи (ИЦ) и скорости вращения колеса турбины;
- погрешности алгоритма вычисления радиальных и осевых смещений (координат y и x , соответственно в декартовой системе координат $OXYZ$, где направление оси Z совпадает с направлением вращения рабочего колеса).

1 Температурные погрешности

Исследовано влияние температуры в газовоздушном тракте турбины на эквивалентные индуктивности ЧЭ и первичных обмоток согласующих трансформаторов (СТ) ОВТД, а также на цифровые коды АЦП на выходе ИЦ.

С помощью модели электромагнитного взаимодействия (ЭМВ) ЧЭ с торцевой частью лопатки [1] получены количественные оценки влияния температуры на эквивалентные индуктивности ЧЭ и первичных обмоток СТ. Показано, что при изменении температуры от 20°C до 1000°C изменения эквивалентных индуктивностей, связанные с воздействием температуры на удельное сопротивление материала лопатки достигают почти 0,5% и более чем на порядок превышают изменения, связанные с температурными воздействиями на линейные размеры лопаток (в направлениях осей системы отсчета).

Вместе с тем, непосредственное воздействие температуры на ОВТД (точнее на его элементы конструкции) при отсутствии лопатки в зоне чувствительности датчика и в том же диапазоне (20-1000°C) приводит к намного большим изменениям эквивалентной индуктивности первичной обмотки СТ, которые составляют примерно 5%.

Проведенный приближенный анализ ИЦ в предположении отсутствия лопатки в зоне чувствительности датчика и воздействии температуры непосредственно на датчик показал смещение выходного кода (C_0) в сторону уменьшения на те же 5% при изменении температу-

ры до 1000°C. Такое смещение кода сохраняется и при наличии лопатки в зонах чувствительности обоих датчиков в составе кластера и может оказать негативное влияние на идентификацию кодов, связанных с ОВТД₁ и ОВТД₂, выполняющими рабочие функции (C_1 и C_2 , соответственно) в процессе функционирования системы измерения ($C_1 > C_0$, $C_2 < C_0$).

Предложены способы устранения влияния температурных воздействий на ОВТД, предусматривающие использование информации о температуре со встроенных в ОВТД термопар (ТП), а также аппаратных и алгоритмических средств термокоррекции.

Кроме того, приближенный анализ показал, что температурные воздействия на контролируемую лопатку и далее на эквивалентные индуктивности ЧЭ, выполняющих рабочие функции, в конечном счете приводят к уменьшению кодов C_1 и увеличению кодов C_2 . Это подтверждают результаты вычислительных экспериментов, проведенных на модели ИЦ, исходными данными для которой были результаты моделирования ЭМВ ЧЭ и торцевой части лопатки. Предполагалось, что температура воздействует как на ОВТД, так и на контролируемую лопатку, причем в системе измерения используются предложенные способы коррекции температурных воздействий на ОВТД. Получены семейства функций преобразования (ФП) при температуре 1000°C, а с учетом ФП при нормальной температуре (20°C) вычислены семейства функций влияния (ФВ) температуры, характеризующие возможные температурные погрешности. Показано, что коды C_1 и C_2 остаются в установленных пределах. При этом ФВ температуры не превышают 10%, оставаясь примерно равными для ОВТД₁ (C_1) и ОВТД₂ (C_2) (равенство ФВ нарушается при отсутствии коррекции температурных воздействий на ОВТД - одна из ФВ возрастает почти вдвое (до 18%)).

Возможные температурные погрешности могут быть в значительной степени уменьшены благодаря известной методике, предусматривающей использование специально разработанного оборудования (градуировочного устройства и термокамеры), обеспечивающего экспериментальное получение семейств градуировочных характеристик (Γ_X , $C_1(x,y,\Theta)$, $C_2(x,y,\Theta)$), а также текущей информации о температуре (Θ) с ТП, встроенных в ОВТД [2, 3].

Вместе с тем, исследования погрешности измерения ТП температуры ЧЭ (а, следовательно, и температуры среды в газовоздушном тракте), выявили значительную погрешность, которая составляет 10÷20% и более, что связано с вынужденной удаленностью горячего спая (Γ_{Cp}) ТП от ЧЭ. Предложен способ уменьшения температурной погрешности, предусматривающий применение дополнительной ТП, встроенной в датчик, Γ_{Cp} которой размещается в конце токовода (ТВ) в месте контакта с объёмным витком СТ. Предусматривается также расчет температуры ЧЭ с помощью модели передачи тепла в ТВ и значений температур в точках размещения Γ_{Cp} обеих ТП. Проведенные экспериментальные исследования предложенного способа показали его высокую эффективность - погрешности измерения температуры ЧЭ в диапазоне от 100 до 500°C за редким исключением не превышают 2,5% [4, 5].

2 Погрешности, связанные с изменениями частоты импульсного питания ИЦ и скорости вращения рабочего колеса турбины

Искомая погрешность определяется разностью экстремальных значений цифровых кодов, полученных в идеальной ИЦ (с периодом и длительностью импульсов питания, стремящимися к нулю) и кодами в реально существующей ИЦ (при этом экстремальные значения кодов получены в процессе моделирования зависимости кодов от координаты z при заданных значениях координат x и y).

Вычислительные эксперименты проводились в диапазонах изменения частоты импульсного питания от $1 \cdot 10^6$ до $10 \cdot 10^6$ Гц и скорости вращения рабочего колеса от 3000 до 21000 об/мин. Как и ожидалось погрешности возрастают с уменьшением частоты питания и увеличением скорости вращения рабочего колеса. Количественные оценки максимальных погрешностей показали почти 4%. Вместе с тем, применение алгоритмов аппроксимации выборок

кодов и вычисления экстремальных значений аппроксимирующих функций позволяет существенно уменьшить такие погрешности (до величины менее 0,1%).

3 Погрешности алгоритма вычисления x, y -координат смещений торцов лопаток

Описание алгоритма приведено в работах [6, 7], а для оценки указанной составляющей погрешности выбиралось семейство ФП в виде зависимостей кодов от x, y -координат, заданных аналитически (т.е. формулами), которые используются для получения градуировочных таблиц (ГТ) с варьируемыми значениями шага ($x_{ш}$ и $y_{ш}$). При этом важным условием выбора такого семейства является подобие прототипу - семейству ГХ, полученному экспериментально (с использованием турбинной лопатки), которое, в свою очередь, выбрано из множества семейств ГХ по нескольким критериям подобия (немонотонности зависимостей кодов от координаты x при наличии выраженных экстремумов и, напротив, монотонности зависимостей кодов от координаты y , одинаковых диапазонов изменений координат x, y соответственно и др.).

Для количественной оценки искомых погрешностей (в выбранном семействе ФП) при выбранных значениях $x_{ш}$ и $y_{ш}$ составляется ГТ. Для одной из «ячеек» ГТ и её центра (с координатами $x_{ц}$ и $y_{ц}$) находятся соответствующие коды ($C_{1ц}$ и $C_{2ц}$). Исходные данные (ГТ, а также коды $C_{1ц}$ и $C_{2ц}$) вводятся в программу вычисления координат, обеспечивающую получение расчетных значений координат центра выбранной «ячейки» ($x_{цр}$ и $y_{цр}$). Разности $x_{ц}-x_{цр}$ и $y_{ц}-y_{цр}$ определяют искомые погрешности как для выбранной, так и для остальных «ячеек» ГТ. Показано, что при изменении $x_{ш}$ в пределах от 0,2 до 1 мм и $y_{ш}$ от 0,1 до 0,5 мм погрешность вычисления по координате x возрастает, но остается менее 1%. В тех же диапазонах изменений $x_{ш}$ и $y_{ш}$ погрешность вычисления y -координаты при выбранном $y_{ш}$ незначительно зависит от $x_{ш}$ и, напротив, при выбранном $x_{ш}$ существенно возрастает (примерно до 3,5%), причем указанный рост наблюдается при всех выбранных значениях $x_{ш}$.

Кроме того, проведены дополнительные исследования распределения погрешностей вычисления x, y -координат внутри «ячеек» ГТ. При выбранном шаге, составляющем малые доли $x_{ш}$ и $y_{ш}$ показано, что погрешности вычисления возрастают до максимального значения в центре «ячейки» и уменьшаются до нуля на ее границах (и это также соответствует ожидаемым результатам).

Количественные оценки погрешней вычисления x, y -координат имеют важную практическую значимость для выбора шага ($x_{ш}$ и $y_{ш}$) при экспериментальном получении семейства ГХ, когда указанная погрешность не должна превышать допустимых значений.

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант №14-08-00802).

Список литературы

- [1] Кутейникова М.М., Секисов Ю.Н., Скobelев О.П. Модель электромагнитного взаимодействия чувствительного элемента одновиткового вихревого датчика с торцом лопатки сложной формы // Тр. XV Междунар. конф. «Проблемы управления и моделирования в сложных системах»: -Самара: СамНЦ РАН, 2013. -с.627-635.
- [2] Методы и средства измерения многомерных перемещений элементов конструкций силовых установок / под ред. Секисова Ю.Н., Скobelева О.П. –Самара: Изд-во СамНЦ РАН, 2001. -188 с.
- [3] Кластерные методы и средства измерения деформаций статора и координат смещений торцов лопаток и лопастей в газотурбинных двигателях / под общ. ред. Скobelева О.П. –М.: Машиностроение, 2011. -298с.
- [4] Патент 2519844 С2 РФ, МПК G01B 7/14 Способ уменьшения температурной погрешности измерения многокоординатных смещений торцов лопаток одновитковым вихревиковым преобразователем / Л.Б. Беленький, С.Ю. Боровик, М.М. Кутейникова, Ю.Н. Секисов, О.П. Скobelев – 2012133371/28; Заявл. 03.08.2012; Опубл. 20.06.2014, бюл. 17.

- [5] Боровик С.Ю., Кутейникова М.М., Райков Б.К., Секисов О.П., Скобелев О.П. Экспериментальная оценка погрешности измерения температуры чувствительного элемента одновиткового вихревокового датчика // Вестник СамГТУ. Серия «Технические науки». №1(41). -2014. -с. 38-43.
- [6] Кутейникова М.М., Секисов Ю.Н. Алгоритм вычисления радиальных и осевых смещений торцов лопаток // Тр. XVI Междунар. конф. «Проблемы управления и моделирования в сложных системах». Самара: СамНЦ РАН, 2010. -С. 323-327.
- [7] Кутейникова М.М. Вычисление координат смещения торцов лопаток в системе измерения радиальных зазоров // Материалы X Всероссийской школы-конференции молодых ученых «Управление большими системами». Т.3. Уфа: УГАТУ,2013. С.157-161.

Author index

Индекс авторов

А

- Абросимов В.К., 237
Алексеев А.О., 85, 91
Алексеева И.Е., 85
Анисимов А.С., 207
Антонов А.Н., 132
Арпентьева М.Р., 39

Б

- Батищев В.И., 299, 304
Бежаева О.Я., 271
Белоконь С.А., 374, 380, 389
Белопухов В.Н., 442
Бесова Л.С., 216
Блинова Д.В., 265
Болховецкий А.С., 346
Боргест Н.М., 113
Боровик С.Ю., 442, 444
Будаев Д.С., 180
Бухвалов О.Л., 137

В

- Виноградов Г.П., 63
Виноградова Н.Г., 63

Виттих В.А., 14, 33, 53

Волков И.И., 304
Вощук Г.Ю., 180

Г

Галицков К.С., 351, 360
Галицков С.Я., 346
Гвоздев В.Е., 258, 265, 271
Герасимов П.Н., 202
Голобородько П.Н., 132
Городецкий В.И., 137
Гребешков А.Ю., 202
Губанов Н.Г., 299
Гусев Н.А., 180

Д

Дементьев Ю.Н., 277
Деришев Д.С., 374, 396
Деришев С.Г., 396
Дилигенская А.Н., 317

Ж

Жиляев А.А., 163
Жирабок А.Н., 434

З		
Захаров П.А.,	367	Любинский В.Е., 123
Золин А.Г.,	304	Ляпунов Д.Ю., 277
Золотухин Ю.Н.,	374, 380, 389	М
Золотухина М.А.,	374	Майоров И.В., 137, 171, 191
		Малахова А.Н., 291
И		Мальцев А.С., 406, 415
Иваницкий Г.П.,	13	Массель А.Г., 245, 253
Ильясов Б.Г.,	340	Массель Л.В., 245
		Матюшин М.М., 367
К		Милованова А.М., 410
Кожевников С.С.,	202, 216	Митрошин В.Н., 333
Котов К.Ю.,	406, 410	Михайлов В.В., 421
Кощеев А.Б.,	396	Михелькевич В.Н., 346
Кривогина Д.Н.,	97	Моисеева Т.В., 53
Кузьмин Д.В.,	421	Мочалкин А.Н., 180
Кутейникова М.М.,	442, 444	Мулюков Р.Р., 291
		Н
Л		
Лада А.Н.,	171	Назаров М.А., 351
Ларюхин В.Б.,	191, 207	Непомнящий В.А., 308
Лахин О.И.,	123, 132, 207	Нестеров А.А., 380, 389, 406
Лашин В.С.,	430	
Левин Е.С.,	191	О
Любимов В.В.,	430	Овчинников В.Г., 216
		Осипов И.В., 216

П			
Павлов О.В.,	103	Соболев М.А.,	406, 410
Павлов С.В.,	434	Соколов Н.Л.,	367
Плещивцева Ю.Э.,	317	Соловьёв В.А.,	123
Подлипнов П.Е.,	442	Соловьёва Т.Н.,	421
		Спирина В.С.,	91
		Стененко А.А.,	308
		Субхангулова А.С.,	271
Р			
Райков Б.К.,	442	Т	
Рапопорт Э.Я.,	317	Тарасов А.З.,	396
Рассадникова Е.Ю.,	284	Травин В.С.,	163
Ржевский Г.А.,	3		
С		Ф	
Сабитов И.И.,	340	Фадеев А.С.,	356
Сабуров В.В.,	356	Федорова Н.И.,	258
Сазонов В.В.,	171, 191	Филиппов М.Н.,	374
Саитова Г.А.,	340		
Секисов Ю.Н.,	442, 444	Х	
Семенюк Е.Д.,	410	Харичев А.Е.,	132
Сергеев С.Ф.,	107		
Сергеева А.С.,	107	Ц	
Симонова Е.В.,	163, 216	Цапенко М.В.,	72
Скobelев П.О.,	3, 123, 137, 171	Царёв А.В.,	223
Скobelев О.П.,	442, 444	Цупа А.Е.,	415
Сметанина О.Н.,	284		
Смирнов С.В.,	113		

Ч

Черняховская Л.Р., 258, 265, 291

Чехов А.Б., 132, 191

Ш

Ширяева О.В., 202

Шумский А.Е., 434

Ю

Юрыгина Ю.С., 132, 207

Юсупова Н.И., 284

Я

Ян А.П., 374, 406

Янковская А.Е., 277

Д

Di Barba P., 325

Dughiero F., 325

F

Forzan M., 325

I

Ivanov A.B., 21

M

Mau J., 23

Mehandjiev N., 29

S

Sieni E., 325

Научное издание

Труды XVIII Международной конференции

**ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ
И МОДЕЛИРОВАНИЯ В СЛОЖНЫХ СИСТЕМАХ**

20-25 сентября 2016, Самара, Россия

Редакторы:

академик Е.А. Федосов

академик Н.А. Кузнецов

профессор В.А. Виттих

Proceedings of the XVIII International Conference

**COMPLEX SYSTEMS:
CONTROL AND MODELING PROBLEMS**

September 20-25, 2016, Samara, Russia

Editors:

academician E.A. Fedosov

academician N.A. Kuznetsov

professor V.A. Vittikh

Подписано в печать 08.08.2016 г.

Формат 70x100/16. Бумага офсетная. Печать офсетная.

Объем 37,7 усл. печ. л. Тираж экз. Заказ № 1152.

Издательство ООО «Офорт».

443080, г. Самара, ул. Революционная, 70, литеру П.

Тел.: 372-00-56, 372-00-57, 931-98-59.

E-mail: ofort-samara@mail.ru.

Отпечатано в типографии ООО «Офорт».