

Российская академия наук
Самарский научный центр
Институт проблем управления сложными системами

Труды XIII Международной конференции
Proceedings of the XIII International Conference

ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЯ В СЛОЖНЫХ СИСТЕМАХ

COMPLEX SYSTEMS: CONTROL AND MODELING PROBLEMS

15-17 июня 2011, Самара, Россия

June 15-17, 2011, 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**

Проблемы управления и моделирования в сложных системах:

Труды XIII Международной конференции (15-27 июня 2011 г. Самара, Россия)

/Под ред.: акад. **Е.А. Федосова**, акад. **Н.А. Кузнецова**, проф. **В.А. Виттиха**.

-Самара: Самарский научный центр РАН, 2011. - 588 с.

ISBN 978-5-93424-528-4

В предлагаемом сборнике содержатся труды XIII Международной конференции «Проблемы управления и моделирования в сложных системах», распределенные по следующим направлениям: системный анализ и теория управления, управление и измерения в сложных технических системах, социальная самоорганизация, новые информационные технологии в управлении.

ISBN 978-5-93424-528-4

- © Учреждение Российской академии наук Институт проблем управления сложными системами РАН, составление, оформление, 2011
- © Все права принадлежат авторам публикуемых работ, 2011

The XIII International Conference “Complex Systems: Control and Modeling Problems” (CSCMP’2011), was held on June 15–17, 2011 in Samara (Russia) by the International Association for Mathematics and Computers in Simulation (IMACS), National Committee of Automatic Control of Russia, Samara Scientific Centre of RAS, Institute for the Control of Complex Systems (ICCS) of RAS with the participation of the Volga Region University of Telecommunications and Informatics and Smart Solutions Company (Samara, RF).

The Conference was funded according to the project № 11-08-06051 of Russian Foundation for Basic Research.

The conference reports were presented on the following sections:

- System Analysis and Control Theory;
- Control and Measurement in Complex Technical Systems;
- Social Self-organization;
- New Information Technologies in Control and Management.

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

ХIII Международная конференция «Проблемы управления и моделирования в сложных системах» (ПУМСС-2011) проводилась в г. Самаре (Россия) 15-17 июня 2011 года Международной ассоциацией по математическому и компьютерному моделированию (IMACS), Российским Национальным комитетом по автоматическому управлению, Самарским научным центром РАН, Институтом проблем управления сложными системами (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 № 11-08-06051).

На Конференции были представлены доклады по следующим секциям:

- системный анализ и теория управления;
- управление и измерения в сложных технических системах;
- социальная самоорганизация;
- новые информационные технологии в управлении.

В Конференции приняли участие ученые из университетов и научных учреждений Великобритании, Германии, США, Италии. Отечественные ученые представляли Российскую академию наук, вузы, научно-производственные объединения и промышленные предприятия страны, органы государственной власти.

ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ КОНФЕРЕНЦИИ

1. *Федосов Е.А.* - академик РАН, председатель Программного комитета
2. *Виттих В.А.* - д.т.н., заместитель председателя, ИПУСС РАН, г. Самара
3. *Боровик С.Ю.* - к.т.н., ученый секретарь, ИПУСС РАН, г. Самара
4. *Анишаков Г.П.* - член-корреспондент РАН
5. *Васильев С.Н.* - академик РАН
6. *Вишиневецкий Р.* - президент IMACS, профессор Университета Радгерса, г. Нью-Йорк, США
7. *Инден У.* - профессор Кельнского университета, г. Кельн, Германия
8. *Клименко А.В.* - к.э.н., проректор Государственного университета – Высшей школы экономики, г. Москва
9. *Кузнецов Н.А.* - академик РАН
10. *Новиков Д.А.* - член-корреспондент РАН
11. *Рапопорт Э.Я.* - д.т.н., ИПУСС РАН, г. Самара
12. *Ржевский Г.А.* - профессор Открытого университета, г. Лондон, Великобритания
13. *Себряков Г.Г.* - член-корреспондент РАН
14. *Смирнов С.В.* - д.т.н., ИПУСС РАН, г. Самара
15. *Тарасенко Ф.П.* - д.т.н., Национальный исследовательский Томский государственный университет
16. *Теряев Е.Д.* - член-корреспондент РАН
17. *Шорин В.П.* - академик РАН

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ КОНФЕРЕНЦИИ

1. *Виттих В.А.* - д.т.н., председатель Организационного комитета, ИПУСС РАН, г. Самара
2. *Смирнов С.В.* - д.т.н., заместитель председателя, ИПУСС РАН, г. Самара
3. *Боровик С.Ю.* - к.т.н., ученый секретарь, ИПУСС РАН, г. Самара
4. *Андреев В.А.* - д.т.н., Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, г. Самара
5. *Гриценко Е.А.* - заместитель министра здравоохранения и социального развития Самарской области, руководитель департамента развития информационных технологий и организации социальных выплат
6. *Горелов Ю.Н.* - д.т.н., ИПУСС РАН, г. Самара
7. *Дилигенский Н.В.* - д.т.н., ИПУСС РАН, г. Самара
8. *Задирако И.Н.* - к.э.н., заместитель генерального директора ФГУ «Объединение «Росинформресурс» Минпромэнерго России, г. Москва
9. *Загоруйко Ю.А.* - к.т.н., Институт систем информатики им. А.П. Ершова СО РАН, г. Новосибирск
10. *Золотухин Ю.Н.* - д.т.н., Институт автоматики и электрометрии СО РАН г. Новосибирск
11. *Ильясов Б.Г.* - д.т.н., Уфимский государственный авиационный технический университет
12. *Клецев А.С.* - д.ф.-м.н., Институт автоматики и процессов управления ДВО РАН, г. Владивосток
13. *Козырев О.Р.* - к.ф.-м.н., директор Нижегородского филиала Государственного университета – Высшей школы экономики
14. *Кузнецов С.В.* - зам. директора ИПУСС РАН, г. Самара
15. *Лазарев Ю.Н.* - д.т.н., Самарский научный центр РАН
16. *Скобелев П.О.* - д.т.н., НПК «Разумные решения», г. Самара

CONTENTS СОДЕРЖАНИЕ

Plenary Papers

Пленарные доклады

1. *G. Rzevski* 3
Self-organization Versus Control in Complex Social Systems
2. *B.A. Bumtux* 10
Механизмы социальной самоорганизации
3. *Е.Д. Теряев, К.В. Петрин, А.Б. Филимонов, Н.Б. Филимонов* 18
Развитие концепции гибких траекторий в задачах терминального управления подвижными объектами
4. *U. Inden* 24
On Changes in Knowledge-based Competition
5. *Э.Я. Рапопорт* 30
К задаче оптимального проектирования систем с распределенными параметрами
6. *V. Rudnev* 43
Mathematical Modeling and Optimal Control of Induction Heating: Challenges Poses by Modern Technology

System Analysis and Control Theory

Системный анализ и теория управления

1. *E. Baake, M. Mach* 55
Increasing the Variability of Warm Forging Processes by Implementation of Intermediate Induction Heating
2. *O. Pesteanu, E. Baake* 63
New Methods for Stirring, Positioning and Levitation in Electromagnetic Field
3. *B. Nacke, S. Wipprecht* 68
3D Electromagnetic and Thermal Modelling of the EFG Process for Silicon Tube Growth
4. *P. Di Barba, A. Nikanorov, M. Forzan, Yu. Pleshivtseva* 74
Simulation and Multiobjective Design Optimization of Induction Heaters
5. *Ю.Е. Плешивцева, О.Ю. Шаранова, В.А. Медникова* 78
Сравнительный анализ программных продуктов ANSYS и Cedrat FLUX на примере моделирования проходной индукционной нагревательной установки
6. *Г.П. Нутипанова, С.В. Смирнов* 85
Онтологический анализ предметной области задачи базирования детали

7.	<i>Н.В. Дилигенский, М.В. Цапенко, А.Н. Давыдов</i> Методология и технологии формирования и классификации знаний о деятельности научных коллективов	95
8.	<i>А.Б. Филимонов, Н.Б. Филимонов</i> О мнимых превосходствах алгоритмов нечеткого регулирования	104
9.	<i>Ф.П. Тарасенко</i> Четыре типа связей в моделировании реальности	110
10.	<i>И.А. Данилушкин, С.А. Колпацников</i> Управление объектами с распределенными параметрами с использованием аппарата нечёткой логики	115
11.	<i>А.Н. Дилигенская</i> Идентификация детерминированных хаотических процессов с использованием базиса нерегулярных функций	121
12.	<i>Б.Г. Ильясов, Г.А. Саитова, И.И. Сабитов</i> Анализ многосвязных систем управления с нелинейной коррекцией подсистем	127
13.	<i>Б.Г. Ильясов, И.В. Дегтярева, Е.А. Макарова, А.Н. Павлова, Т.А. Карташёва</i> Исследование динамики макроэкономического кругооборота финансовых пото- ков с учетом взаимосвязанного функционирования рынков благ, труда и денег	131
14.	<i>В.О. Корепанов</i> Тестирование примера эвакуации с рефлексивными агентами в агентной среде моделирования	142
15.	<i>В.Е. Гвоздев, Г.И. Таназлы</i> Многомерная модель сложной системы	147
16.	<i>В.Е. Гвоздев, М.А. Абдрафиков</i> Интервальное оценивание граничных значений характеристик надежности технических объектов	153
17.	<i>В.И. Батищев, Н.Г. Губанов</i> Категорные методы системного моделирования транспортной инфраструктуры города	159
18.	<i>А.М. Кистанов</i> Практика, проблемы и модели нумерации структурных элементов кредитной организации в свете учения А.Ф. Лосева о числе	165
19.	<i>А.З. Асанов, Д.Н. Демьянов</i> Использование технологии канонизации матриц для формирования спектра сис- темных нулей методами модального управления	171
20.	<i>А.З. Асанов, В.С. Каримов</i> Разработка алгоритма управления многосвязным объектом с запаздываниями по выходу с применением наблюдающего устройства	177
21.	<i>А.З. Асанов, Л.З. Гумерова</i> Основные свойства образовательной среды как системы	183

22.	<i>С.В. Феофилов, А.И. Неклюдов</i> Методы и алгоритмы синтеза оптимальных по точности и быстродействию следящих приводов	188
23.	<i>Л.Л. Чекалов</i> Изменение восприятия субъектом внешнего пространства и времени в ходе эволюции живой материи	196
24.	<i>В.П. Офицеров, Ю.В. Фролов, М.В. Офицеров</i> Об управлении кадровым обеспечением школьных и дошкольных образова- тельных учреждений на основе моделирования	204
25.	<i>В.А. Соболев, М.С. Осинцев</i> Понижение размерности задач оценивания для систем твердых тел с малой диссипацией	209

Control and Measurement in Complex Technical Systems **Управление и измерения в сложных технических системах**

1.	<i>С.А. Белоконь, Ю.Н. Золотухин, А.А. Нестеров, М.Н. Филиппов</i> Управление квадрокоптером на основе организации движения по желаемой траектории в пространстве состояний	217
2.	<i>Ю.Н. Золотухин, К.Ю. Котов, А.С. Мальцев, А.А. Нестеров, М.Н. Филиппов</i> Компенсация транспортного запаздывания при управлении траекторным движением группы мобильных объектов	223
3.	<i>К.Ю. Котов, А.С. Мальцев, М.А. Соболев, М.Н. Филиппов</i> Совместное использование одометрии и системы технического зрения для оценки координат мобильного робота	230
4.	<i>S.S. Moskvichev, R.A. Munasypov</i> Morphological Aspect of Developmental Robotics	237
5.	<i>Г.П. Анишаков, Я.А. Мостовой</i> Стратегии безопасности при компьютерном управлении критическими системами	241
6.	<i>А.Н. Павлов, Б.В. Соколов, А.Я. Фридман, О.В. Фридман</i> Структурно-градиентная оптимизация катастрофоустойчивых информационных систем	246
7.	<i>В.И. Хименко, В.А. Зеленцов, А.П. Ковалев, М.Ю. Охтилев, Б.В. Соколов</i> Решение задач интегрированного наземно-космического мониторинга на базе объединения ресурсов научных, образовательных и производственных организаций Северо-западного региона	252
8.	<i>В.И. Хименко, М.Ю. Охтилев, В.А. Каргин</i> Информационная технология и система информационной поддержки принятия решений по контролю в реальном времени состояния ракетно-космической техники	258

9.	<i>И.П. Болодурина, В.Н. Решетников, М.Г. Таспаева</i> Нейросетевой подход повышения точности местоопределения наземного подвижного объекта в системе ГЛОНАСС	263
10.	<i>Е.Б. Баранов, В.М. Дёмкин</i> Исследование механизмов оптимизации процессов сбора и обработки данных в многопоточных Qt-приложениях для систем автоматизации атмосферных микроволновых наблюдений	269
11.	<i>Н.В. Фалдин, А.В. Моржов</i> Синтез локальным методом оптимального по быстродействию электропривода постоянного тока при задании ограничения на потребляемую мощность	276
12.	<i>Н.Н. Васин, Р.Р. Диязитдинов</i> Идентификация движущихся объектов в сложных условиях изменяющейся освещенности	282
13.	<i>А.Б. Филимонов, И.В. Некрасов</i> Задача оперативного планирования перекачки нефти по магистральному трубопроводу	288
14.	<i>Л.Б. Беленький, М.М. Кутейникова, Б.К. Райков, Ю.Н. Секисов, О.П. Скобелев</i> Кластерный метод измерения радиальных и осевых смещений торцов лопаток с уменьшением влияния некоторых мешающих факторов	294
15.	<i>Л.Б. Беленький, О.П. Скобелев</i> Электронный аналог измерительной цепи в виде Моста Блумлейна с одновитковыми вихретоковыми датчиками	300
16.	<i>С.Ю. Боровик, А.В. Логвинов, Б.К. Райков, О.П. Скобелев</i> Кластерный одновитковый вихретоковый датчик со встроенными преобразователями	305
17.	<i>В.Н. Белопухов, Ю.Н. Секисов, О.П. Скобелев</i> Система измерения скорости вращения ротора ГТД на основе одновитковых вихретоковых датчиков	311
18.	<i>В.Т. Лузинский, Е.И. Кочемасова</i> Повышение точности информационных и измерительных систем за счёт цифровой обработки сигналов	316
19.	<i>В.Н. Карпов, В.В. Кузнецов, В.Б. Чернышев</i> Методы ранжирования направлений создания научно-технического задела в интересах формирования программы фундаментальных исследований	321
20.	<i>В.П. Голиков, В.Б. Чернышев</i> Методы построения логических форм критериев и оценки вероятностно-временных характеристик непрерывности автоматического управления в кризисных ситуациях	327
21.	<i>К.К. Бессонов, В.П. Голиков, В.Б. Чернышев</i> Аналитическая модель управления сложной технической системой в кризисных ситуациях в условиях частичной неопределенности	332

22. *Е.К. Герасимова, Г.И. Горемыкина* 339
Математическое моделирование нечёткой системы управления качеством корпоративной информационно-вычислительной сети
23. *М.А. Габидулин* 346
Синтез и систематизация иерархических блочно-модульных структур абсолютных фотоэлектрических цифровых преобразователей перемещений

Social Self-organization

Социальная самоорганизация

1. *В.Е. Хиценко* 355
Модели социальной самоорганизации как инструменты решения инновационных задач
2. *В.А. Виттих* 365
Социальное партнерство как основа организации процессов управления в информационном обществе
3. *В.А. Виттих, М.В. Игнатьев, С.В. Смирнов* 369
Системы поддержки коммуникативных действий
4. *Г.А. Мкртычян* 372
Модель инновационного университета на основе использования метафоры мозга
5. *Д.Н. Федянин, А.Г. Чхартишвили* 379
О модели информационного управления в социальных сетях
6. *В.В. Бреер* 385
Идентификация пороговой модели взаимного страхования
7. *Н.М. Боргест* 391
Принципы управления вузом на основе самоорганизации

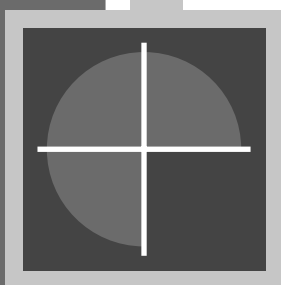
New information technologies in Control and Management

Новые информационные технологии в управлении

1. *Ю.А. Загорулько, О.И. Боровикова* 403
Проблемы представления и визуализации знаний в тезаурусе по компьютерной лингвистике
2. *И.Д. Виноградов* 409
Реализация анализа формальных понятий в реляционных базах данных
3. *В.Ю. Волков, В.В. Батышкина, Б.А. Самаха* 415
Повышение качества принимаемых решений в интеллектуальной системе экологического менеджмента

4.	<i>С.А. Быков, С.В. Казарин, С.В. Смирнов, Е.Г. Суворова</i> Онтологические модели ситуаций в процессах управления реализацией государственной программы «Информационное общество» в Самарской области	421
5.	<i>П.О. Скобелев, А.В. Соллогуб, А.В. Иващенко, Е.В. Симонова, М.Е. Степанов, А.В. Царев</i> Мультиагентные технологии в задачах дистанционного зондирования Земли	426
6.	<i>А.Р. Диязитдинова, А.В. Иващенко, И.И. Литвинов, А.Л. Новиков, П.О. Скобелев, М.В. Сычева, И.И. Хамиц</i> Обеспечение согласованного взаимодействия по планированию грузопотока Международной космической станции с помощью мультиагентных технологий	435
7.	<i>А.Р. Диязитдинова, А.В. Иващенко, С.С. Кожеевников, В.Б. Ларюхин, Д.С. Очков, П.О. Скобелев, А.В. Царев</i> Мультиагентное управление ресурсами на примере автоматизированной диспетчерской ремонтных бригад	443
8.	<i>М.В. Андреев, И.О. Бабанин, А.С. Вылегжанин, А.В. Иващенко, Э.В. Кольбова, П.О. Скобелев</i> Мультиагентная система управления инструментальным цехом	451
9.	<i>В.Д. Ивченко, Г.А. Филимонов</i> Применение онтологий в задачах информатизации кадровых служб	460
10.	<i>К.В. Бычков, Е.А. Гриценко, Д.М. Мартышкин, О.Л. Сурнин, Т.В. Тяпухина</i> Разработка интеллектуальной системы поддержки принятия решений для оказания персонализированной медицинской помощи пациентам на основе онтологий и компьютерных средств представления знаний	464
11.	<i>А.Е. Колоденкова</i> Интеллектуальные технологии в задачах оценки жизнеспособности проектов сложных систем	470
12.	<i>М.А. Богомолова, Р.Р. Халимов</i> Управление взаимоотношениями с клиентами телекоммуникационной компании на основе алгоритмов интеллектуальной поддержки	477
13.	<i>А.П. Колеватов, Т.А. Ульяновская, Е.А. Поляков</i> Автоматизация применения онтологий для разработки математического и программного обеспечения навигационных систем	484
14.	<i>В.И. Шелехов, Э.Г. Тумуров</i> Спецификация систем управления в виде гиперграфовой композиции	493
15.	<i>З.В. Апанович, Т.А. Кислицына</i> Анализ развития научного направления при помощи визуализации информации о научных сообществах и сетях цитирования	499
16.	<i>М.Ю. Загоруйко, Е.А. Сидорова</i> Система извлечения предметной терминологии из текста на основе лексико-синтаксических шаблонов	506

17.	<i>Д.И. Пунда</i> Две формы представления деятельности, и когнитивная природа происхождения современного понятия «управление сложностью» (complicity management)	512
18.	<i>Д.И. Пунда</i> «Инструмент для руководителя» и современная потребность в обеспеченных представлениях деятельности организационных систем	524
19.	<i>А.Д. Тарасов</i> Анализ защищенности объекта с помощью лингвистической модели принятия решений	539
20.	<i>И.Н. Мараканов, А.Д. Козлов</i> XML-ориентированный документооборот	547
21.	<i>И.П. Болодурина, Н.В. Ханжина, Ю.И. Ахмайзянова</i> Выявление закономерностей при формировании критериев эффективного трудоустройства выпускников вузов	554
22.	<i>А.З. Асанов, И.Ю. Мышкина</i> Моделирование и управление востребованностью выпускников вуза на основе нечетких когнитивных карт	560
23.	<i>А.А. Антропов, С.В. Смирнов</i> Подход к разработке системы для WEB-представления онтологических моделей	566



Plenary Papers
Пленарные доклады

SELF-ORGANIZATION VERSUS CONTROL IN COMPLEX SOCIAL SYSTEMS

G. Rzevski

Emeritus Professor, Complexity Science and Design Group, The Open University, UK
3 Ashbourne Close, London W5 3EF, UK
george@rzevski.net
phone: +44 7525 746 106

Key words: *complex social systems, self-organization, agent autonomy, emergent intelligence, emergent creativity, emergent leadership*

Abstract

Для того, чтобы определить, является ли социальная система, в которой доминируют агенты-люди, сложной, используется 7 критериев сложности. В статье анализируются указанные системы и рассматриваются их ключевые характеристики, такие как спонтанный интеллект, спонтанное творчество и спонтанное лидерство. Ключевым аргументом статьи является то, что сложными социальными системами нельзя управлять; они должны быть созданы для демонстрации эффекта самоорганизации. В статье кратко рассмотрен практический подход к разработке самоорганизующихся социальных систем, основанный на большом опыте автора.

Introduction

All attempts to apply Newtonian science to complex systems in which active components are human beings have repeatedly failed. The reason is quite obvious, the behaviour of human-activity systems is unpredictable whilst Newtonian science is deterministic.

The Science of Complexity that recently emerged, primarily from the original work of Prigogine [1], [2], is the much more appropriate science for explaining the behaviour of systems whose main elements are humans. Let us consider this proposition by first outlining criteria of complexity and then applying these criteria to human-activity systems.

The Seven Criteria of Complexity

Let us assume that Complexity is present if all or most of the following seven *features* are in evidence [3]:

- 1) INTERDEPENDENCE – A system consists of diverse components, called Agents, which are interdependent (a change in behaviour of one agent is likely to cause a change of behaviour of some other agents).
- 2) AUTONOMY – Agents are not centrally controlled; they are partially autonomous (have a degree of freedom of choice) but subject to certain laws, rules or norms.
- 3) EMERGENCE – Global behaviour of the system emerges from the interaction of agents and is therefore unpredictable.
- 4) NON-EQUILIBRIUM – Global behaviour of the system is far from equilibrium because frequent occurrences of disruptive events do not allow the system to return to the equilibrium between two disruptive events.
- 5) NONLINEARITY – Nonlinearity of relations may result in insignificant inputs to be amplified into extreme events (butterfly effect).

- 6) **SELF-ORGANIZATION** – A system is capable of self-organization (autonomous change of behaviour and/or configuration) in response to disruptive events. Self-organization may be also initiated autonomously in response to a perceived need, a feature that may be termed creativity.
- 7) **CO-EVOLUTION** – A system irreversibly co-evolves with its environment.

Complexity and Social Systems

For the purposes of these discussions, let us agree that any system in which dominant agents are people (a family, a club, an association, a country) is a social system. Social systems subsume socio-economic systems (a business, a market); socio-technical systems (transport, a supply chain); socio-political systems (a nation, a union of nations) and urban systems (a town, a metropolis) to mention just a few.

Let us apply the above seven criteria of complexity to social systems to test if they are complex.

INTERDEPENDENCE – Agents of all social systems are interconnected, interdependent and often engaged in rich interaction. However this in itself does not make a system complex. It is a necessary but not a sufficient condition.

AUTONOMY – The degree of autonomy of agents in social systems is the most important complex/non-complex demarcation criterion. If agents are always instructed what to do we have a rigidly structured rather than complex social system (a command-and-control hierarchy, a dictatorship); if agents have a complete freedom how to behave we have social chaos (a spontaneous riot, anarchy); if agent autonomy is substantial but not total, the social system is complex. In reality the autonomy of agents in social systems is never complete; it is always limited by law, social norms and conventions and by a bewildering amount of rules, regulations and polices. It follows that social systems, excluding few exceptions, are complex.

EMERGENCE – In general, the global behaviour of social systems emerges from the interactions of agents and is therefore unpredictable though not random. The uncertainty of the global behaviour of social systems is directly proportional to autonomy of constituent agents – in rigidly structured social systems (strong dictatorships) emergence may be close to zero.

NON-EQUILIBRIUM – In complex social systems disruptive events are always present and their frequency depends on the complexity of the environment in which they are embedded. As we entered the highly interconnected and interdependent (and therefore complex) Internet-based global society, the so-called Global Village, the frequency of disruptive events (unpredictable changes in family membership, association, schooling, employment, earnings, leisure pursuits, housing costs, etc) increased to such a level that many social systems operate far from equilibrium.

NONLINEARITY – Nonlinearity of human relations is notorious, as illustrated by numerous examples (minor disagreements escalating into major disruptions in relationships; insignificant restrictions causing tantrums; assassination of Duke Ferdinand in Sarajevo provoking the First World War).

SELF-ORGANIZATION – In rigidly structured social systems where agents are centrally controlled self-organization is very weak and may not even exist. In contrast, whenever constituent agents are given certain freedom to make autonomous decisions, they will make use of this freedom to attempt to achieve their goals in the presence of disruptive events, which amounts to self-organization. Social agents differ widely in their abilities to make decisions under conditions of uncertainty, which affects the self-organizing capabilities of social systems.

CO-EVOLUTION – All social systems change in time. Changes are influenced by the interaction of their agents with agents of other systems. If we define the Environment of a system to be the set of all systems with which the system under observation interacts, it follows that the system evolves (changes) due to interactions with its environment. Since system environment also changes, it is correct to use the term co-evolution (of the system and its environment) rather the term evolution.

Important Features of Complex Social Systems

Emergent Intelligence

The key difference between social complex systems and biological, physical or chemical ones is in the degree of *intelligence* of constituent agents. For the purposes of these discussions let us define intelligence as “the capability to formulate and achieve goals under conditions of uncertainty”. Intelligence subsumes motivation and the ability to learn, investigate, communicate and create. This feature of social systems is very important because intelligence provides agents with the ability to exercise choices.

A social system comprising intelligent agents that are given the *appropriate* autonomy to negotiate with each other what are the most worthy common goals and what are the best ways to achieve them at every given moment of time, exhibits *emergent intelligence*, which is far greater than the sum total of constituent agent intelligence [4].

The appropriate agent autonomy depends on intelligence of agents and on complexity of the environment in which the social system is embedded. In that respect each system, at any given point in time, is different. We can ascertain only that the appropriate autonomy is always greater than none and smaller than total.

Emergent Creativity

To survive and prosper in the complex world there is a need to perpetually review goals and invent new ways of achieving agreed aims and objectives. To satisfy this need agents should not just react to disruptive events, they should be *creative* – able to anticipate trends and generate new opportunities. Creative agents can be appointed (research & development staff) or allowed to emerge when creativity is required (emergent creativity). My research indicates that the latter approach is more promising. Any social agents appears to be able to exhibit certain degree of creativity when circumstances demand.

Emergent Leadership

To achieve difficult goals intelligence and skills are not sufficient, there is a need for *motivation*. A *leader* is an agent that is capable of motivating and mobilising other agents to undertake a difficult task and in particular tasks that are critical for the achievement of system goals. Leaders can be appointed or they can be allowed to emerge at the time when leadership is required (emergent leadership). The idea of emergent leadership is rather new and untested but much more aligned to the complex thinking than the current practice of appointing leaders.

Control versus Self-Organization

The freedom of exercising choices in social systems is never complete. As a rule, autonomy of social agents, and thus their freedom of choice, is limited by social conventions and norms, by ethical standards, by rules and regulations imposed by social system statutes and by national and international laws enforceable by punishment, which can be severe (expulsion from a school, club, business; deportation from a country), or very severe (imprisonment, capital punishment). The purpose of limiting agent autonomy has always been to eliminate or restrict the unpredictability of the emergent behaviour of social systems, in other words, to ensure that the systems behave as nearly as possible as intended by system creators. However the effort to control the system by controlling constituent agents is often self-defeating.

The whole idea that it is possible to control a social system by excessively restricting autonomy of constituent agents should be carefully re-examined. The notion is fully valid only if the system is closed or if its environment is stable and without disruptive events. Such situations do not exist naturally in the real world but are occasionally artificially imposed (Berlin Wall). When these conditions are not satisfied, i.e. when the system is open and its environment is complex (ever changing in un-

predictable manner) attempts to control a social system by imposing excessive restrictions on agent autonomy are counterproductive. They prevent agents to react positively to disruptive events and thus stifle self-organization, which in time leads to system disintegration (centrally planned economies).

Even more importantly, when perception of the desirable autonomy of agents by those attempting to control a social system and by constituent agents themselves, differ significantly, each agent tends to formulate a private (non-declared) set of goals, which may not be compatible with the publicly declared social goals. Activities aimed at achieving non-declared goals are often conducted in covertly manner resulting in “deviant” behaviour (infidelity, lying, theft, murder) and/or in organizing resistance aimed at changing official goals (rebellions, revolutions).

In social systems with strict centralized control the unofficial (underground, dissident) behaviour exhibits all features of complexity, including emergence and self-organization, which ensures its long-term success, as experienced by disciplinarian businesses and totalitarian political regimes.

We have to come to term with the notion that complex social systems cannot be controlled and learn how to design them to be self-organizing.

Designing Self-Organizing Social Systems

General Considerations

The reason for designing self-organization is to provide social systems with a capacity for achieving desired goals under conditions of frequently occurring disruptive events. Self-organization replaces control.

My long practical experience in designing self-organizing socio-economic and socio-technical systems [5], [6], [7], [8], [9], [10], [11] supports the four-point approach:

- 1) Develop a self-organization strategy
- 2) Plan strategic redundancy of resources
- 3) Specify a self-organization mechanism
- 4) Develop a self-organization support system

Building the capacity for self-organization into systems in which we live and work amounts to designing complexity into our life, which is counterintuitive. Common sense suggests we should attempt to simplify the complexity of the environment, which is of course not possible because by definition our environment is not under our control.

Self-Organisation Strategy

Open systems operating in complex environments do not have the optimal performance because operating conditions frequently change. Therefore, the main part of a self-organization strategy is a collection of scenarios showing the best possible (rather than optimal) ways of fully or partially achieving system goals under conditions of the occurrence of unpredictable disruptive events.

Strategic Redundancy of Resources

It is intuitively clear that under conditions of uncertainty it is not possible to run “lean” operation and that there is a need to have in place redundant resources some of which will be required only in rare cases of disruption.

Self-Organization

Whilst we cannot do much about complex physical and chemical systems, which are guided by natural laws, we can certainly affect the behaviour of social, socio-technical and socio-economic systems that are guided by law, social norms, ethics, constitutions, statutes, policies, rules and regulations, which are in principle under our control.

Emergent behaviour of such systems can be kept within certain region by ensuring that regulations are sufficiently unambiguous to prevent random behaviour and yet sufficiently flexible to allow system certain freedom to self-organize when facing new challenges [4]. There exist evidence that the best strategy is to introduce variable regulations – tighter when the system operates in a normal mode and much looser when the system is recovering from effects of an extreme event [12].

It is important to note that regulations cannot prevent system nonlinearities to create occasional extreme events. To reduce severity and frequency of extreme events we must use additional heuristics. There is evidence that it is possible to reduce the frequency of occurrence and intensity of extreme events by reducing propagation of signals through system connections, which can be achieved by increasing the “resistance” to propagations in system links and by partitioning the system into regions that are weakly interconnected with each other in order to prevent extreme events created within a region to spread to other regions, as shown in Fig. 1.

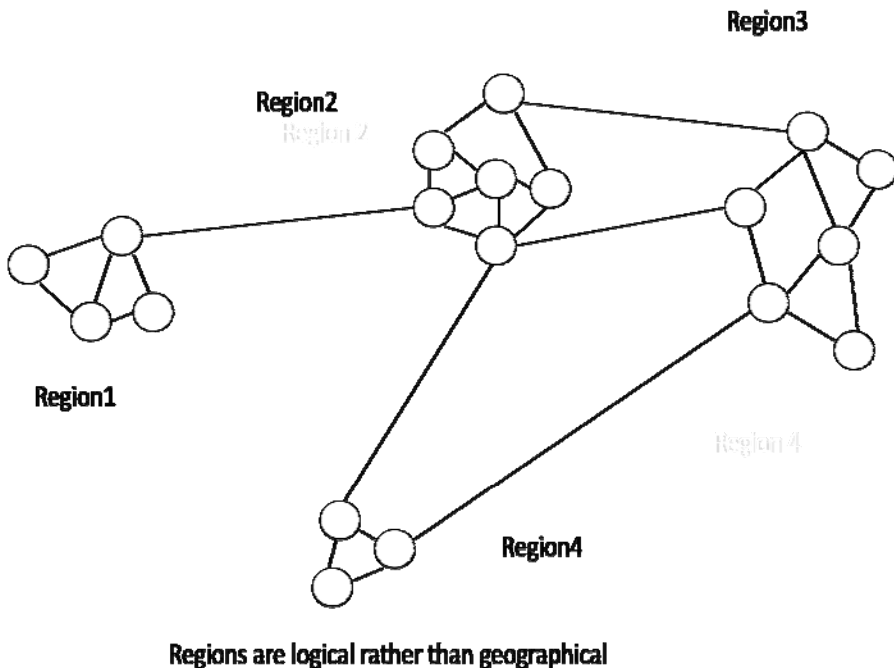


Figure 1 – Partitioning a Complex System to contain the occurrence of extreme events

Self-Organization Support Systems

Self-organization in social systems is feasible only if decisions how to respond to disruptive events are made and implemented rapidly – the decision what to do and the action that implements the decision must be completed in between two consecutive disruptive events.

It is obvious that for decisions to be done with such a speed we cannot rely on humans. We need *complex adaptive software* implemented using ontology-based multi-agent technology [13]. Conventional software is not of much help because it requires a re-start from scratch whenever a disruptive event occurs.

To exhibit adaptability software must have an extensive Knowledge Base and built-in artificial intelligence. A practical methodology for developing adaptive software is described in numerous publications by the author and his team, see above.

Acknowledgement

In 1990, when I was full-time Professor, Design and Innovation Department, the Open University, UK, and Director of the Centre for the Design of Intelligent Systems, I was invited by Professor Vladimir Vittikh of the Soviet Academy of Sciences to give a series of lectures on multi-agent technology in Samara, Russia. This visit marked the beginning of a long-term collaboration with Vladimir Vittikh and Petr Skobelev, at that time a young, talented researcher and software developer who attended my lectures. With Petr Skobelev we have developed a remarkable partnership exhibiting emergent creativity and jointly founded and provided technological leadership for several commercial organizations in London, UK; Jacksonville, USA; Cologne, Germany and Samara, Russia. My special thanks go to Vladimir Vittikh for numerous research ideas that he shared with me during our long and fruitful collaboration and lasting friendship.

Conclusions

We live and work in a complex world and complexity of our environment is perpetually increasing. Current mathematical methods and conventional software, based on Newtonian Science are inadequate for modelling complex social systems that are characterized by a high diversity of constituent components, very high frequency of unpredictable, disruptive events and occasional occurrence of unpredictable extreme events. There is an urgent need to use concepts and principles of the newly developed Complexity Science to analyse the behaviour of systems in which key agents are humans.

During the last eleven years the author with his co-workers has developed a simple and practical methodology for designing self-organizing social, socio-technical and socio-economic systems. The methodology is supported by powerful tools consisting of advanced multi-agent technology that exhibit emergent intelligence and creativity, and is capable of making rapid autonomous decisions in real time. A large number of commercial and engineering applications, as well as studies of exceedingly complex social issues, show the power of the methodology.

References

- [1] Prigogine, I., *Is Future Given?* World Scientific Publishing Co., ISBN 981-238-508-8. 2003.
- [2] Prigogine, I., *The End of Certainty: Time, Chaos and the new Laws of Nature.* Free Press, ISBN 0-684-83705-6. 1997.
- [3] Rzevski, G., “A practical Methodology for Managing Complexity”. Accepted for publication in *Emergence: Complexity & Organization*. 2011.
- [4] Rzevski, G., Skobelev, P., “Emergent Intelligence in Large Scale Multi-Agent Systems”. *International Journal of Education and Information Technology*, Issue 2, Volume 1, pp 64-71. 2007.
- [5] Glaschenko, A., Ivashenko, A., Rzevski, G., Skobelev, P., “Multi-Agent Real-Time Scheduling System for Taxi Companies”. In Decker, Sichman, Sierra, and Castelfranchi (eds.), *Proc. of 8th Int. Conf. on Autonomous Agents and Multiagent Systems (AAMAS 2009)*, May, 10–15, Budapest, Hungary. ISBN: 978-0-9817381-6-1, pp 29-35. 2009.
- [6] Andreev, S., Rzevski, G., Shveykin, P., Skobelev, P., Yankov, I., “Multi-Agent Scheduler for Rent-a-Car Companies”. *Lecture Notes in Computer Science*, Volume 5696, *Holonic and Multi-Agent Systems for Manufacturing: Forth International Conference on Industrial Applications of Holonic and Multi-Agent Systems, HoloMAS 2009*, Linz, Austria. Springer, ISBN 978-3-540-74478-8, pp 305-314. 2009.
- [7] Andreev, M., Rzevski, G., Skobelev, P., Shveykin, P., Tsarev, A., Tugashev, A., “Adaptive Planning for Supply Chain Networks”. *Lecture Notes in Computer Science*, Volume 4659, *Holonic and Multi-Agent Systems for Manufacturing. Third International Conference on Industrial Applications of Holonic and Multi-Agent Systems, HoloMAS 2007*, Regensburg, Germany. Springer, ISBN 978-3-540-74478-8, pp 215-225. 2007.
- [8] Minakov, I., Rzevski, G., Skobelev, P., Volman, S., “Creating Contract Templates for Car Insurance Using Multi-agent Based Text Understanding and Clustering”. *Lecture Notes in Computer Science*, Volume 5696, *Holonic and Multi-Agent Systems for Manufacturing, Forth International Conference on Industrial*

Applications of Holonic and Multi-Agent Systems, HoloMAS 2009, Linz, Austria. ISBN: 978-3-540-74478-8, pp 361-370. 2007.

- [9] Rzevski, G., Skobelev, P., Batishchev, S., Orlov, A., “A Framework for Multi-Agent Modelling of Virtual Organizations”. In Camarinha-Matos, L M and Afsarmanesh, H (eds), Processes and foundations for Virtual Organizations, Kluwer Academic Publishers, ISBN 978-1-4020-7638-1, pp. 253-260. 2003.
- [10] Rzevski G., Skobelev, P., Minakov, I., Volman, S., (2007b) “Dynamic Pattern Discovery using Multi-Agent Technology”. Proceedings of the 6th WSEAS International Conference on Telecommunications and Informatics (TELE_INFO '07), Dallas, Texas, USA, March 22-24, 2007, ISBN: 978-960-8457-60-7, pp 75-81.
- [11] Rzevski, G., “Using Complexity Science Framework and Multi-Agent Technology in Design”. In Alexiou, K., Johnson, J., Zamenopoulos, T. (eds.), Embracing Complexity in Design, Routledge, ISBN 978-0-415-49700-8, pp 61-72. 2010.
- [12] Rzevski, G., “Using Tools of Complexity Science to Diagnose the Current Financial Crisis”. Optoelectronics, Instrumentation and Data processing, 210, Vol.46, No. 2, ISSN 8756-6990. 2010.
- [13] Rzevski, G., Skobelev, P., Andreev, V., “MagentaToolkit: A Set of Multi-Agent Tools for Developing Adaptive Real-Time Applications”. Lecture Notes in Computer Science, Volume 4659, Holonic and Multi-Agent Systems for Manufacturing. Third International Conference on Industrial Applications of Holonic and Multi-Agent Systems, HoloMAS 2007, Regensburg, Germany, Springer, ISBN 978-3-540-74478-8, pp 303-314. 2007.

МЕХАНИЗМЫ СОЦИАЛЬНОЙ САМООРГАНИЗАЦИИ

В.А. Виттих

Институт проблем управления сложными системами РАН
443020, Самара, ул. Садовая, 61, Россия
vittikh@iccs.ru

тел: +7 (846) 332-39-27, факс: +7 (846) 333-27-70

Ключевые слова: *самоорганизация, социальная система, циклическая причинная зависимость, неопределённость, коммуникативное действие, интерсубъективность, онтология, гражданское общество*

Abstract

Self-organization is regarded in the paper as a fundamental property of a social system, as one of the most important factors that determines the functioning and evolution of any system at the same time being its internal property. Civil society is represented as a self-organizing object and concentration of non-state relations. The mechanism of cycle causality is analysed in the paper. This mechanism in combination with the uncertainty makes the basis of social self-organization. It is noted, that communicative actions in social self-organization is a mechanism to achieve mutual understanding of actors. In order to improve the efficiency of social self-organization the paper justifies the necessity to create communicative actions support systems. The paper emphasises the social significance of creation of education systems that provide the formation of a man civilian position.

Введение

Когда в сложной системе, находящейся в неравновесном состоянии и состоящей из множества случайным образом взаимодействующих между собой и окружающей средой компонентов, возникает порядок или какая-то устойчивая структура без всяких внешних организующих воздействий, то говорят, что такая система обладает способностью к самоорганизации [1]. Социальные системы в этом смысле не являются исключением, поскольку проявления самоорганизации обнаруживаются ещё в первичной социальной форме первобытного строя – общине, где общее собрание членов общины служило социальным институтом, обеспечивающим выполнение без посредников функций социальной самоорганизации по принципу «каждый за всех, все за каждого» [2].

Отношения самоуправления в общине носили характер «первобытной демократии», а управленческие структуры были непосредственно «вплетены» в основную массу общинников [3]. Возникающие проблемные ситуации, затрагивающие интересы членов общины и обладающие неопределённостью, урегулировались путём локальных взаимодействий на высшем сходе общины, где в лице самих общинников происходило слияние «законодательной» и «исполнительной» власти [2]. Иными словами, *способность к социальной самоорганизации являлась в общине фундаментом, обеспечивающим возможность реализации процессов управления* (процессов принятия решений) [4].

Находясь в «естественном состоянии», при котором практически отсутствовали нравственные и правовые ограничения, индивид тем не менее обладал всеми правами самозащиты и действовал, руководствуясь «естественным законом», отражающим элементарное представление о справедливости. Перейдя в «государственное состояние», люди передали функцию интерпретации «естественного закона» органам законодательной власти, а функцию самозащиты – органам исполнительной власти [5]. Появление посредника в лице государства как

аппарата управления обществом, наделённого властью и опирающегося на силу закона или органы принуждения, изменило общинную модель самоорганизации. Теперь самоорганизация осуществлялась на уровне локальных взаимодействий людей только тогда, когда неопределённость в отношениях между ними можно было урегулировать путём прямых переговоров, не прибегая к привлечению глобальных структур – государственных органов и вырабатываемых ими нормативно-правовых актов. Если же неопределённость в социуме (скажем, социальная напряжённость) превышала некоторое критическое значение, требовалось вмешательство государства с его полномочиями регулировать общественные отношения. Изменение этих отношений, в свою очередь, давало «импульсы» власти со стороны общественности для выработки новых норм поведения и взаимодействия людей на локальном уровне. И вот эта *циклическая причинная зависимость в сочетании с неопределённостью и составляет основу социальной самоорганизации* в современном («необщинном») понимании этого слова [1,6,7].

Однако тенденция к расширению сферы государственного регулирования жизни и деятельности людей (даже в тех случаях, когда в этом не было никакой необходимости) развивала систему принудительного сотрудничества, постепенно подавляя общественную самоорганизацию. Г. Спенсер назвал такой тип общества воинственным. Люди, образующие воинственные общества, «должны обладать слепой верой в авторитет и готовностью быть направляемыми другими, а, следовательно, и сравнительно малой инициативой. Привычка видеть всюду официальное вмешательство развивает уверенность, что это официальное вмешательство всюду необходимо; а тот образ жизни, при котором всё определяется личным усмотрением и нет примеров безличного течения событий, делает их неспособными понимать какие бы то ни было социальные процессы как результат саморегулирующихся порядков» [8]. В таком обществе *централизованное управление*, стягивающее принятие решений к верхним эшелонам власти, *отодвигает социальную самоорганизацию на второй план*, превращая людей в «винтики» государственной машины, в простых исполнителей воли других людей.

В то же самое время *резервы повышения качества жизни, эффективности экономики и государственного управления следует искать в самих людях, в каждом человеке, в использовании его персональных интеллектуальных и волевых ресурсов*. Жёсткая управленческая иерархия и централизация, сковывающие инициативу людей, здесь неприемлемы. Для решения задачи модернизации экономики необходимо *поддерживать развитие самоорганизации как фундаментального свойства любой сложной социальной системы*. На этом акцентировал внимание классик социологии Питирим Сорокин, который писал, что «один из самых главных факторов, определяющих функционирование и развитие любой системы, лежит внутри неё самой. В этом смысле любая внутренне интегрированная система является автономным саморегулирующимся, самоуправляемым или, если угодно, «сбалансированным» единством» [9]. Именно *самоорганизация играет ключевую системообразующую роль при возникновении порядка из хаоса* [10], представляющего собой неупорядоченное первоначало, первовещество, из которого сложился мир [2]. На этом основании можно рассматривать самоорганизацию в качестве основного пути генезиса самых различных (в том числе социальных) объектов, и присоединиться к мысли *о первичности феномена самоорганизации* [11].

Для того чтобы более глубоко понять суть этого явления, необходимо определить механизмы, ведущие к социальной самоорганизации. В работе [1] приводятся результаты исследования этой проблемы, полученные в рамках проекта SEIN (самоорганизующихся инновационных сетей). В данной статье излагается точка зрения автора на механизмы социальной самоорганизации, которая опирается, с одной стороны, на фундаментальную онтологию М. Хайдеггера и теорию коммуникативного действия Ю. Хабермаса, а с другой, - на новые возможности поддержки процессов самоорганизации, предоставляемые современными информационно-коммуникационными технологиями.

1 Циклическая причинная зависимость

В декартовских онтологических построениях бытие характеризуется безотносительно к деятельности людей, их познанию и мышлению. Материя и ум рассматриваются как «параллельные» друг другу субстанции, что позволяет описать материальный мир объективно, не включая в описание человека – наблюдателя с его субъективностью. Новую «фундаментальную онтологию», восстанавливающую единство человека и мира, создал М. Хайдеггер [12]. Его *Dasein* («вот-бытие», «здесь-бытие», «присутствие») означало не объективное бытие, а собственное отношение человека к бытию. *Человек не только есть, но соотносится с собой, миром и миром других людей* [13].

В фундаментальной онтологии *происходит переход* от «объективного мира» к миру «субъективному», «предметному» который состоит не из вещей, свойств и отношений, а из ответов на наши вопросы. Иными словами, осуществляется переход от «космоса» к «логосу», от «мира природы» к «миру культуры», от состава и строения вещества к смыслу слов и предложений. Предметный мир человека представляет собой область смысловых языковых выражений, и каждый предмет – это значение слова. Структура предмета, о котором ставится вопрос «интересующимся субъектом», будет зависеть от структуры вопроса, а характер вопроса соответствует характеристикам того, кто вопросы задаёт. *Каждый предмет существует лишь постольку, поскольку он связан с «вопросом»; он не что иное, как ответ на вопрос* [14]. Человек становится человеком только тогда, когда он освоил язык и когда он с помощью языка формирует свой предметный мир.

В философии М. Хайдеггера существование человека выступает как *озабоченность*, а в связи с другим человеком – заботой о другом, *общей заботой* [15]. Даже если человек всем доволен и ничего уже не хочет, он всё-таки озабочен сохранением в будущем этого состояния удовлетворённости. Уже в самом слове «забота» заключается тот смысл, что это делается для другого. Основой совместного бытия друг с другом прежде всего и зачастую является то, что в таком бытии становится предметом общей заботы. При этом познание рассматривается как естественный образ *действия личности в целом*, а не как духовная функция, взятая изолированно [14].

Таким образом, человек, будучи целостностью, в которой не разделяется «материальное» и «идеальное», «объективное» и «субъективное», оказывается *двойственным* по своей природе: он индивидуален в своём предметном мире, но в человеке заложено и социальное начало, поскольку структура его собственного сознания отвечает факту существования других индивидов, т.е. *интерсубъективна*. Интерсубъективными называют присущие субъектам структуры общности, обеспечивающие возможность взаимопонимания и общезначимости [5]. Социальная система в этом случае образуется путём взаимодействия индивидов, каждый из которых одновременно и актор (деятель), преследующий собственные цели, и объект ориентации для других акторов. Под социальным взаимодействием понимается процесс непосредственного или опосредованного воздействия социальных объектов друг на друга, в котором взаимодействующие стороны связаны *циклической причинной зависимостью* [16], заключающейся в следующем.

Индивидуальные действия акторов в социальной системе направляются взаимосогласованными ожиданиями, т.е. предположениями о том, что ожидает впереди. *Ожидания в социуме неопределённые*, даже если в качестве принципов регулирования используются социальные нормы или правила. Поэтому правила могут лишь снизить неопределённость до социально приемлемого уровня *в каждой конкретной ситуации* и на определённом промежутке времени [1]. Правила могут вырабатываться непосредственно в процессах локальных взаимодействий акторов или опосредованно с помощью «глобальных структур». В первом случае (например, в чрезвычайных ситуациях, когда требуется оперативное принятие и исполнение решений), акторы путём прямых переговоров договариваются между собой и сразу же реализуют согласованные решения. Неопределённость здесь реализуется на уровне локальных взаимодействий, и

правила могут изменяться в зависимости от ситуации. Во втором случае «глобальных моделей взаимодействия» включаются посредники (например, органы государственной власти), которые на основе анализа локальных взаимодействий разрабатывают нормативно-правовые акты, регулирующие отношения между акторами и их поведение. Таким образом и возникает циклическая причинная зависимость: с одной стороны, локальные взаимодействия регулируются глобальными структурами, а с другой – глобальные структуры являются результатом локальных взаимодействий [1, 7].

Циклическая причинная зависимость локальных взаимодействий и глобальных структур является механизмом самоорганизации общества в его функциональные подсистемы и сложную систему социальных институтов. Если правила взаимодействия докажут своё право на существование в данной структуре, то они будут узаконены, а институты должны будут преследовать случаи нарушения этих правил и налагать санкции. Здесь правила уже не изменяются с изменением ситуации, которую они регулируют. Однако социальные институты существуют до тех пор, пока они эффективны в снижении уровня неопределённости. Иначе они могут выжить как «реликты», но уже потеряют возможность реально влиять на жизнь общества [1].

2 Гражданское общество

Циклическая причинная зависимость (называемая также циклической причинностью), обеспечивающая взаимное усиление локальных взаимодействий и глобальных структур и стабильность их взаимного воспроизводства, в сочетании с неопределённостью составляют основу социальной самоорганизации, обобщённая модель которой изложена в работах [1, 6, 7]. Для того, чтобы более глубоко понять механизмы самоорганизации, необходимо конкретизировать тип общества и государственного устройства. С этой целью рассмотрим приведённую на Рис.1 модель социальной самоорганизации в федеративном государстве, в котором разграничены функции, права и обязанности федеральных, региональных и местных властей.

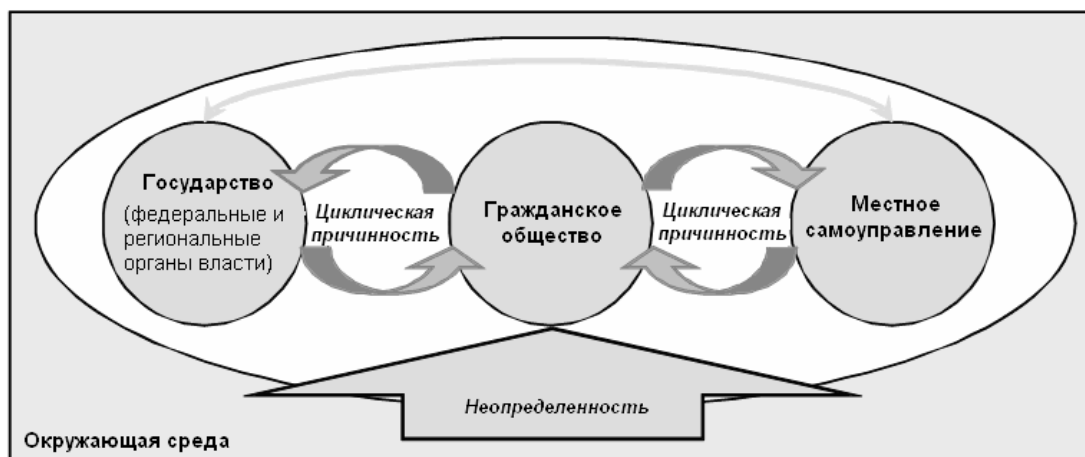


Рисунок 1 - Модель социальной самоорганизации в федеративном государстве

Под социумом (обществом) здесь понимается совокупность всех способов взаимодействия и форм объединения людей, в которой выражается их всесторонняя зависимость друг от друга. Государство представляет собой аппарат управления обществом, а местное самоуправление - форму осуществления народом своей власти, обеспечивающую самостоятельное решение населением непосредственно и (или) через органы местного самоуправления вопросов местного значения.

Важную роль в этой модели играет *гражданское общество*, поскольку именно оно представляет собой *самоорганизующееся начало* и сосредоточение негосударственных отношений [2]. Неопределённость в социуме (социальная напряжённость или совокупность возникающих проблемных ситуаций) ощущается и индицируется прежде всего гражданским обществом, которое должно быть способным в пределах локальных (близких к общинным) взаимодействий самостоятельно снижать уровень этой неопределённости, если она не превышает некоторого социально допустимого значения. В тех случаях, когда неопределённость достигает критического уровня и выходит за границы локальных взаимодействий, гражданское общество инициирует необходимость решения проблем перед органами государственной власти или местного самоуправления, которые включают свои рычаги управления. Иными словами, гражданское общество рассматривается как общество, достигшее партнёрских (в отличие от доминирующих сегодня патерналистских) отношений с государством и местным самоуправлением. И от того, насколько развито гражданское общество, зависит эффективность работы механизмов социальной самоорганизации, являющихся действенным средством борьбы с коррупцией, преступностью и иными пороками.

По самой своей природе социальные системы, как относительно устойчивые совокупности взаимодействующих людей, принадлежат к классу сложных систем, построенных по принципу «часть – целое» [7]. Основным «строительным блоком» в них является *холон* – целое, являющееся частью другого, большего целого [17], а главным «действующим лицом» холона является *актор* – человек, взявший на себя (или получивший) полномочия по управлению холоном и несущий ответственность за последствия принимаемых решений. «Атомарный» холон – это отдельно взятый актор, который вместе с обеспечивающими его материальными и трудовыми ресурсами образует *базовый холон*. В свою очередь, группа базовых холонов может образовывать *составной холон*, который может вступать в отношения с другими холонами. В результате переговоров акторов между собой холоны могут объединяться в новые холоны или, наоборот, распадаться, чем определяется эволюция социальной системы.

Такие холонические системы занимают промежуточное положение между иерархическими и сетевыми. От иерархических систем с жёсткой «вертикальной» организацией их отличает возможность «горизонтального» взаимодействия между элементами, а от сетевых, допускающих отношения по принципам «каждый с каждым» и «равный с равным», – способность формирования относительно устойчивых промежуточных структурных форм (составных холонов) и образования временных иерархий. Следует отметить, что время существования холона здесь играет важную роль: одно дело, когда речь идёт о холонах с коротким «временем жизни», и в этом смысле – неустойчивых (например, экскурсионная группа, временный трудовой коллектив, митинг и т.п.), и совсем другое дело – устойчивые, стабильные холоны, такие как семья, предприятие, политическая партия и т.п.

Понятно, что человек одновременно может быть в составе нескольких холонов, а если речь идёт о множестве людей, взаимодействующих в рамках некоторой социальной общности, то возникает проблема установления их многосторонних коммуникаций при одном важном ограничении – нельзя, чтобы один человек (субъект) прагматически использовал другого в качестве средства (объекта) для достижения цели. Возможно принятие другого (субъекта) лишь в качестве самодостаточной ценности, т.е. субъект – объектные отношения должны быть заменены субъект – субъектными. Исследованию таких принципиально ненасильственных (не-вертикальных) способов бытия посвящены работы Ю. Хабермаса [16].

В книге «Структурные изменения общественности» Ю. Хабермас раскрывает специфику «структур общественности» в их открытости, гласности, в опосредовании взаимосвязей между государством и индивидами, в установлении многомерных коммуникаций людей на негосударственном уровне [2].

Но наибольший интерес представляет его теория коммуникативного действия, в которой *коммуникация рассматривается в качестве базового социального процесса*. Коммуникатив-

ное действие – такое взаимодействие (по крайней мере двух) индивидов, которое упорядочивается согласно обязательным нормам. Инструментальное действие (сфера труда, оперирующая критериями эффективности) ориентировано на успех, *коммуникативное – на взаимопонимание действующих индивидов*. Именно развитие коммуникативных практик и коммуникативная рационализация, а не отношения производства, лежат, с точки зрения Ю. Хабермаса, в основе современного гражданского общества [2]. Он предлагает в анализе человеческого общения исходить из идеала свободной коммуникации, когда ни один из участников не подвергается ограничениям со стороны властных структур и нормативных правил [5].

Ю. Хабермас различает инструментальное и коммуникативное поведение. Первое направлено на реализацию определённого интереса, а не на достижение взаимопонимания, и ведёт к сознательному или бессознательному обману партнёра. Второе направлено на *создание упорядоченной нормативной системы устойчивых межличностных отношений* и устойчивой структуры личности, способной к самоосуществлению. Коммуникативное поведение представляет собой *интерсубъективную связь между субъектами*, обладающими языковой компетентностью [5]. Коммуникативные действия и поведение относятся, таким образом, к механизмам социальной самоорганизации.

Следует отметить, что теория коммуникативного действия связана с так называемым «лингвистическим поворотом» в философии и социальных науках, обусловившим *переход гносеологизма в коммуникативную парадигму*. Общество анализируется в форме коммуникации [3].

3 Системы поддержки социальной самоорганизации

Социальные общности, представляющие собой совокупности людей, выделяемые по критерию территориальных и социокультурных параметров и объединяемые устойчивыми связями и отношениями, отличаются по своей способности к самоорганизации. В современной социологии используется понятие «новой общественности» – ассоциации свободных и равных индивидов, определяющих в ходе коммуникации, аргументированного обсуждения нормативные условия своего существования. Предназначение такой общественности «заключается в способности постоянно устанавливать широкие многомерные связи коммуникации, способности формировать свои автономные объединения, действующие сплочённо, организованно, с рефлексивным пониманием целей» [16]. Постулируется, таким образом, что новая общественность должна обладать высокой способностью к самоорганизации.

Однако жизненная практика показывает, что во многих социальных общностях механизмы самоорганизации работают крайне неэффективно в связи с патерналистской ментальностью населения, привыкшего к опеке со стороны государства. В таких условиях верх берут механистические идеи власти, превращающие человека в тот самый «винтик» государственной машины, который существует «сам по себе» в ожидании чьих-то управляющих воздействий и не готов к коммуникациям. Такой человек не осознаёт себя частью социальной целостности, а воля его, являющаяся феноменом саморегуляции субъектом своих поведения и деятельности и транслирующая «импульсы потребностей» в «импульсы к действию», оказывается парализованной.

Поэтому развитие самоорганизующихся сообществ людей (новой общественности) тесно связано с созданием *системы воспитания, обеспечивающей формирование человеком своей гражданской позиции*, в которой переплетаются его жизненная и социальная позиции. «Жизненная позиция – личностная философия человека, отражающаяся в его образе жизни и обустройстве им индивидуального жизненного пространства. Социальная позиция – субъективное осознание индивидом себя как самостоятельной единицы в общественных отношениях, что обуславливает понимание своего места и назначения в обществе, готовность к ответственному действию, потребность самореализации своих возможностей» [16].

Формирование гражданской позиции является важнейшим фактором развития социальной самоорганизации. Однако не меньшую роль играет создание условий для эффективной коммуникации, нацеленной на достижение взаимопонимания индивидов. Решение этой задачи практически невозможно без использования современных информационно-коммуникационных технологий, прежде всего, методов и средств компьютерного представления и обработки знаний.

С одной стороны, речь идёт о представлении в компьютерных сетях *персональных знаний*, отражающих жизненную позицию индивида, его субъективный взгляд на мир, и обеспечении доступа к ним других индивидов [18]. С другой стороны, люди, входящие в состав некоторой социальной общности, в процессах многосторонних коммуникаций должны опираться на единую платформу *социальных знаний*, разделяемых всеми членами этой общности. Социальные знания должны быть представлены в сети таким образом, чтобы пользователь мог получить интересующую его (релевантную) информацию в *реальном масштабе времени*, т.е. в темпе развития ситуации, в которой оказался он сам и другие взаимодействующие с ним индивиды.

Здесь уместно отметить, что социальная самоорганизация неразрывно связана с понятием *развивающегося общества*. «Развитие – это результат приобретения знаний, что проявляется в качестве жизни, которое может быть реализовано, - в отличие от роста, который является результатом материальных приобретений и выражается в достигнутом *уровне* жизни. Развитие состоит не в том, как много благ имеет общество, а в том, как много оно может сделать с теми благами, которыми располагает. Нехватка ресурсов предотвращает рост, но не является препятствием для развития» [19].

Новые знания, в том числе правила кооперации и общения, порождает социальная самоорганизация [1], а это означает, что коммуникативные действия будут совершаться в условиях постоянно пополняемой базы знаний, которая всегда должна поддерживаться в актуальном состоянии. Таким образом, из сказанного следует, что с целью повышения эффективности самоорганизации необходимо создание и применение в социальной общности компьютерной *системы поддержки коммуникативных действий* (СПКД), в основу построения которой могут быть положены персональные и групповые онтологии [7]. Представляется, что именно *онтологический подход*, успешно использованный при создании информационно-логических моделей в процессах управления социальными системами [20], *должен применяться при разработке СПКД*. Первой практически значимой и результативной разработкой, в рамках которой была создана единая платформа социальных нормативно-правовых знаний, следует признать Региональную систему предоставления государственных и муниципальных услуг населению в электронной форме в социальной сфере Самарской области [21].

Заключение

Самоорганизация является фундаментальным свойством социальной системы, одним из самых главных факторов, по выражению Питирима Сорокина, определяющих функционирование и развитие любой системы, который лежит внутри неё самой.

Гражданское общество представляет собой самоорганизующееся начало и сосредоточение негосударственных отношений. Неопределённость в социуме (социальная напряжённость или совокупность возникающих проблемных ситуаций) ощущается и индицируется, прежде всего, гражданским обществом, которое должно быть способным в пределах локальных взаимодействий самостоятельно снижать уровень этой неопределённости, если она не превышает некоторого социально допустимого значения. В тех случаях, когда неопределённость достигает критического уровня и выходит за границы локальных взаимодействий, гражданское общество инициирует необходимость решения проблем перед органами государственной власти или местного самоуправления, которые включают свои рычаги управления. Тем самым реали-

зуется механизм циклической причинной зависимости, которая в сочетании с неопределённостью составляет основу социальной самоорганизации.

Коммуникативные действия в социальной самоорганизации являются механизмом достижения взаимопонимания акторов. Коммуникативное поведение представляет собой intersубъективную связь между ними и направлено на создание упорядоченной нормативной системы устойчивых межличностных отношений и устойчивой структуры личности, способной к самореализации. Развитие коммуникативных практик и коммуникативная рационализация лежат в основе современного гражданского общества. С целью повышения эффективности социальной самоорганизации необходимо создание и применение в социальных общностях систем поддержки коммуникативных действий, в основу построения которых целесообразно положить онтологический подход.

Но наиболее важным является создание системы воспитания, обеспечивающей формирование человеком своей гражданской позиции, в которой переплетаются его жизненная и социальная позиции. Резервы повышения качества жизни, эффективности экономики и государственного управления следует искать в самих людях, в каждом человеке, в использовании его персональных интеллектуальных и волевых ресурсов.

Список литературы

- [1] G. Küppers. Self-organization – The Emergence of Order. From local interactions to global structures. – <http://www.uni-bielefeld.de/iwt/sein/paperno2.pdf>, July 1999.
- [2] Новая философская энциклопедия (в четырёх томах). – М., «Мысль», 2010.
- [3] Современный философский словарь. – Лондон, Франкфурт-на-Майне, Париж, Люксембург, Москва, Минск / «ПАНПРИНТ», 1998.
- [4] Р. Джонсон, Ф. Каст, Д. Розенцвейг. Системы и руководство (теория систем и руководство системами). – М., издательство «Советское радио», 1971.
- [5] Словарь философских терминов. – М.: ИНФРА-М, 2004.
- [6] В. А. Виттих. Целостность сложных систем. – Проблемы управления и моделирования в сложных системах: Труды IV международной конференции. – Самара, Самарский НЦ РАН, 2002, с 48-58.
- [7] В. А. Виттих. Организация сложных систем. – Самара: Самарский НЦ РАН, 2010
- [8] Г. Спенсер. Синтетическая философия: Пер. с англ. – К.: Ника - Центр, 1997.
- [9] П.А. Сорокин. Социальная и культурная динамика. – М.: Астрель, 2006.
- [10] И. Пригожин, И. Стенгерс. Порядок из хаоса (новый диалог человека с природой). – М.: Прогресс, 1986.
- [11] Ю.В. Чайковский. К общей теории эволюции. – Путь: Международный философский журнал, 1993, №4, с. 101- 141.
- [12] М. Хайдеггер. Бытие и время. – Харьков: «Фолио», 2003.
- [13] Теория философии (Э.Ф. Звездкина и др.) – М.: Философское общество «Слово»; «Эксмо», 2004.
- [14] Ф. Зотов. Современная западная философия: учебное пособие – М., Проспект, 2010
- [15] Философский энциклопедический словарь. – М.: ИНФРА – М, 1997.
- [16] Всемирная энциклопедия. Философия. – М.: АСТ; Мн.: Харвест, Современный литератор, 2001
- [17] A. Köstler. The Ghost in the Machine. – Arcana books, London, 1989.
- [18] В.А. Виттих. Персонализация знаний. – Проблемы управления и моделирования в сложных системах: Труды IX Международной конференции. – Самара, Самарский НЦ РАН, 2007, с. 441-446.
- [19] Р.Л. Акофф. За пределами социализма и капитализма: развивающееся общество. – Проблемы управления в социальных системах, том 1, выпуск 1, 2009, с. 112-140.
- [20] В.А. Виттих, П.В. Ситников, С.В. Смирнов. Онтологический подход к построению информационно-логический моделей в процессах управления социальными системами. – Вестник компьютерных и информационных технологий, №5, 2009, с. 45-53.
- [21] В.А. Виттих, Д.В. Волхонцев, Е.А. Гриценко, Г.Д. Светкина, П.О. Скобелев, О.Л. Сурнин. Региональная система предоставления государственных и муниципальных услуг населению в электронной форме с применением интегрированных баз знаний и мультиагентных технологий в социальной сфере Самарской области. – Проблемы управления и моделирования в сложных системах; Труды XI международной конференции. – Самара, Самарский НЦ РАН, 2009, с. 411-414.

РАЗВИТИЕ КОНЦЕПЦИИ ГИБКИХ ТРАЕКТОРИЙ В ЗАДАЧАХ ТЕРМИНАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПОДВИЖНЫМИ ОБЪЕКТАМИ

Е.Д. Теряев¹, К.В. Петрин¹, А.Б. Филимонов¹, Н.Б. Филимонов²

¹Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН
101990, Москва, Малый Харитоньевский пер., 4, Россия
kpetrin@yandex.ru

тел: +7 (499) 135-35-34, факс: +7 (499) 135-32-56

²Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН,
117997, Москва, ул. Профсоюзная, 65, Россия
nbfilimonov@mail.ru
тел/факс: +7 (495) 334-92-40

Ключевые слова: подвижные объекты, терминальное управление, концепция «возмущенного-невозмущенного» движения, принцип гибких траекторий, алгоритмизация задач кинематического управления, системы управления летательных аппаратов

Abstract

Recent state of terminal control theory by moving objects is described. The applied aspects of the conception of «disturbanced – nondisturbanced» movement are analyzed. The questions of algorithmization of control problems by the movement objects on the base of the flexible traectories principle are researched. The kinematic aspects of the realization of the given principle in the systems of control by flight are analyzed.

Введение

В области автоматизации процессов управления подвижными объектами (ПО) ключевыми являются задачи терминального управления, заключающиеся в приведении объекта с необходимой точностью в целевое состояние, определяемое заданными значениями параметров движения. Таковы, например, задачи: мягкой посадки самолета; дозаправки горючим в воздухе; стартового маневра, преследования, наведения и самонаведения ракет; сближения, причаливания и спуска космических аппаратов, выведения ракет-носителей и др. Все эти задачи отличаются двумя характерными особенностями: во-первых, конечным временем протекания процесса управления и, во-вторых, наличием целевых ограничений на значения координат состояния и выходных координат в конечный (терминальный) момент времени.

Данные задачи, именуемые также задачами управления конечным состоянием или задачами финитного управления, выделены в специальный класс Р.Беллманом и получили развитие в работах ведущих зарубежных и отечественных научных школ (см., например, [1-3]).

Ограничимся рассмотрением конечномерных управляемых объектов, описываемых в переменных состояния уравнениями вида

$$(1) \quad \dot{\mathbf{x}} = \mathbf{f}(t, \mathbf{x}, \mathbf{u}),$$

$$(2) \quad \mathbf{y} = \mathbf{g}(t, \mathbf{x}),$$

где $t \in T = [0, t_F]$ – интервал времени протекания процесса управления; $\mathbf{u} \in U = \mathbf{R}^r$ – управляющий вход, U – область его допустимых значений; $\mathbf{x} \in \mathbf{R}^n$ – состояние, $\mathbf{y} \in \mathbf{R}^m$ – выход объекта, причем $m \leq n$; $\mathbf{f}: T \times \mathbf{R}^n \times U \rightarrow \mathbf{R}^n$ и $\mathbf{g}: T \times \mathbf{R}^n \rightarrow \mathbf{R}^m$ – заданные функции.

В общей постановке задачи терминального управления задаются целевые множества Y^* и X^* соответственно для состояния и выхода объекта:

$$(3) \quad x(t_F) \in X^*, \quad y(t_F) \in Y^*,$$

а в частных постановках задач - точные терминальные значения состояния x^* или выхода y^* :

$$(4) \quad x(t_F) = x^*, \quad y(t_F) = y^*.$$

При этом для объекта (1)-(2) требуется найти управляющее воздействие $u(t)$, обеспечивающее выполнение терминальных условий (3) или (4).

Концепция «невозмущенного-возмущенного» движения и классические принципы терминального управления ПО

В настоящее время широкое распространение получили два классических принципа терминального управления движением ПО - принципы «жестких» и «гибких» траекторий.

Принцип «жестких» траекторий реализует программно-позиционную стратегию управления и отвечает известной концепции «невозмущенного-возмущенного» движения Ляпунова-Летова и заключается в стабилизации заранее рассчитанной «жесткой» программной (номинальной, опорной) траектории движения объекта $x^*(t)$, обеспечивающей выполнение терминальной цели управления при «идеальных условиях» движения. Здесь алгоритм управления $u(t)$ состоит из программной составляющей $u^*(t)$, реализующей требуемое невозмущенное движение аппарата $x^*(t)$, и стабилизирующей составляющей $\Delta u(t)$:

$$u(t) = u^*(t) + \Delta u(t),$$

устраняющей его возмущенное движение $\Delta x(t)$ - отклонение фактического движения $x(t)$ от требуемого $x^*(t)$, вызванное действием неконтролируемых возмущающих факторов:

$$x(t) = x^*(t) + \Delta x(t).$$

Алгоритм программного управления является решением задачи терминального управления «в большом» на основе исходной нелинейной модели объекта (1)-(2). Здесь решение задачи расчета программных траекторий может осуществляться априорно (жесткое программирование) или непосредственно в процессе управления (свободное программирование) и связано с использованием вычислительных методов решения двухточечных краевых задач.

Алгоритм стабилизации является решением классической задачи управления «в малом» на основе его линеаризованной модели:

$$(5) \quad \Delta \dot{x} = A(t)\Delta x + B(t)\Delta u,$$

$$(6) \quad \Delta y = C(t)\Delta x,$$

где функциональные матрицы $A: T \rightarrow R^{n \times n}$, $B: T \rightarrow R^{n \times r}$, $C: T \rightarrow R^{m \times n}$ рассчитываются через матрицы Якоби правых частей уравнений (1)-(2):

$$A(t) = \left. \frac{\partial}{\partial x} f(t, x, u) \right|_*, \quad B(t) = \left. \frac{\partial}{\partial u} f(t, x, u) \right|_*, \quad C(t) = \left. \frac{\partial}{\partial x} g(t, x) \right|_*,$$

которые вычисляются для невозмущенного движения $(u^*(t), x^*(t))$.

Анализ стратегий управления на основе концепции «невозмущенного-возмущенного» движения показывает, что они оправданы, лишь, при малых возмущениях номинальной траектории движения ПО и становятся нерациональными при больших ее возмущениях.

Принцип «гибких» траекторий реализует чисто программную стратегию управления и заключается в реализации «гибкой», обновляемой (многократно пересчитываемой) с заданной периодичностью, программной траектории движения объекта, обеспечивающей выполнение терминальной цели управления в «реальных условиях» движения из состояния, соответствующего моменту времени ее обновления. Здесь рассчитываемый и исполняемый на каждом интервале обновления алгоритм программного управления является решением задачи терминального управления «в большом» на основе исходной нелинейной модели ПО (1)-(2).

Согласно терминологии Н.Н.Моисеева, способ управления по принципу «жестких» траекторий именуется коррекцией по заданной программе, а способ управления по принципу «гибких» траекторий - коррекцией по конечному состоянию.

Современные концепции гибких траекторий терминального управления ПО

Принцип «гибких» траекторий заключается в отказе от привязки управляемого движения ПО к заранее запланированной (номинальной) траектории и формировании (при необходимости) более выгодных траекторий движения к целевому состоянию исходя из фактических условий движения объекта. Возможны следующие три способа реализации данного принципа:

- 1) Процесс управления разбивается на временные *циклы*, на каждом из которых рассчитывается желаемая траектория движения, исходя из измерительной информации о фактическом состоянии объекта вначале этого цикла с учетом терминальных условий (3) или (4). В течение цикла расчетная (плановая) траектория стабилизируется.
- 2) Переход на новую плановую траекторию осуществляется при возмущениях расчетной траектории, превышающих заданный порог.
- 3) Планирование траекторий осуществляется для каждого состояния объекта. Данный способ можно интерпретировать как принцип «размораживания» начальных условий, суть которого состоит в построении алгоритма управления для фиксированных начального момента времени t_0 и начального состояния $\mathbf{x}(t_0) = \mathbf{x}_0$:

$$\mathbf{u} = \mathbf{h}(t | t_0, \mathbf{x}_0) ,$$

и далее – в замене начальных условий текущими:

$$\mathbf{u}(t) = \mathbf{h}(t | t, \mathbf{x}(t)) .$$

Качественное отличие стратегий управления на основе концепции «невозмущенного-возмущенного» движения и принципа гибких траекторий иллюстрирует рисунок 1.а. Здесь показано номинальное движение и рассмотрены три различные стартовые ситуации (1, 2, 3) для возмущенного движения. Стратегии жесткой траектории отвечают пунктирные кривые. Видно, что в ситуации 1 такая стратегия нерациональна, а в ситуации 3 - неприемлема. Для сравнения показаны соответствующие движения, реализующие принцип гибких траекторий.

На рисунке 1.б иллюстрируется возможность сочетания обоих принципов в решениях задач управления: в окрестности номинальной траектории вводится коридор стабилизации движений, внутри которого осуществляется стабилизация номинальной траектории. Вне данного коридора включается механизм действия гибких траекторий.

По типу программ терминального управления объектом различаются:

- *управление с временной программой*, когда программное значение управляемой величины задается в виде определенной функции времени;

- *управление с параметрической программой*, когда программное значение управляемой величины задается как определенная функция другой переменной (например, задание программного угла тангажа как функции величины кажущейся скорости объекта или задание программной величины перегрузки как функции величины пройденного объектом пути).

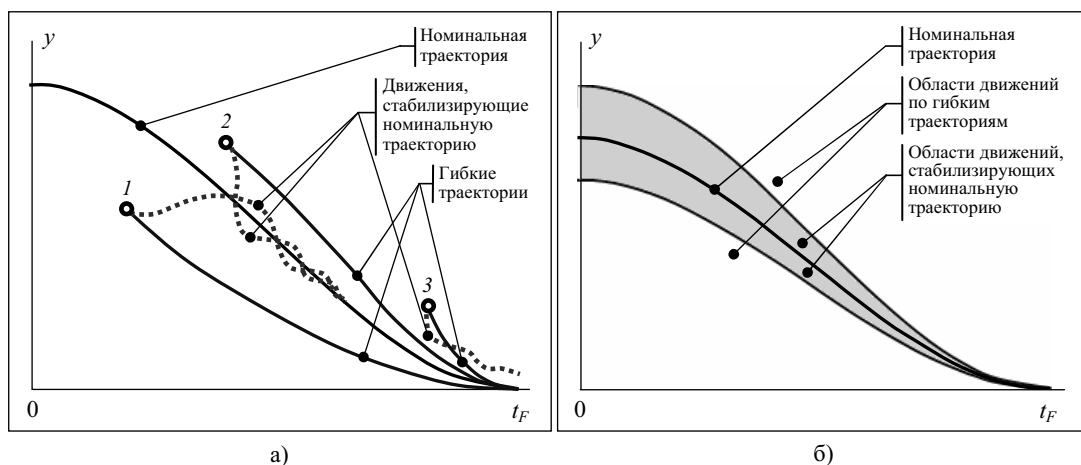


Рисунок 1

Высокие требования к качеству процессов терминального управления приводят к необходимости их оптимизации. Наибольшее распространение получили критерии оптимальности, характеризующие точность управления в терминальный момент времени (задача Майера) и качество управления на всем временном интервале (задача Лагранжа). Следует отметить, что в настоящее время широкое распространение имеет весьма спорная (на наш взгляд) точка зрения [2, 3], что «процессы управления в бортовых терминальных системах существенно стохастичны» и «наиболее подходящим, органически необходимым при построении бортовых терминальных систем управления является стохастический синтез оптимального управления».

Основная трудность решения задач терминального управления обусловлена их двухточечным краевым характером. Весьма эффективный подход к ее преодолению основан на использовании так называемого метода обратных задач динамики [4]. Характерная особенность последнего состоит в том, что сначала задается программное движение объекта (удовлетворяющее заданным краевым условиям), а затем определяется управление, реализующее это движение в силу динамики объекта. Однако, данный подход неприменим для общего класса нелинейных и негладких аффинных (линейных по управлению) объектов управления.

В традиционных постановках задачи терминального управления фиксируется терминального момента времени t_F . Однако, для широкого круга реальных задач терминального управления ПО такое ограничение оказывается нецелесообразным или даже недопустимым с точки зрения безопасности управляемых движений.

Терминальное управление ПО в физическом пространстве

Как правило, изучение проблематики терминального управления основывают на нелинейных моделях вида (1), (2) либо линейных (5), (6). Однако, данные модели носят весьма общий характер и не учитывают главную специфику задач управления подвижными объектами - кинематику движения в физическом пространстве. Обсудим этот момент на примере задач управления летательными аппаратами (ЛА).

Будем рассматривать ЛА как абсолютно твердое тело. В соответствии с правилами механики его движение разлагается на поступательное движение центра масс (ЦМ) и вращательное движение относительно ЦМ. Для определения положения ЛА в пространстве воспользуемся двумя системами координат: неподвижной, связанной с Землей, и подвижной OXYZ, связанной с объектом.

Тогда движение ЛА в физическом пространстве описывается уравнениями

$$(7) \quad \dot{\mathbf{r}} = \mathbf{v},$$

$$(8) \quad m(\dot{\mathbf{v}} + \boldsymbol{\omega} \times \mathbf{v}) = \mathbf{F},$$

$$(9) \quad \dot{\mathbf{K}} + \boldsymbol{\omega} \times \mathbf{K} = \mathbf{M},$$

$$\mathbf{K} = \mathbf{I} \boldsymbol{\omega}.$$

где $\mathbf{r}$ – вектор пространственных координат; $\mathbf{v}$ – вектор скорости ЦМ; $\boldsymbol{\omega} = (\omega_x, \omega_y, \omega_z)$ – вектор угловой скорости вращения аппарата, причем $\omega_x, \omega_y, \omega_z$ – его проекции на подвижные оси координат; m – масса, $\mathbf{I}$ – тензор инерции, $\mathbf{K}$ – кинематический момент аппарата относительно его ЦМ; $\mathbf{F}$ – результирующий вектор внешних сил, $\mathbf{M}$ – результирующий вектор моментов внешних сил.

Уравнения (8) и (9) записаны по отношению к подвижной системе координат. Данные уравнения необходимо дополнить кинематическими уравнениями Эйлера, связывающими угловые скорости $\omega_x, \omega_y, \omega_z$ с углами Эйлера ψ, θ, γ .

В структуру правых частей уравнений (8) и (9) входит вектор управляющих переменных

$$\mathbf{u} = (P, \delta_B, \delta_H, \delta_\Theta),$$

где P – сила тяги двигателей, $\delta_B, \delta_H, \delta_\Theta$ – углы отклонения руля высоты, руля направления и отклонения элеронов соответственно.

Решение задач управления подвижным объектом можно основывать на разложении механического движения объекта на составляющие (7)–(9).

Гибкие кинематические траектории терминального управления ПО

Распространенный способ планирования движений ПО основан на задании желаемого закона движения в виде зависимости пространственных координат управляемого объекта от времени: $\mathbf{r}(t), t = 0, t_F$. Это приводит к нестационарной постановке задач управления и включению фактора времени t в разрабатываемые алгоритмы управления, вследствие чего процесс управления оказывается жестко привязанным к запланированному терминальному моменту времени t_F . Однако, как отмечалось выше, такой подход противоречит логике многих реальных задач управления ПО.

Альтернативный способ алгоритмизации процессов управления базируется на формировании гибких кинематических траекторий движения объекта. Данные траектории рассматриваются как фиксированные кривые (геометрические объекты) в окружающем физическом пространстве, а процессы управления направлены на принуждение объекта двигаться по ним. Заметим, что именно такой подход воплощается в известных методах наведения ЛА [5].

Пример. Процесс управления продольным движением самолета представляет блок-схема на рисунке 2. На ней показан автопилот и выделены три блока (подсистемы), описывающих определенные составляющие продольного движения самолета: его вращение вокруг ЦМ, изменение вектора скорости и кинематику перемещения ЦМ. Здесь приняты следующие обозначения: P – сила тяги двигателя, δ_B – угол отклонения руля высоты, ω_z – угловая скорость

тангажа, α – угол атаки, V – воздушная скорость, θ – угол наклона вектора скорости к горизонту, H – высота полета, L – дальность воздушного участка полета.

Приведенная блок-схема указывает на возможность декомпозиции задачи управления полетом на две подзадачи: задачу управления вектором скорости самолета и задачу управления кинематической траекторией полета, причем последняя задается в виде функции высоты полета от дальности полета:

$$(10) H = H^*(L).$$

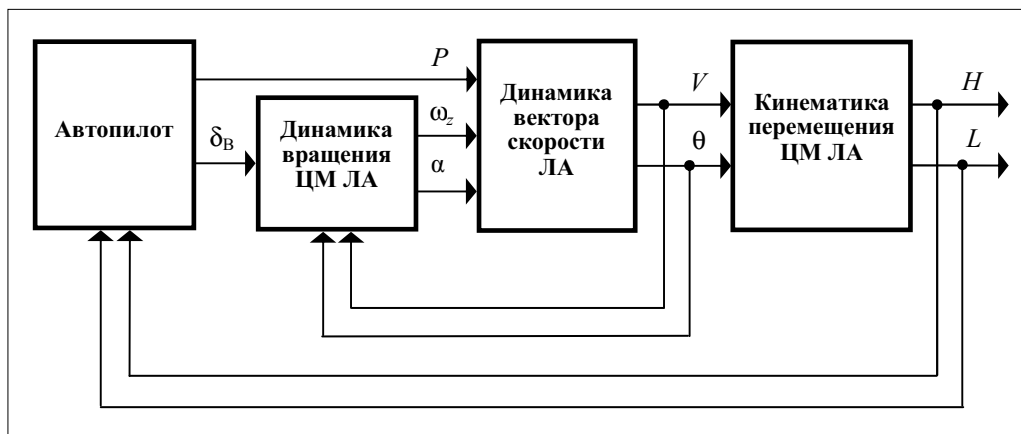


Рисунок 2

Данный подход реализуется в двухконтурной САУ, в которой внешний контур управления обеспечивает движение самолета по планируемой кинематической траектории движения (10), а подчиненный ему внутренний контур осуществляет управление скоростью движения самолета вдоль этой траектории.

Заключение

А.А. Красовский указывал на «кризис современной теории управления», для преодоления которого необходимо разрабатывать физическую теорию управления, опирающуюся на физические законы. В работе с данных позиций исследуется проблематика терминального управления ПО. Показывается актуальность и практическая значимость данного направления теоретических и прикладных исследований. Обосновывается необходимость его дальнейшего развития посредством интеграции методов теории управления и теоретической механики.

Список литературы

- [1] Батенко А.П. Системы терминального управления. - М.: Радио и связь, 1984.
- [2] Петров Б.Н., Портнов-Соколов Ю.П., Андриенко А.Я., Иванов В.П.. Бортовые терминальные системы управления: Принципы построения и элементы теории. - М.: Машиностроение, 1983.
- [3] Бек В.В., Вишняков Ю.С., Махлин А.Р. Интегрированные системы терминального управления. - М.: Наука, 1989.
- [4] Жевнин А.А., Колесников К.С., Крищенко А.П., Толокнов В.И. Синтез алгоритмов терминального управления на основе концепций обратных задач динамики (обзор) // Изв. АН СССР. Техн. кибернетика. 1985. № 4. - С. 180-188.
- [5] Горбатенко С.А., Макашов Э.М., Полушкин Ю.Ф., Шефтель Л.В. Расчет и анализ движения летательных аппаратов. Инженерный справочник. - М.: Машиностроение, 1971.

ON CHANGES IN KNOWLEDGE-BASED COMPETITION

U. Inden

Cologne University of Applied Sciences
Research Centre for Knowledge Management and Applications of Intelligent Systems
50678, Köln, Claudiusstrasse 1, Germany
udo-inden@fh-koeln.de

Key-words: *Business models, knowledge, proprietorship, Internet of Things, Things that Think, self-organisation*

Abstract

Существует некоторая движущая сила (импульс) потенциально разрушающего изменения относительно той роли, которую играют знания в реальных бизнес - моделях. Это изменение возникает из борьбы за экономию знания и развивается благодаря совмещению различных событий. Во-первых, Интернет “Вещей, которые думают” (расширенных объектов) станет решающим и распределенным источником знаний, а также вычислительных возможностей для их использования. Во-вторых, самоорганизующее взаимодействие автономных узлов принятия решения (включая «Вещи, которые думают») станет преобладающим, а вместе с этим изменится и парадигма “внедрения знаний в операционные системы”. Основанные на онтологиях мультиагентные системы демонстрируют в принципах разработки смещения “сложностных нагрузок” с пользователей на компьютер и, соответственно, на сети объектов (сервисов), которые формируются по требованию. И, наконец, управление динамикой осуществляется путем изменение правил в пределах самих знаний.

A few weeks ago we had a memorable discussion with board members of an international forwarding and logistics company. The discussion was about the sustainability of their most important asset: knowledge. On a first glance that's surprising. Logistics firms are specialists in organising and coordinating large-scale logistics systems around production sites or along supply-chains and well managed ones have grown and implemented their knowledge into operations systems, market relationships and particularly into staff. Experience and knowledge are hard to copy and IT-systems represent considerable investments.

However consider the idea of the “Internet of Things” (IoT)¹. First RFID-based applications are available and soon almost any object at any place and time can be tracked by type or if need be individually. There are integrated data storing applications for managing subsequent operations² in the service supply chain or storing logs of sensor-based process data for quality (e.g. state control) and security (e.g. access control) purposes in transport networks. A next step in this development is marked by Recon-Zeal Transcend³, a ski goggles with operations system, GPS and Wi-Fi for transmitting geo-coordinates. Also reflect that first dual-core Smart-phones (each 1 GHz) are already selling. Quad-cores will follow soon – as well as some gigabyte of active memory and storage or inductive charging of batteries, a million apps ... Another industry partner of us is running field-tests for RFID-enabled trolleys and tool-boxes. They know their content by reading tags on catering items or tools when they are stored or taken out of the device. The next version will be able of connecting

¹ Günthner W., ten Hompel M. (Hrsg.): Internet der Dinge in der Intralogistik. Heidelberg, London, New York 2010, Springer Verlag 2010

² We just finished a project with a supplier of „induction heating units“ (ovens) for aircraft galleys which are controlled by attached of appliances telling how particular meals shall be cooked. Other RFID chips are used e.g. in aviation industry for distinguishing genuine from faked spare-parts.

³ presented at CeBIT 2011, <http://www.youtube.com/watch?v=Cli0JDEHDSw>

into the internet and have considerable computing capacity: The Internet of Things becomes an Internet of Things that Think (not much, but a little: digitally augmented objects).

Questioning the sustainability of fundamentals of business models at a second glance is not that groundless: Soon there will be a world of objects able of taking an active part in the job of logisticians – probably at the end taking it all: *Let's use a multi-agent system as model for the way Things that Think may autonomously coordinate via the Internet.* I.e. each thing has access to an ontology and possesses of peer-to-peer negotiation protocols, either stored on-board or downloaded as service from the Cloud. Conventional MAS are contained in a software providing agents with an environment to negotiate, read and write data, communicate with external systems (e.g. legacy software⁴) etc. But why should it be contained?

Why shouldn't it be possible that Things that Think arrange "meetings" in the Cloud – probably not on any server farm in any country but in selected high-security ones. Larger companies likely will run Intranets. But as far as Things that Think will self-organise in these environments logistics providers will become operators of service infrastructures. Knowledge will be distributed across intelligent objects. Another point is that – given appropriate capabilities of designing and managing parallelisation of problems and applications – connecting some thousands of quad-core devices provides a significant computing capacity.

At this point our counterparts from the logistics company dared a strong statement:

"OK, all this likely will happen. But we claim possessing the proprietary knowledge for feeding ontologies and programming devices or agents' operations environments!" However this claim is hard to be defended. The comparison with MAS has a deeper meaning to logistics

- in a first instance as a model of an appropriate architecture for decision making in distributed systems under high complexity,
- in a second one as a new paradigm of using knowledge for mastering complexity
- and beyond as a paradigm which may undermine the fundament of business models (not only) of logistics providers: the proprietorship of knowledge.

We define logistics as *"coordination of activity in distributed systems with the objective of properly allocating resources in response to orders and to KPI as defined in corporate operations strategy"*⁵. I.e. logistics systems at least are "complexity-prone". Actually in concurrent economies it is hard to find any trivial logistics system. Almost all consist of large numbers of widely autonomous but interdependent "nodes of decision making"⁶ (which in future will include the Things, massively distributed across numerous dimensions⁷, being open to external events (weather, strikes ...) and each making decisions based on local, i.e. partial knowledge. Inevitably such dynamics drive their floor of interference which because of non-linear behaviour (small cause – big effect) can become critical and run out of control at any time. We know logistics experts calling themselves "masters of complexity" – halfway joking but halfway proudly and to that degree also validly. Most of them do a good job.

In fact logistics is struggling with an increasing complexity primarily boosted by two developments "globalisation" and modern ICT. Both drive scales of networks of potentially interacting nodes translating into even more disadvantages of centralised, hierarchical structures. If any small detail

⁴ There are solutions enabling e.g. Enterprise Resource Planners or Warehouse Systems to participate in P2P environments. Also SAP systems are likely soon to become distributed rather than monolithic monsters.

⁵ In a narrow meaning „activity“ concerns exchange processes respectively flows of material objects within the system and interaction with its economic environment. In a wider meaning also the exchange / flow information (information logistics) and all other objects being exchanged may be included respectively also interactions with non-economic environments, e.g. the natural one.

⁶ „Nodes“ concentrating flows of information, accumulating knowledge and translating both into decisions

⁷ Dimensions of distribution include geography (distance), time (e.g. time-zones), organisations (departments, companies), technology (implying e.g. interfaces) and many more.

may become a source and / or a target of events⁸ central nodes are loosing chance of responding in time to events – in terms of information gathering and processing, of transferring decisions and controlling execution. On one side authorisation is delegated to local (closer to events) and smaller (less local complexity) nodes of local decision making. On the other side these local nodes need means of global coordination.

In principle there are two strategies for solving the problem of global interdependence: The first one uses so-called “System-Wide Information Systems” (SWIMS)⁹ which shall provide all relevant information to all nodes simultaneously. In combination with standard procedures this is a variant of a centralised organisation. It works as far as local events can be contained respectively effects do not propagate faster than information can be broadcasted as well as translated into response by potentially affected neighbour nodes (information processing, decision making and effective implementation of decision).

The second strategy relies on chances of self-organisation – using architectures as exhibited by multiagent systems: Particular protocols organise response and nodes are connected by a communication buses open for any rather than standardised information as used in SMIMS. All nodes read and learn from ontology whether they are concerned or not and if act accordingly. This works in the reach of ontologies, i.e. different ontologies need to have complementary content and if new information is to be processed ontologies are to be adapted. The process of self-organised solution finding relies on relatively simple proceedings:

In self-organising architectures a problem is defined by a mismatch between objectives and state of at least one agent. This mismatch may be induced by an unplanned event and will trigger negotiations with other agents which again may imply that their states mismatch to their objectives. This process will come to an end when all agents are satisfied – which in case of real-time operations and a high frequency of unplanned events is a rare since the system continuously adapts and tries matching all objectives as good as possible in case in real-time.

Please note that in the last paragraph “agent” and “node of decision making” have been used synonymously. There is no logical difference between the CEO and Things that Think: There are differences in terms of power and CEOs (and other managers) make strategic or political decisions. But strategic decisions are external events to the system inducing new KPI, new types of order and more to be accommodated in the ontology and difference in power can be modelled as a weight of and. However when it comes to (close to) real-time operations weights change and neither a wise dispatcher nor a wise CEO will ignore local information on actual states of any relevant “TtT”: The heartfelt grown of operators „If we would only know where it is an whether it works ...“ is about the criticality of real operations’ scenes where any detail matters and large risk are about to realise. I.e. the simple factual knowledge provided by augmented objects may make the difference between chaos and capacity of acting.

As a first interim result we state that architectures of conventional MAS (software agents contained in a particular software environment) also apply to the coordination of any, also non-contained distributed system including interactions with augmented objects. *Now, if this is true, what is the impact of the way ontology-based MAS deal with knowledge and complexity to the claim of “masters of complexity”?* In contrast to any other case developers of MAS do not have to design the complexity of domain into the system.

An admittedly simplified example can provide the scene: Services around aircrafts and passengers at airports like air-catering, baggage logistics or fresh-water provision and many more need vehicles (trucks) for transportation on apron fields. Most of these services are provided by

⁸ The „granularity object and time“ increases.

⁹ E.g. used respectively intended to be fully implemented e.g. by the Single European Sky Program for coordinating aviation systems across hundreds of airports and thousands of flights.

different contractors and each one will plan its vehicles independent from others. The activity of these services is coordinated by active flight-plans and service level agreements like “baggage service is expected to stay ready at the parking position when the aircraft arrives”. Since all trucks need fuel let’s assume that two of them now are standing in queue at the only apron field gas station and that one of them – e.g. the catering truck – is in a hurry because of peak time and lack of resources. For this situation a particular business process is to be implemented. And this process of implementation differs fundamentally between conventional software development and ontology-based MAS.

In conventional software these business processes need to be implemented for each service separately. In fact it is a question of version by version advancements: E.g. the first one of the catering planner may not even know the process of fuelling and when it is implemented in the next version they may stumble upon the problem of queues – which cannot be solved within the reach of the catering service planner: It needs an agreement on proceedings between all services requiring fuel and the gas station. Later catering planner developers learn that they have designed different solutions at different airports and decide improving by implementing a more abstract architecture – which will need agreements across gas stations and fuel customers at all airports in question are to be made. The point is that developers need to understand the whole complexity and then to find a way how designing it into the software.

In MAS you do the following: First developers of catering as of any other service planner implement the class of vehicles with the properties “level of fuel”, “rate of fuel consumption” and “needs gas” in the ontology as well as a rule that respective agents pay (virtual money) for services they require with respect to opportunity costs (e.g. penalties to be paid if the truck is late). “Needs” is a property that can establish a relation activated by e.g. a threshold of “level of fuel”. Developers of the gas-station service will implement “provides gas” and e.g. “number of gas pumps”, “litres pumped per minute” and finally rules like “the truck offering the highest payment is served first”. Developers do this independently from each other just because trucks need fuel and they know (because it is published) that there is a gas station offering prioritisation for payment. They may leave this for the beginning and implement it later by adding properties like those mentioned. In the moment this is done truck agents will check fuel levels, go to the station and if need be pay for priority.

The point is that users do not need to understand, particularly not modelling the whole complexity. Instead they “just” have to model the ontology i.e. need to know all objects and related properties relevant to the business process. This is a level of understanding mastered by any experienced operator. *The actual complexity of the domain will be emerged by dynamic interactions of agents (as a genuine property of a system of interdependent but autonomously deciding nodes).* And it should be noted that in contrary to conventional software MAS possess of generic capabilities of parallelisation.

Now as a second interim result we can note that *future systems will make “mastering complexity” much easier and by this drive a serious risk that the knowledge logisticians for good reason are proud of will be devaluated by technologies enabling “to emerge the complex from the simple”.* However not accidently multiagent systems are a model of complex knowledge driven organisations. They are considered to be “intelligent systems” processing knowledge for creating targeted answers to unplanned events. *The Internet of Things that Think as well as of MAS are result of an evolutionary process which follows and in this process also changes the significance of knowledge in economic competition.*

Knowledge (and with this intelligence) have been the major resource of any business at any time¹⁰. And any organisation at any time has been a knowledge-processing system. But in the last 50 years with an increasingly networked world driving over-linear growth of complexity and knowledge and innovation activity, knowledge became an issue of competition.

It is crucial to emphasise that this is a *competition for market-effective knowledge, i.e. for successfully generated new sustaining streams of returns*. It involves a variety of skills to be concerted: Intelligence in terms of finding relevant content (research, analysis ...), creative intelligence developing new content as well as knowledge and intelligence to implement new concepts across organisations and in markets. *Knowledge and intelligence had become the most crucial sources in competition*.

In the 1960th Peter Drucker conceived the concept of “knowledge work” i.e. of jobs processing and creating knowledge (engineers, foremen, managers ...) and of staff needing education rather than just training. 1995 Nonaka and Takeuchi published “The Knowledge-Creating Company”¹¹ addressing the “dynamics of innovation”: Answering to growing complexity of competitive environments intelligent, knowledgeable, dedicated staff became pillar of success¹². Knowledge and intelligence had turned into properties of organisations. Knowledge management developed as a business – and knowledge-processing technologies developed.

With increasing complexity and dynamics of competitive environments *new knowledge became a very rare resource in any business*. Thus in point of fact *knowledge management and knowledge processing technology follow one the most basic imperatives of competitive economy: increase economies of scale of the rarest resource!* Knowledge Management has been a first step enabling dissemination and re-usability of knowledge and the second one is implementing automated knowledge processing.

The third intermediate result is that *findings do not only apply to logistics. Actually the issue is much more general and it applies to almost any business, probably except to corner pubs, book-stalls or mom-and-pop stores*. All this happens because of fundamental rules of resource efficiency – which into the bargain now are also going to attack proprietorship, the legal fundament of knowledge-based business models:

Conventional business models rely on the proprietary of knowledge and try to protect it. As we know protection becomes harder the more digital content prevails. Also industrial spying or reverse engineering have a long history. And at least in the retrospective there are amusing stories of unsuccessful attempts to fight against industrial impersonators.¹³ Open source has become a counterweight to the power of large software providers – not at least as a competitive strategy of Sun or IBM to fight Microsoft.¹⁴

Open source products become open by (in case conditioned) licenses waving individual property rights restricting the use. From the perspective of a developer the motivation may be gaining

¹⁰ The first guy making his living from shaping the first stones some thousand years ago based his business on knowledge about stones, ways of working on them etc. The next some thousand years not that much happened thus no reason arrived elaborating a particular way of “managing” this resource. But than ...

¹¹ Nonaka, I., Takeuchi, H.: The Knowledge-Creating Company: How Japanese Companies Create the Dynamics of Innovation. Oxford University Press 1995

¹² E.g. proven by hundreds of case-studies underlying the Industrial Excellence Award „Die Beste Fabrik“ issued since 1995 in Germany, France and Spain by INSEAD, Fontainebleau, and the Beisheim School of Management (WHU), Koblenz.

¹³ In the 18th century Germany has been the Japan, Korea or China of Europe and ‘Made in Germany’ should differentiate British originals from German copies successfully competing on British markets with cheaper products. But with the time the copies became better ...

¹⁴ Halloween Document I (Version 1.17): „OSS poses a direct, short-term revenue and platform threat to Microsoft, particularly in server space. Additionally, the intrinsic parallelism and free idea exchange in OSS has benefits that are not replicable with our current licensing model and therefore present a long term developer mindshare threat.“ --- <http://www.catb.org/~esr/halloween/halloween1.html>

reputation in a society respectively for firm e.g. commoditizing the product in fighting competition and initiating network effects of the type “the more users the more likely the product will set a standard”. Most cases rely on a mix of arguments but the network aspect likely is the most important driver of economics emerging a by far more fundamental attack to conventional business models. But in case of reason is al aspect behind not at least demonstrated by the early years of software development when sharing code was usual.

Sharing knowledge is a “silver bullet” of growing knowledge – particularly in a time knowledge has become a crucial and rare resource. This is the source energizing network effects of open source communities: Developers, firms and users have different roles in the network, but all are sharing first-hand knowledge or knowledge-rich products.

And I figure that the same arguments become effective in the competition between Microsoft and Google: While MS’s business model relies on licensing proprietary software, Google’s proprietary search engine attempts making as much knowledge as possible non-proprietary – ready for public use, i.e. for sharing. Google is serving the demand for ‘knowledge supply’, as Wikipedia, blogs or social networks do in a different way. All of us, whether private persons or firms exploit these sources for finding, evaluating, structuring, and implementing ideas.

But not enough, now in half the time Google needed to catch up with Microsoft social networks attack the business model of Google: Albeit the realisation of the Semantic Web up to today is lacking behind the vision¹⁵ its interplay with the Social Web is going to produce a new dynamics. “If both paradigms are brought together two complementary paths of development will emerge: On one side the “semantically enabled social software, i.e. the enhancement of Web 2.0 content by meta data which can be processed by machines, and on the other side the “socially enabled semantic web” i.e. the collaborative provision of large-scale and structured data enabling mashups and rich-content applications.”¹⁶

Modifying a prominent saying: In this world “streets are paved by knowledge”. Why fighting tons of crap information if there is a friend (a trusted person) in the network knowing the answer. You can also discuss and deepen the understanding of the question and the answer(s). These developments will intensify competition for faster and more effective implementation of new knowledge, likely in engineering and administrative work, but particularly in the development of service content of products.

Today neither it is obvious how change of competitive paradigms sketched will affect individual businesses nor on which ways they may penetrate industry sectors. But effects are real. With the logistics company we plan studies on the structures of knowledge substantiating their business model and on risks which may derive from developments.

¹⁵ E.g. see Yoav Techlet „Is the Semantic Web just a dream?“ June 1, 2010 in <http://memeburn.com>

¹⁶ Blumauer, Pellegrini: Social Semantic Web, Springer 2009: S 8 [translation by author]

К ЗАДАЧЕ ОПТИМАЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМ С РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ

Э.Я. Рапопорт

Институт проблем управления сложными системами РАН

443020, Самара, ул. Садовая, 61, Россия

cscmp@iccs.ru

тел: +7 (846) 332-39-27, факс: +7 (846) 333-27-70

Ключевые слова: система с распределенными параметрами, оптимальное проектирование, равномерные приближения, стационарное состояние, альтернансный метод, внутренние и граничные, распределенные и сосредоточенные управляющие воздействия, стационарные температурные поля

Abstract

The problem of optimal design of distributed parameter systems is reduced to the optimal control problem with space-distributed control actions. A precise method based on a special procedure of successive parametrization of control actions is proposed to solve boundary-value optimal control problems for distributed parameter systems with the tolerances for deviations from the required stationary state of the controlled object specified in the uniform metric. The method is used to solve the optimal control problem of the stationary temperature field.

Введение

Актуальные задачи управления динамическими объектами с распределенными параметрами (ОРП) [1-4], как правило, исследуются в предположении о достижимости заданных конечных состояний ОРП, в том числе, стационарных состояний в соответствующих системах их стабилизации. Однако, в целом ряде типичных для приложений случаев ОРП оказываются неуправляемыми относительно желаемых финишных распределений управляемой величины по пространственным координатам, в частности, по характерной причине их несогласованности с граничными условиями краевой задачи, моделирующей поведение объекта [5-8]. В итоге, возникает малоизученная проблема фактического определения оптимальных в некотором смысле и технически реализуемых стационарных состояний ОРП в подобных ситуациях, которая, кроме того, приобретает самостоятельный интерес с позиций оптимального проектирования систем с распределенными параметрами, к числу основных аспектов которого как раз относится отыскание соответствующих пространственно-распределенных управляющих воздействий.

В настоящей работе применительно к типовым линейным одномерным моделям ОРП с сосредоточенными и распределенными управляющими воздействиями предлагаются постановка и конструктивный метод решения оптимальной задачи минимизации в равномерной метрике ошибки приближения реализуемого статического пространственного распределения управляемой величины к требуемому в условиях неполной управляемости объекта относительно заданного стационарного состояния. Предлагаемые вычислительные алгоритмы сводятся к применению альтернансного метода [8, 9], распространяющего на рассматриваемую задачу известные результаты теории нелинейных чебышевских приближений [10]. Устанавливаются существенные особенности альтернансных свойств оптимальных в указанном смысле стационарных состояний ОРП по сравнению с задачами динамической оптимизации.

Исследуются порождаемые уравнениями энергетического или материального баланса специфические зависимости ограничений на искомые управляющие воздействия от внешних

факторов и допусков на отклонения реализуемого статического состояния объекта от требуемого.

1 Постановка задачи

Применительно к типовым пространственно-одномерным моделям объекта с распределенными параметрами [6, 8] его стационарное, неизменное во времени t состояние $Q(x)$ описывается в зависимости от пространственной координаты $x \in [x_0, x_1]$ при $\partial Q / \partial t \equiv 0$ обыкновенным линейным дифференциальным уравнением второго порядка:

$$(1) \quad C(x) \frac{d^2 Q(x)}{dx^2} + B(x) \frac{dQ(x)}{dx} + C_1(x) Q(x) + f(x, u(x)) = 0; \quad x_0 \leq x \leq x_1$$

с краевыми условиями

$$(2) \quad \alpha_0 Q(x_0) + \beta_0 \frac{dQ(x_0)}{dx} = f_0(u_0); \quad \alpha_1 Q(x_1) + \beta_1 \frac{dQ(x_1)}{dx} = 0,$$

распределенным $u(x)$ и сосредоточенным $u_0 = const$ внешними воздействиями, подчиненными ограничениям

$$(3) \quad u_{\min} \leq u(x) \leq u_{\max}; \quad u_{0\min} \leq u_0 \leq u_{0\max},$$

достаточно гладкими заданными функциями f, f_0 своих аргументов и коэффициентами $C, B, C_1, \alpha_0, \beta_0, \alpha_1, \beta_1$, где $\alpha_0, \beta_0, \alpha_1, \beta_1 = const$ и всегда $C > 0$.

Как правило, в качестве управляющего воздействия используется одна из величин $u(x)$ или u_0 , а другая выступает в роли внешнего возмущения.

Пусть качество процесса управления объектом (1) – (3) характеризуется минимаксным критерием, оценивающим предельно достижимую точность приближения $Q(x)$ к заданному пространственному распределению $Q^0(x)$ в равномерной метрике:

$$(4) \quad I = \max_{x \in [x_0, x_1]} |Q(x) - Q^0(x)| \rightarrow \min_{u \in \{u_0, u(x)\}}.$$

Рассмотрим следующую задачу оптимального управления.

Требуется найти стесненное условиями (3) граничное или (и) внутреннее управляющее воздействие $u_0^* = const$ или $u^*(x)$ и соответствующее ему стационарное состояние $Q^*(x)$ для объекта (1), (2), при которых функционал качества (4) принимает наименьшее значение.

В типичных для приложений ситуациях объект (1) – (3) может оказаться неуправляемым относительно заданных состояний $Q^0(x)$, в частности, при

$$(5) \quad Q^0(x) = Q_c^0 = const, \quad x \in [x_0, x_1]$$

в задачах с управлением $u(x)$ при $f_0(u_0) > 0$ в (2) [5-8], и тогда $\min_u I > 0$ в (4).

Далее везде для простоты без потери общности основных получаемых результатов ограничимся случаем постоянных значений коэффициентов C, B, C_1 в (1).

2 Задача управления стационарным состоянием ОРП с граничными управляющими воздействиями

В задаче (1) – (4) с граничным управлением $u_0 = \text{const}$ при $f(x, u(x)) = 0$ в типичном случае $f_0(u_0) = u_0$ однородное уравнение объекта (1) с постоянными коэффициентами $C, B, C_1 = \text{const}, C > 0$, имеет известное общее решение

$$(6) \quad Q(x) = D_1 u_0 F_1(x) + D_2 u_0 F_2(x)$$

с постоянными интегрирования D_1 и D_2 , определяемыми из граничных условий (2):

$$(7) \quad D_1 = \frac{\alpha_1 F_2(x_1) + \beta_1 \frac{dF_2(x_1)}{dx}}{P}; \quad D_2 = -\frac{\alpha_1 F_1(x_1) + \beta_1 \frac{dF_1(x_1)}{dx}}{P};$$

$$(8) \quad P = \left[\alpha_0 F_1(x_0) + \beta_0 \frac{dF_1(x_0)}{dx} \right] \cdot \left[\alpha_1 F_2(x_1) + \beta_1 \frac{dF_2(x_1)}{dx} \right] - \\ - \left[\alpha_0 F_2(x_0) + \beta_0 \frac{dF_2(x_0)}{dx} \right] \cdot \left[\alpha_1 F_1(x_1) + \beta_1 \frac{dF_1(x_1)}{dx} \right].$$

Здесь

$$(9) \quad F_1(x) = e^{r_1 x}; \quad F_2(x) = e^{r_2 x};$$

$$(10) \quad F_1(x) = e^{\lambda x}; \quad F_2(x) = x e^{\lambda x};$$

$$(11) \quad F_1(x) = e^{\lambda x} \sin(\omega x); \quad F_2(x) = e^{\lambda x} \cos(\omega x)$$

соответственно, при выполнении соотношений

$$(12) \quad \frac{B^2}{4C^2} - \frac{C_1}{C} > 0; \quad \frac{B^2}{4C^2} - \frac{C_1}{C} = 0; \quad \frac{B^2}{4C^2} - \frac{C_1}{C} < 0, \quad ,$$

определяющих характер корней характеристического уравнения объекта (1):

$$(13) \quad r_{1,2} = -\frac{B}{2C} \pm \sqrt{\frac{B^2}{4C^2} - \frac{C_1}{C}}; \quad \lambda = -\frac{B}{2C}; \quad \omega = \sqrt{\frac{C_1}{C} - \frac{B^2}{4C^2}} \quad \text{при} \quad \frac{B^2}{4C^2} - \frac{C_1}{C} < 0.$$

В соответствии с (6) – (8) к числу достижимых относятся требуемые состояния $Q^0(x)$ в (4), если они задаются в виде

$$(14) \quad Q^0(x) = D_1^0 F_1(x) + D_2^0 F_2(x)$$

с фиксированными значениями постоянных коэффициентов D_1^0 и D_2^0 , для которых, во-первых, согласно (6), выполняется равенство

$$(15) \quad \frac{D_1^0}{D_2^0} = \frac{D_1}{D_2},$$

и, во-вторых, соответствующее $Q^0(x)$ управление

$$(16) \quad u_0 = \frac{D_1^0}{D_1} \quad \text{или} \quad (и) \quad u_0 = \frac{D_2^0}{D_2}$$

определяемое в такой форме на основании (6), (15), удовлетворяет ограничению (3). Если указанные условия выполняются, то в (16) $u_0 = u_0^*$, $Q^*(x) = Q^0(x)$ при таком управлении, и $I = 0$ в (4).

Например, при $C_1 = 0$, $B \neq 0$ в (1) будем иметь в (9) – (13):

$$(17) \quad r_1 = -\frac{B}{C}; r_2 = 0; Q(x) = D_1 u_0 e^{r_1 x} + D_2 u_0,$$

и если требуется обеспечить равномерное распределение (5), представимое в виде (17)

$$Q_c^0 = D_1^0 e^{r_1 x} + D_2^0, \text{ где } D_1^0 = 0; D_2^0 = Q_c^0,$$

то равенство (15) заведомо выполняется при $D_1 = 0$, $D_2 > 0$, что всегда имеет место, согласно

$$(7), (8), (17) \text{ при } D_2 = \frac{1}{\alpha_0}, \text{ если } \alpha_0 > 0; \beta_0 \geq 0; \alpha_1 = 0; \beta_1 > 0.$$

Управление u_0^* находится в таком случае в соответствии с (16):

$$(18) \quad u_0^* = \frac{D_2^0}{D_2} = \alpha_0 Q_c^0,$$

если при этом не нарушается ограничение в (3).

Во всех ситуациях, отличных от (14) – (16), объект оказывается неуправляемым относительно $Q^0(x)$ и задача сводится к минимизации критерия (4) при заданном состоянии $Q^0(x)$ и определении $Q(x)$ в форме (6):

$$(19) \quad I = \max_{x \in [x_0, x_1]} \left| u_0 [D_1 F_1(x) + D_2 F_2(x)] - Q^0(x) \right| \rightarrow \min_{u_0}.$$

Нетрудно показать, что решение задачи (19) может быть найдено в виде:

$$(20) \quad u_0^* = \frac{Q^0(x_1^*) + Q^0(x_2^*)}{D_1 [F_1(x_1^*) + F_1(x_2^*)] + D_2 [F_2(x_1^*) + F_2(x_2^*)]},$$

следующем из соотношения

$$(21) \quad \max_{x \in [x_0, x_1]} (Q^*(x) - Q^0(x)) = - \min_{x \in [x_0, x_1]} (Q^*(x) - Q^0(x)),$$

где x_1^* и x_2^* - соответственно координаты точек максимума и минимума разности $Q^*(x) - Q^0(x)$, определяемые в ходе итерационной процедуры вычисления u_0^* в форме (20), на первом шаге которой значения x_1^* и x_2^* находятся при $u_0 = 1$ в (19). В большинстве практически встречающихся ситуаций эти величины не требуют уточнений. В итоге, u_0^* находится по выражению (20), если получаемое таким способом граничное управление не нарушает ограничение (3), либо оно, в противном случае, принимает одно из своих предельно допустимых значений $u_{0\max}$ или $u_{0\min}$.

3 Задача управления стационарным состоянием ОРП с внутренними распределенными управляющими воздействиями

Рассмотрим минимаксную задачу (1) – (4) при

$$(22) \quad f(x, u(x)) = u(x) + g(x); u_{\min} = 0; u_{\max} + g(x) > 0; f_0(u_0) = u_0$$

с распределенными внутренним управляющим воздействием $u(x)$ и внешними возмущениями $g(x) < 0$, $u_0 > 0$ в типичном случае неуправляемости объекта относительно некоторого заданного состояния $Q^0(x)$, для которого при $Q(x) = Q^0(x)$ не удовлетворяется граничное условие (2) для $x = x_0$ [5, 6]. В частности, для характерного варианта (5) обычно выполняется нарушающее это условие неравенство $u_0 < \alpha_0 Q_c^0$ в отличие от соотношения (18) при граничном управлении.

Переходя к нормальной форме записи, получим описание объекта управления (1), (2) в виде системы двух уравнений первого порядка

$$(23) \quad \begin{aligned} \frac{dQ(x)}{dx} &= Q_1(x); \\ \frac{dQ_1(x)}{dx} &= -\frac{1}{C} [BQ_1(x) + C_1Q(x) + u(x) + g(x)] \end{aligned}$$

с подвижными концами траектории на фазовой плоскости координат Q, Q_1 , принадлежащими прямым

$$(24) \quad \alpha_0 Q(x_0) + \beta_0 Q_1(x_0) = u_0; \quad \alpha_1 Q(x_1) + \beta_1 Q_1(x_1) = 0$$

для любых фиксированных значений $u_0 = const$.

Задача (1) – (4), (22) сводится [11] к эквивалентному виду (23), (24), (3), (25) – (27) с интегральным функционалом качества

$$(25) \quad I_1 = \frac{1}{x_1 - x_0} \int_{x_0}^{x_1} \varepsilon dx = \varepsilon \rightarrow \min_{u(x), \varepsilon};$$

фазовым ограничением

$$(26) \quad |Q(x) - Q^0(x)| - \varepsilon \leq 0, \quad x \in [x_0, x_1]$$

и параметром $\varepsilon = const > 0$, для которого

$$(27) \quad \frac{d\varepsilon}{dx} = 0.$$

Если решение $\tilde{u}^*(x)$ этой задачи, которое находится без учета условий (26), тем не менее, автоматически им удовлетворяет, то стандартная процедура принципа максимума с функцией Понтрягина

$$(28) \quad H(Q, Q_1, u, \psi, \varepsilon) = -\varepsilon + \psi_1 Q_1 - \psi_2 (BQ_1 + C_1Q + u(x) + g(x)) \frac{1}{C},$$

где $\psi = (\psi_1, \psi_2)$ – вектор сопряженных переменных, определяет $\tilde{u}^*(x)$ в форме кусочно-постоянной функции пространственной координаты

$$(29) \quad \tilde{u}^*(x) = \frac{u_{\max}}{2} [1 + \text{sign } \psi_2(x)],$$

где сопряженная переменная $\psi_2(x)$ описывается на всех интервалах ее непрерывности дифференциальным уравнением

$$(30) \quad \frac{d^2 \psi_2}{dx^2} - \frac{B}{C} \frac{d\psi_2}{dx} + \frac{C_1}{C} \psi_2 = 0, \quad x \in \{\tilde{x}_m^*, \tilde{x}_{m+1}^*\}, \quad m = \overline{1, r}, \quad \tilde{x}_{r+1}^* = x_1.$$

Здесь $\tilde{x}_m \in [x_0, x_1]$, $m = \overline{1, r}$, – координаты $r \geq 0$ точек отражения от допустимой границы в (26) [12], в которых могут выполняться строгие равенства в (26) без участков движения по этому ограничению в рамках исходного предположения, и в которых, согласно условию скачка для ограничивающей поверхности в (26) второго порядка [12] сопряженные переменные претерпевают разрывы первого рода.

Таким образом, $\tilde{u}^*(x)$ представляется, согласно (29), в параметризованной форме с точностью до числа $N \geq 0$ и конкретных значений вектора $\Delta^{(N)} = (\Delta_i^{(N)})$, $i = \overline{0, N}$, координат $\Delta_i^{(N)}$ точек переключений на отрезке $[x_0, x_1] \ni \Delta_i^{(N)}$, где $\Delta_0^{(N)} = 0$.

Здесь N зависит как от числа r точек отражения $\tilde{x}_m$, $m = \overline{1, r}$, в силу условий скачка для сопряженных переменных, так и от числа нулей функции $\psi_2(x)$, и следовательно, количество интервалов постоянства $\tilde{u}^*(x)$ не ограничивается порядком модели (30) при любых корнях ее характеристического уравнения.

При любом кусочно-непрерывном управлении $u(x)$, стесняемом ограничением (3), управляемая функция состояния $Q(x)$ описывается в условиях (22) следующим решением уравнения (1) с постоянными коэффициентами в зависимости от граничных значений $Q(x_0)$ и $\frac{dQ(x_0)}{dx}$ [13]:

$$(31) \quad Q(x) = - \int_{x_0}^x (u(\xi) + g(\xi)) G(x - \xi) d\xi + Q(x_0) \left[C \frac{dG(x)}{dx} + BG(x) \right] + CG(x) \frac{dQ(x_0)}{dx}, x \in [x_0, x_1],$$

где $G(x)$ – известная функция Грина такой краевой задачи.

При заданном управлении вида (29) выражение (31) определяет зависимость $Q(x)$ от вектора $\Delta^{(N)}$ параметров $\tilde{u}^*(x)$ с точностью до трех постоянных $u_{\max}$, $Q(x_0)$, $\frac{dQ(x_0)}{dx}$, выбор которых стесняется двумя граничными условиями (2).

В результате одна из этих постоянных, либо непосредственно связанная с ней составляющая разности $Q(x) - Q^0(x)$ в (26), фигурирует, наряду с $\Delta^{(N)}$, в роли дополнительной параметрической характеристики $Q(x)$, в функции которой (или независимо от нее) остальные неопределенные величины находятся из соотношений (2).

В частности, подобная процедура фиксирует устанавливаемую по условиям энергетического или материального баланса в стационарном состоянии объекта максимальную величину $u_{\max}$ управляющего воздействия в (3), которая обычно задается в качестве априорной информации в задачах управления динамическими режимами функционирования ОРП.

В итоге, вычисление интеграла (31) с параметризованным релейным управляющим воздействием вида (29) позволяет получить отклонение $Q(x) - Q^0(x)$ в форме явной функции $Q(x, \tilde{\Delta}^{(M)})$ от вектора параметров $\tilde{\Delta}^{(M)}$, где

$$(32) \quad \tilde{\Delta}^{(M)} = (\tilde{\Delta}_i^{(M)}), i = \overline{0, M}; M = N + 1; N \geq 0; \tilde{\Delta}_i^{(M)} = \Delta_i^{(N)}, i = \overline{0, N}; \Delta_0^{(N)} = 0,$$

к числу которых, кроме точек $\Delta_i^{(N)}$ переключения $\tilde{u}^*(x)$ относится указанный дополнительный параметр $\tilde{\Delta}_M^{(M)}$.

Если теперь управление $\tilde{u}^*(x)$ не нарушает фазового ограничения (26), то задача (3), (23) – (27) сводится к конечномерной задаче минимизации по $\tilde{\Delta}^{(M)}$ ошибки равномерного приближения $Q(x, \tilde{\Delta}^{(M)})$ к нулю на отрезке $[x_0, x_1]$:

$$(33) \quad I_1 = \varepsilon = \max_{x \in [x_0, x_1]} |Q(x, \tilde{\Delta}^{(M)})| \rightarrow \min_{\tilde{\Delta}^{(M)}}.$$

В типичных для приложений случаях решение $\tilde{\Delta}^* \in \{\tilde{\Delta}^{(M)}\}$ задачи (33) при заданном числе M обладает в условиях малостеснительных ограничений специальными альтернансными свойствами [8, 9], согласно которым не менее, чем в $M+1$ точках $x_j^0, j = \overline{1, M+1}$

$$(34) \quad x_0 \leq x_1^0 < x_2^0 < \dots < x_M^0 < x_{M+1}^0 \leq x_1,$$

образующих чебышевский альтернанс [10] на отрезке $[x_0, x_1]$, выполняются равенства

$$(35) \quad Q(x_j^0, \tilde{\Delta}^*) = \mu(-1)^j \varepsilon_{\min}^{(M)}, \quad j = \overline{1, M+1}; \quad \mu = \pm 1,$$

где совпадающий с минимально достижимой величиной I_1 минимакс $\varepsilon_{\min}^{(M)}$ определяется следующим соотношением:

$$(36) \quad \varepsilon_{\min}^{(M)} = \min I_1 = \min_{\tilde{\Delta}^{(M)}} \left[\max_{x \in [x_0, x_1]} |Q(x, \tilde{\Delta}^{(M)})| \right].$$

При этом для непрерывно дифференцируемой по x функции $Q(x, \tilde{\Delta}^*)$ заведомо выполняется условие (26) при $\varepsilon = \varepsilon_{\min}^{(M)}$ с выходом на фазовое ограничение только в точках альтернанса x_j^0 , одновременно являющихся на этом основании точками отражения от допустимой границы. Тем самым устанавливаются качественно новые особенности альтернансных свойств оптимальных стационарных состояний рассматриваемых моделей ОРП, в силу которых искомое оптимальное управление $u^*(x)$ в исходной задаче (3), (23) – (27) действительно совпадает с релейной функцией вида $\tilde{u}^*(x)$ в (29), однозначно характеризующейся решением $\tilde{\Delta}^*$ задачи (33).

Если дополнительная информация о закономерностях предметной области, в рамках которой рассматривается соответствующая конкретная задача (3), (23) – (27), позволяет идентифицировать форму кривой разности $Q(x, \tilde{\Delta}^*) - Q^0(x)$ и расположение точек альтернанса (34) на границах или(и) во внутренних точках экстремума $x_{j_v}^0 \in \{x_j^0\}$ этой разности на отрезке $[x_0, x_1]$, то система соотношений (35), дополняемая равенствами

$$(37) \quad \frac{\partial}{\partial x} Q(x_{j_v}^0, \tilde{\Delta}^*) = 0, \quad v = \overline{0, M^*}; \quad M^* \leq M+1; \quad x_{j_v}^0 \in \{x_j^0\}, \quad j = \overline{1, M+1}$$

при $M^* \geq 1$ редуцируется при заданном числе M к замкнутой системе $M + M^* + 1$ уравнений, разрешаемой известными численными методами относительно всех искомых параметров, включая $\tilde{\Delta}^* = (\tilde{\Delta}_i^*), i = \overline{1, M}$; величину минимакса $\varepsilon_{\min}^{(M)}$ и координаты точек $x_{j_v}^0, v = \overline{1, M^*}$ [8, 9].

Задача нахождения размерности $M = M_0$ вектора $\tilde{\Delta}^*$ приводит к необходимости исследования управляемости объекта (1) – (3), (22) с управляющим воздействием $u(x)$ относительно заданного состояния $Q^0(x)$.

Определяемые согласно (36) величины минимакса $\varepsilon_{\min}^{(M)}$, как правило, составляют для возрастающих значений $M = 1, 2, \dots, M_0$ убывающий ряд неравенств [8, 9]:

$$(38) \quad \varepsilon_{\min}^{(1)} > \varepsilon_{\min}^{(2)} > \dots > \varepsilon_{\min}^{(k)} > \varepsilon_{\min}^{(k+1)} > \dots > \varepsilon_{\min}^{(M_0)}.$$

Для неуправляемого относительно $Q^0(x)$ объекта (1), (2), (22) равенства (31) при $Q(\tilde{x}_i) = Q^0(\tilde{x}_i)$ в достаточно большом, но конечном числе s точек $\tilde{x}_i \in [x_0, x_1]$, $i = \overline{1, s}$, можно рассматривать в качестве конечномерной проблемы моментов [1, 2, 8], которая оказывается разрешимой в условиях (3) относительно $u(x)$ именно в классе управляющих воздействий вида (29) с $N = s$ переключениями при достаточно большой величине $u_{\max}$ [1, 2, 8].

Можно показать на этом основании, что в таком случае выполняются предельные соотношения

$$\lim_{s \rightarrow \infty} Q(x, \tilde{\Delta}^{(M)}) = 0, \quad x \in [x_0, x_1] \quad \text{при} \quad u_{\max} \rightarrow \infty,$$

в силу которых

$$(39) \quad \lim_{N \rightarrow \infty} \varepsilon_{\min}^{(M)} = 0 \quad \text{при} \quad \lim_{N \rightarrow \infty} u_{\max} = \infty$$

в последовательности неравенств (38), и значит

$$(40) \quad \lim_{u_{\max} \rightarrow \infty} \varepsilon_{\min}^{(M_0)} = 0, \quad \lim_{u_{\max} \rightarrow \infty} M_0 = \infty$$

в задаче параметрической оптимизации (33) при $M = M_0$.

Таким образом, в условиях неуправляемости объекта (1), (2), (22) относительно заданного состояния $Q^0(x)$ при любой ограниченной величине $u_{\max}$ в (3) можно получить лишь приближенное решение $\tilde{\Delta}^{**}$ этой задачи с точностью, оцениваемой исходя из предъявляемых в каждой конкретной ситуации требований по заданной допустимой величине $\varepsilon_0 > 0$ функционала качества (4). В таком случае определение $\tilde{\Delta}^{**}$ сводится к решению описанным методом относительно $\tilde{\Delta}^{(M)}$ последовательности задач (33) для увеличивающегося ряда фиксированных значений $M = 1, 2, \dots$ вплоть до величины $M = M_1$, при которой выполняются соотношения

$$(41) \quad \varepsilon_{\min}^{(M_1)} < \varepsilon_0 \leq \varepsilon_{\min}^{(M_1-1)}$$

для некоторых членов $\varepsilon_{\min}^{(M_1-1)}, \varepsilon_{\min}^{(M_1)}$ ряда неравенств (38). Тогда искомый вектор параметров $\tilde{\Delta}^{**}$ находится согласно (36):

$$(42) \quad \tilde{\Delta}^{**} = \arg \min_{\tilde{\Delta}^{(M)}} \left[\max_{x \in [x_0, x_1]} |Q(x, \tilde{\Delta}^{(M)})| \right],$$

при $M = M_1 - 1$, если $\varepsilon_0 = \varepsilon_{\min}^{(M_1-1)}$ или $M = M_1$, если $\varepsilon_{\min}^{(M_1)} < \varepsilon_0 < \varepsilon_{\min}^{(M_1-1)}$.

4 Управление стационарными температурными полями

В качестве примера, представляющего самостоятельный интерес, рассмотрим ОРП, описываемый стационарным уравнением теплопроводности для температурного поля $\theta(x)$ тепло-технически тонкого стержня длиной R :

$$(43) \quad a \frac{d^2 \theta(x)}{dx^2} + \frac{1}{c\gamma} (u(x) - g_0) = 0, \quad 0 \leq x \leq R$$

с краевыми условиями второго рода [14]

$$(44) \quad \lambda \frac{d\theta(0)}{dx} = u_0; \quad \frac{d\theta(R)}{dx} = 0;$$

заданными теплофизическими постоянными $c, \gamma, \lambda, a = \frac{\lambda}{c\gamma}$; распределенным управляющим воздействием $u(x)$ по мощности внутреннего тепловыделения, подчиненным ограничению

$$(45) \quad 0 \leq u(x) \leq u_{\max}, \quad x \in [0, R],$$

и тепловыми потерями $g_0, u_0 = \text{const} > 0$.

Требуется найти для объекта (43), (44) стесняемое ограничением (45) управление $u^*(x)$, при котором достигается минимальное в равномерной метрике отклонение

$$(46) \quad I = \max_{x \in [0, R]} |\theta(x) - \theta_H| \rightarrow \min_{u(x)}$$

управляемой функции состояния $\theta(x)$ от постоянной по длине стержня температуры θ_H . Величина θ_H задается с точностью до ее приближения к нефиксируемому исходными данными среднему значению

$$(47) \quad \theta_h = \frac{1}{R} \int_0^R \theta(x) dx = \text{const},$$

соответствующему постоянному в стационарном температурном поле теплосодержанию стержня, которое приобретает на стадии его нагрева, предшествующей процессу стабилизации на уровне $\theta(x)$.

Объект (43) – (45) неуправляем относительно $\theta^0(x) = \theta_H = \text{const}$ при краевых условиях (44) с $u_0 > 0$, и в таком случае при любых ограниченных значениях $u_{\max}$ в (45) $\min I > 0$ в (46). Искомое управление $u^*(x)$, как показано выше, следует искать в классе кусочно-постоянных функций вида (29) с $N \geq 0$ переключениями в точках $\Delta_i^{(N)} \in [0, R], i = \overline{0, N}$, $\Delta_0^{(N)} = 0$:

$$(48) \quad u(x) = \frac{u_{\max}}{2} [1 + (-1)^i], \quad \Delta_i^{(N)} < x < \Delta_{i+1}^{(N)}, \quad \Delta_{N+1}^{(N)} = R.$$

Явная зависимость $\theta(x, \Delta^{(N)})$ пространственного распределения температуры от вектора $\Delta^{(N)}$ параметров управления (48) определяется с точностью до значения $\theta(0)$ в условиях (44) выражением (31):

$$(49) \quad \theta(x, \Delta^{(N)}) = - \int_0^x G(x - \xi) (u(\xi) - g_0) d\xi + \lambda \theta(0) \frac{dG(x)}{dx} + u_0 G(x)$$

с функцией Грина

$$(50) \quad G(x) = \frac{x}{\lambda},$$

которое после подстановки $u(x)$ в форму (48) принимает следующий вид:

$$(51) \quad \theta(x, \Delta^{(N)}, \theta(0)) = \theta_1(x, \Delta^{(N)}) + \theta(0);$$

$$(52) \quad \theta_1(x, \Delta^{(N)}) = -\frac{u_{\max}}{2\lambda} \sum_{i=0}^n (-1)^i (x - \Delta_i^{(N)})^2 + \frac{g_0}{2\lambda} x^2 + \frac{u_0}{\lambda} x;$$

$$\Delta_n^{(N)} \leq x \leq \Delta_{n+1}^{(N)}; n = \overline{0, N}; \Delta_0^{(N)} = 0; \Delta_{N+1}^{(N)} = R.$$

При этом граничное условие (44) в точке $x = R$

$$(53) \quad \frac{d\theta(R, \Delta^{(N)}, \theta(0))}{dx} = \frac{1}{\lambda} \left(-u_{\max} \sum_{i=0}^N (-1)^i (R - \Delta_i^{(N)}) + g_0 R + u_0 \right) = 0$$

выполняется при следующем выборе максимальной величины управляющего воздействия:

$$(54) \quad u_{\max} = (g_0 R + u_0) \left[\sum_{i=0}^N (-1)^i (R - \Delta_i^{(N)}) \right]^{-1},$$

где выражение в квадратных скобках представляет собой суммарную протяженность нечетных интервалов постоянства управления (48) с $u(x) = u_{\max}$, а равенство (54) в целом обеспечивает сохранение энергетического баланса в стационарном состоянии объекта.

В соответствии с (51), (52) величина θ_h в (47) связывается с неизвестным значением $\theta(0)$ в (51) равенством

$$(55) \quad \theta_h = \theta_{1h}(\Delta^{(N)}) + \theta(0); \quad \theta_{1h}(\Delta^{(N)}) = \frac{1}{R} \int_0^R \theta_1(x, \Delta^{(N)}) dx,$$

откуда получаем следующую зависимость $\theta(x, \tilde{\Delta}^{(M)})$ для разности $\theta(x, \Delta^{(N)}, \theta(0)) - \theta_H$ от определяемого согласно (32) при $M = N + 1$, $\tilde{\Delta}_M^{(M)} = \theta_h - \theta_H$ вектора параметров $\tilde{\Delta}^{(M)}$, в роли которых фигурируют N точек переключения управления (48) и отклонение $\theta_h - \theta_H$:

$$(56) \quad \theta(x, \tilde{\Delta}^{(M)}) = \theta(x, \Delta^{(N)}, \theta(0)) - \theta_H = \theta_1(x, \Delta^{(N)}) + \theta(0) - \theta_H = \theta_1(x, \Delta^{(N)}) - \theta_{1h}(\Delta^{(N)}) + \theta_h - \theta_H.$$

В итоге задача (43) – (46) сводится к виду (33)

$$(57) \quad I_1 = \varepsilon = \max_{x \in [0, R]} |\theta(x, \tilde{\Delta}^{(M)})| \rightarrow \min_{\tilde{\Delta}^{(M)}}$$

с подстановкой выражений (52), (54) – (56) для $\theta(x, \tilde{\Delta}^{(M)})$ и $u_{\max}$, и ее приближенное решение выполняется по приведенной в п.3 схеме при известной форме кривой $\theta(x, \tilde{\Delta}^0)$, $x \in [0, R]$ на искомым экстремалях $\tilde{\Delta}^0 \in \{\tilde{\Delta}^{(M)}\}$, $\tilde{\Delta}^0 = (\bar{\Delta}^{(N)}, (\theta_h - \theta_H)^0)$ для каждого из значений $M = \overline{1, M_1}$, отвечающей альтернансным свойствам (35) и устанавливаемой на основании физических закономерностей поведения температурного поля для объекта (43), (44), подобно [8].

Для характерных случаев $M = 1, N = 0$; $M = 2, N = 1$ и $M = 3, N = 2$ конфигурация пространственного распределения температуры $\theta(x, \tilde{\Delta}^0)$ приведена на рис. 1.

Соответствующие замкнутые расчетные системы $M + N + 1$ уравнений, формируемые на основании альтернансных соотношений (35), (37), принимают следующий вид: для $M = 1, N = 0$:

$$(58) \quad \begin{aligned} \theta_1(0, \bar{\Delta}_0^0) - \theta_{1h}(\bar{\Delta}_0^0) + (\theta_h - \theta_H)^0 &= -\varepsilon_{\min}^{(1)}; \\ \theta_1(R, \bar{\Delta}_0^0) - \theta_{1h}(\bar{\Delta}_0^0) + (\theta_h - \theta_H)^0 &= \varepsilon_{\min}^{(1)}; \end{aligned}$$

для $M = 2, N = 1$:

$$(59) \quad \begin{aligned} \theta_1(0, \bar{\Delta}_1^{(1)}) - \theta_{1h}(\bar{\Delta}_1^{(1)}) + (\theta_h - \theta_H)^0 &= -\varepsilon_{\min}^{(2)}; \\ \theta_1(x_2^0, \bar{\Delta}_1^{(1)}) - \theta_{1h}(\bar{\Delta}_1^{(1)}) + (\theta_h - \theta_H)^0 &= \varepsilon_{\min}^{(2)}; \\ \theta_1(R, \bar{\Delta}_1^{(1)}) - \theta_{1h}(\bar{\Delta}_1^{(1)}) + (\theta_h - \theta_H)^0 &= -\varepsilon_{\min}^{(2)}; \\ \frac{\partial \theta_1(x_2^0, \bar{\Delta}_1^{(1)})}{\partial x} &= 0; \end{aligned}$$

для $M = 3, N = 2$:

$$(60) \quad \begin{aligned} \theta_1(0, \bar{\Delta}_1^{(2)}, \bar{\Delta}_2^{(2)}) - \theta_{1h}(\bar{\Delta}_1^{(2)}, \bar{\Delta}_2^{(2)}) + (\theta_h - \theta_H)^0 &= -\varepsilon_{\min}^{(3)}; \\ \theta_1(x_2^0, \bar{\Delta}_1^{(2)}, \bar{\Delta}_2^{(2)}) - \theta_{1h}(\bar{\Delta}_1^{(2)}, \bar{\Delta}_2^{(2)}) + (\theta_h - \theta_H)^0 &= \varepsilon_{\min}^{(3)}; \\ \theta_1(x_3^0, \bar{\Delta}_1^{(2)}, \bar{\Delta}_2^{(2)}) - \theta_{1h}(\bar{\Delta}_1^{(2)}, \bar{\Delta}_2^{(2)}) + (\theta_h - \theta_H)^0 &= -\varepsilon_{\min}^{(3)}; \\ \theta_1(R, \bar{\Delta}_1^{(2)}, \bar{\Delta}_2^{(2)}) - \theta_{1h}(\bar{\Delta}_1^{(2)}, \bar{\Delta}_2^{(2)}) + (\theta_h - \theta_H)^0 &= \varepsilon_{\min}^{(3)}; \\ \frac{\partial \theta_1(x_2^0, \bar{\Delta}_1^{(2)}, \bar{\Delta}_2^{(2)})}{\partial x} = \frac{\partial \theta_1(x_3^0, \bar{\Delta}_1^{(2)}, \bar{\Delta}_2^{(2)})}{\partial x} &= 0. \end{aligned}$$

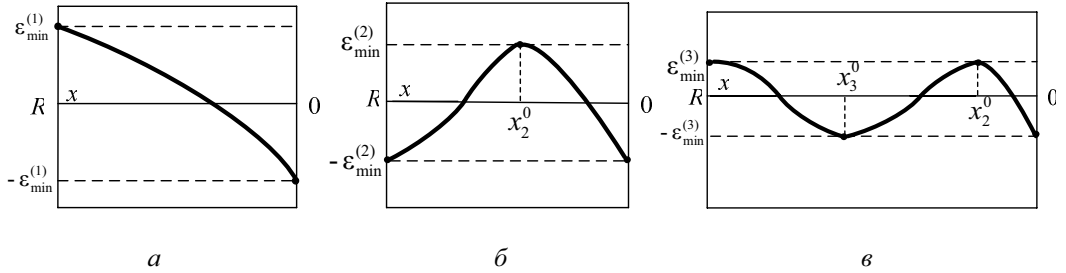


Рисунок 1 – Форма кривой отклонения оптимального распределения температур

$\theta(x, \bar{\Delta}^0, (\theta_h - \theta_H)^0)$ на отрезке $[0, R]$ от заданного стационарного состояния

$\theta_H = \text{const}$ (а – $M = 1, N = 0$; б – $M = 2, N = 1$; в – $M = 3, N = 2$)

В роли $M + N + 1$ неизвестных здесь фигурируют N координат $\bar{\Delta}_i^{(N)}, i = \overline{1, N}$, точек переключения $u^*(x)$ (при $N > 0$); N координат $x_j^0, j = \overline{2, N+1}$, внутренних точек экстремума $\theta(x, \bar{\Delta}^0)$ на отрезке $[0, R]$ (при $N > 0$), значения минимакса $\varepsilon_{\min}^{(M)}$ и параметра $(\theta_h - \theta_H)^0$.

Элементарный характер параболических зависимостей $\theta_1(x, \Delta^{(N)})$ от x и $\Delta_i^{(N)}$ в (52) позволяет получить точные аналитические решения систем уравнений (58) – (60).

В частности, после простых вычислений получим:

$$(61) \quad \varepsilon_{\min}^{(1)} = \frac{u_0 R}{4\lambda}; (\theta_h - \theta_H)^0 = -\frac{u_0 R}{12\lambda}; u_{\max} = g_0 + \frac{u_0}{R}$$

при $N = 0, M = 1$, и

$$(62) \quad \begin{aligned} \bar{\Delta}_1^{(1)} &= \frac{g_0 R^2}{u_0 + g_0 R}; \quad x_2^0 = \frac{g_0 R^2}{u_0 + 2g_0 R}; \quad \varepsilon_{\min}^{(2)} = \frac{u_0 g_0 R^2}{4\lambda(u_0 + 2g_0 R)} < \varepsilon_{\min}^{(1)}; \\ (\theta_h - \theta_H)^0 &= \frac{u_0 g_0 R^2}{2\lambda} \cdot \frac{g_0 R - u_0}{6(u_0 + g_0 R)(u_0 + 2g_0 R)}; \quad u_{\max} = \frac{(g_0 R + u_0)^2}{g_0 R^2} \end{aligned}$$

при $N = 1, M = 2$.

При любом $N \geq 1$ равенства (35) для первых двух точек альтернанса $x_1^0 = 0, 0 < x_2^0 < \bar{\Delta}_1^{(N)}$ записываются подобно первым двум уравнениям систем (59), (60):

$$(63) \quad \begin{aligned} \theta_1(0, \bar{\Delta}^{(N)}) - \theta_{1h}(\bar{\Delta}^{(N)}) + (\theta_h - \theta_H)^0 &= -\varepsilon_{\min}^{(M)}; \\ \theta_1(x_2^0, \bar{\Delta}^{(N)}) - \theta_{1h}(\bar{\Delta}^{(N)}) + (\theta_h - \theta_H)^0 &= \varepsilon_{\min}^{(M)}. \end{aligned}$$

Разность уравнений (63) приводит в соответствии с (52) к следующему выражению для $\varepsilon_{\min}^{(M)}$:

$$(64) \quad \varepsilon_{\min}^{(M)} = \frac{1}{2} \theta_1(x_2^0, \bar{\Delta}^{(N)}) = \frac{1}{2\lambda} \left[\frac{g_0 - u_{\max}}{2} (x_2^0)^2 + u_0 x_2^0 \right],$$

которое с учетом условия

$$(65) \quad \frac{\partial \theta_1(x_2^0, \bar{\Delta}^{(N)})}{\partial x} = \frac{1}{2\lambda} [(g_0 - u_{\max}) x_2^0 + u_0] = 0$$

принимает следующий вид:

$$(66) \quad \varepsilon_{\min}^{(M)} = \frac{u_0^2}{4\lambda(u_{\max} - g_0)}.$$

Отсюда непосредственно следуют предельные соотношения (40) для рассматриваемой задачи в условиях

$$(67) \quad \lim_{u_{\max} \rightarrow \infty} x_2^0 = \lim_{u_{\max} \rightarrow \infty} \frac{u_0}{u_{\max} - g_0} = 0.$$

Попарные разности уравнений расчетных систем вида (59), (60) приводят при $\lim_{M \rightarrow \infty} \varepsilon_{\min}^{(M)} = 0$ к соотношениям $\lim_{M \rightarrow \infty} \theta_1(x_j^0, \bar{\Delta}^{(N)}) = 0$, а суммы этих уравнений – к равенству в пределе значений θ_h и θ_H в (46) и (47):

$$(68) \quad \lim_{M \rightarrow \infty} (\theta_h - \theta_H)^0 = 0.$$

Список использованных источников

- [1] Бутковский А.Г. Теория оптимального управления системами с распределенными параметрами. М.: Наука, 1965.
- [2] Бутковский А.Г. Методы управления системами с распределенными параметрами. М.: Наука, 1975.
- [3] Сиразетдинов Т.К. Оптимизация систем с распределенными параметрами. М.: Наука, 1977.
- [4] Дегтярев Г.Л., Сиразетдинов Т.К. Теоретические основы оптимального управления упругими космическими аппаратами. М.: Машиностроение, 1986.
- [5] Рапопорт Э.Я. Оптимизация процессов индукционного нагрева металла. М.: Металлургия, 1993.
- [6] Рапопорт Э.Я. Анализ и синтез систем автоматического управления с распределенными параметрами. М.: Высшая школа, 2005.

- [7] Rapoport E., Pleshivtseva Yu. Optimal Control of Induction Heating Processes. CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, London, New York, 2007.
- [8] Рапопорт Э.Я. Оптимальное управление системами с распределенными параметрами. М.: Высшая школа, 2009.
- [9] Рапопорт Э.Я. Альтернативный метод в прикладных задачах оптимизации. М.: Наука, 2000.
- [10] Коллатц Л., Крабс В. Теория приближений. Чебышевские приближения. М.: Наука, 1978.
- [11] Первозванский А.А. Курс теории автоматического управления. М.: Наука, 1986.
- [12] Иванов В.А., Фалдин Н.В. Теория оптимальных систем автоматического управления. М.: Наука, 1981.
- [13] Дёч Г. Руководство к практическому применению преобразования Лапласа и z-преобразования. – М.: Наука, 1971.
- [14] Карташов Э.М. Аналитические методы в теории теплопроводности твердых тел. М.: Высшая школа, 2001.

MATHEMATICAL MODELING AND OPTIMAL CONTROL OF INDUCTION HEATING: CHALLENGES POSSES BY MODERN TECHNOLOGY

V. Rudnev

Inductoheat Inc.,
Madison Heights, Michigan, USA
rudnev@inductoheat.com
phone: +1 (248) 629-5055, fax: +1 (248) 589-1062

Key words: *induction heating, forging industry, optimal control, mathematical simulation, computer modeling, commercial software, temperature uniformity, optimization, gear hardening*

Abstract

В статье рассматриваются современные подходы к математическому моделированию и оптимальному управлению процессом индукционного нагрева металла, который является звеном единой технологической цепочки, включающей нагрев металлической заготовки, ее транспортировку к деформирующему оборудованию и непосредственно процесс пластической деформации. Описываются современные тенденции развития средств и методов численного моделирования взаимосвязанных электромагнитных и тепловых полей в процессах, основанных на явлении электромагнитной индукции. в области моделирования и многокритериальной оптимизации процессов индукционного нагрева металлов перед обработкой давлением. Обсуждаются проблемы моделирования и оптимизации процесса упрочнения зубчатых колес.

Introduction

Induction heating continue becoming an increasingly popular choice to heat billets and bars prior to hot forming thanks its ability to create high heat intensity quickly and within the billet, leading to short process cycle time (high productivity) with repeatable high quality while using a minimum of floor space. A considerable reduction of heat exposure and heat waste contributes its effectiveness, environmental and ergonomically friendliness.

Induction heating offers other attractive features such as 1) a noticeable reduction of scale, 2) flexibility, 3) short start-up and shut-down times, 4) readiness for automatization with lower labor cost, and 5) ability to heat in a protective atmosphere if required [1-4].

The forging industry's drive to more accurate net shaped high quality parts and a necessity in providing more value to the forger's customer is inherently related to the needs of further improving quality of forged parts which relates to developing superior control strategies that optimize all stages involved in the forging process. Modern approach for designing forging processes requires considering induction heating not as a standalone process, but as a part of an integrated system including its all-important elements: the process of induction heating, the change in the billet temperature profile during its transportation from the heater to the metal forming machine and plastic deformation itself.

The selection of principal process parameters, such as power, frequency and coil length is a complex function of heated metal, required temperature uniformity, billet size, etc.



Figure 1 – Four module InductoForge™ progressive horizontal induction billet heater

Aspects of mathematical modeling

In the last decade, when discussing subjects related to a mathematical modeling and optimization of induction heating, the word “*usefulness*” has been replaced by a word “*necessity*”. Modern computer modeling is capable to effectively simulate electromagnetic and thermal phenomena for many processes including those that involved phenomenon of electromagnetic induction. Simulation provides the ability to predict how different, interrelated and non-linear factors may impact the transitional and final thermal conditions and what must be accomplished to improve the effectiveness of the process, determine the most appropriate recipes to optimize a process and serve as a comfort factor when designing new systems.

In 2007, ASM Int. has begun an ambitious undertaking to compile an all-new, comprehensive resource on mathematical modeling as it applies to a computer simulation of different metal processing technologies. Carefully selected world-recognized experts from leading universities, national research laboratories and industrial corporations from 13 countries were chosen to submit materials. As a result, a brand new two-volume set was published as a part of ASM Handbook series (Fig. 2). The first part, Volume 22A, *Fundamentals of Modeling for Metals Processing*, appeared in 2009. The second part, Volume 22B, *Metals Process Simulation*, was published in 2010. This two-volume set covers a wide range of subjects including phase diagrams and transformations, heating and heat treating, casting and solidification, forming, joining, machining, powder metallurgy, integration modeling and simulation in design of equipment and its control, etc.

Among other useful information, Volume 22B consists of two articles that are solely devoted to a computer simulation of induction thermal technologies: *Simulation of Induction Heating Prior to Hot Working and Coating* (pages 475 – 500) and *Simulation of Induction Heat Treating* (pages 501 – 546).

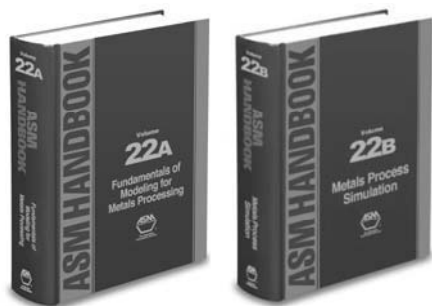


Figure 2 – New two-volume set on modern mathematical modeling of metal processing technologies

Recent advancements in manufacturing high-performance computers, increased complexity of induction heating applications, further increasing demands to manufacture higher quality parts in combination with a necessity of improving cost-effectiveness of development stage by shortening the learning curve and reducing development time have significantly restricted the usefulness of simplified mathematical modeling approaches.

Rather than using computational techniques with many restrictions and disputable accuracy, modern in-

duction heating specialists turned to highly effective numerical modeling methods such as finite-differences, finite-elements, edge elements, boundary elements and others. Each of those simulation techniques has certain *pros* and *cons* and has been used alone or in a combination with others [1-4].

In recent years finite element method became a dominant numerical simulation tool for a variety of engineering applications. Though finite element method is very effective modeling technique, it cannot be considered as an ultimate computational tool for all induction heating applications. In some cases a combination of different numerical methods is more effective, in others FEA is a preferred choice.

Physical properties

Electro-magnetic properties of heated materials encompass a variety of characteristics. While recognizing the importance of all electro-magnetic properties, two of them is electrical conductivity (its reciprocal electrical resistivity) and relative magnetic permeability have the most pronounced effect on the process of induction heating. Keep in mind that both properties nonlinearly vary with temperature, chemical composition, microstructure, grain size, etc.

Relative magnetic permeability μ_r is not only a complex function of grain structure, chemical composition, microstructure and temperature, but also frequency and magnetic field intensity. Same kind of carbon steel at the same temperature and frequency can have a substantially different value of μ_r due to differences in coil power that is related to the intensity of the magnetic field.

Three of the most critical thermal properties of heated material comprise thermal conductivity, specific heat and surface heat losses due to thermal radiation and convection. All these thermal properties are also non-linear functions of temperature. Interrelated non-linear nature of the material properties dictates the necessity of developing special computational algorithms that properly couple electromagnetic and thermal phenomena [1-4].

Limitations of generalized commercial codes

Majority of commercial codes used for computer modeling of induction heating processes are all-purpose programs. Regardless of well-recognized impressive capabilities of modern commercial software, many of generalized programs experience difficulties in taking into consideration certain features of a particular induction heating application. This includes but not limited to the presence of thermal refractory, heated workpiece can simultaneously move, rotate or oscillate in respect to induction coil, some operations combine heating and quenching, existence of non-uniform initial temperature distributions, presence of end plates, guides and liners, etc.

Therefore, be aware, that some critical feature(s) of a particular induction heating application could be limiting factor creating considerable challenges for generalized commercial software forcing making not well-defined assumptions and affecting an accuracy of simulations.

Temperature requirements

In billet heating, it is required not only to raise the billet's temperature to a specified level at required production rate but also provide a certain degree of heat uniformity. The uniformity requirements include maximum tolerable thermal gradients: "surface-to-core," "end-to-end," and "side-to-side." A billet that is heated with appreciable non-uniformity can cause problems with premature die wear on hammers and presses and may cause other problems by requiring excessive force to form the metal and quality of products.

It is important that the maximum temperature anywhere within the billet does not exceed certain level ensuring that none of the billet's areas are overheated and "hot shortness" as well as steel "burning" does not appear. Taking into consideration that pyrometers can only reliably measure billet's surface temperature at certain spots, there is always a danger to "miss" an overheating of the local

or/and sub-surface areas. Therefore, precise temperature control based on a reliable prediction of temperature distribution within the billet using advance computer modeling capability is imperative.

Effect of frequency

One of challenges in induction heating arises from the necessity to assure the required “surface-to-core” temperature uniformity. Due to the physics of the induction process (including “skin” effect), the billet’s core tends to be heated slower than its surface.

The choice of frequency is always a reasonable compromise in induction heating. Too low frequency might result in undesirably large penetration depth that, in turn, might lead to poor coil efficiency due to an eddy current cancellation and have greater impact on presence of sub-surface overheating. When the frequency is too high, an induced current concentrates within a fine surface layer compared to the diameter of the billet requiring long heat times that in progressive induction heating call for longer heating line. Optimal frequency is a complex function of several process features [1, 2].

A common incorrect assumption

Some practitioners incorrectly assume that with induction billet heating the coldest temperature is always located at the core of the billet and the maximum temperature is always located at its surface. It is also often assumed that overheating does not occur if surface temperature measured by a pyrometer or thermocouple does not exceed the maximum permissible level. Besides that, process control systems that predict rise of an average (mean) temperature and temperatures of surface and core of the billet often assumed to be sufficient to guarantee proper heating providing a comfortable factor for some practitioners. Example of such typically predicted “surface-to-core” temperature profile is shown on Figure 3. However, it is imperative to recognize that under certain but very realistic conditions, the presence of heat losses from billet’s surface may shift the temperature maximum further away from the surface marking its location somewhere beneath the billet’s surface.

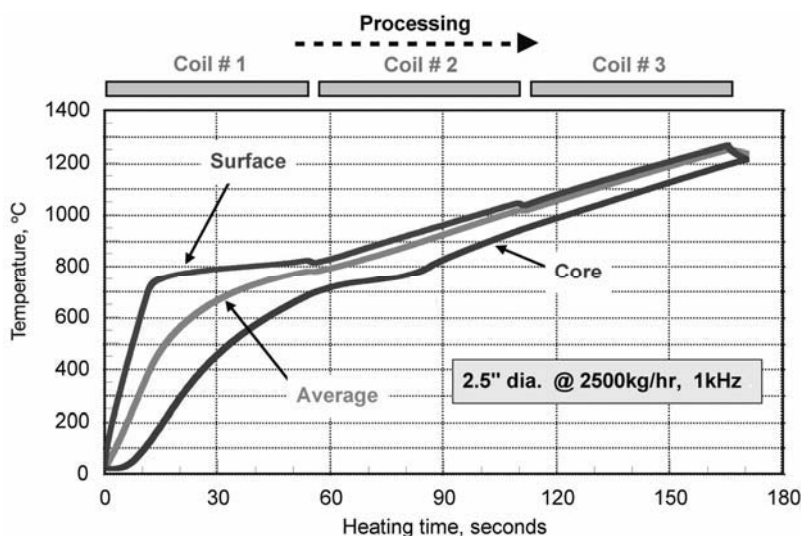


Figure 3 – Conventional “surface-to-core” time-temperature distribution

Study shows [2,5] that positioning and magnitude of the subsurface temperature surplus and potential steel overheating is a complex function of four major factors: *frequency*, *refractory*, *final temperature*, and *power distribution along the heating line*.

Lower frequencies increase the current penetration depth resulting in more “in-depth” heating and leading to a faster temperature raise at billet’s core. This shortens the induction line, but on another hand, under some conditions, it can also increase the subsurface overheating by making it more pronounced and shifting the location of the maximum temperature further away from the surface.

The use of an appreciably thick *refractory* with improved thermal insulation properties does just the opposite, reducing subsurface over-heating and shifting billet’s maximum temperature towards its surface.

Increase of the *forging temperatures* leads to an effect similar to an effect of lowering frequency in regards to a location of maximum temperature and severity of the subsurface heat surplus.

An effect of *power distribution along the heating line* on billet’s temperature distribution is more complex. In most publications devoted to progressive induction heating of billets, it is strongly suggested to have a graded (profiled) power distribution along induction line by putting more power at the beginning of the line. Putting more power up-front might sound as a universal “rule of thumb” since it forces more energy into the billet at the front of the heating line, allowing more time to soak into the core and shortening the length of the line. This approach typically utilizes a single inverter that powers several coils with graded number of copper turns or/and series/parallel coil circuit connections.

The problem with this approach, however is that the power distribution along the heating line in some installations cannot be easily modified if the production rate, kind of metal or billet size changes. For example, if the production rate is reduced, a subsurface overheating typically worsens with a conventional induction design potentially negatively affecting the billet’s subsurface micro-structure. It is also very common to find an appearance of billet-sticking problems to be more pronounced with graded power distribution along induction line when the system runs at a rate slower than the nominal for which it was designed. Since the system puts more energy into the billet in the beginning of the heating line, too much energy soaks down into billet’s subsurface area in cases when the line runs slow. The presence of surface heat losses can reverse a traditionally expected radial temperature profile leading to the subsurface temperature being greater than at its surface.

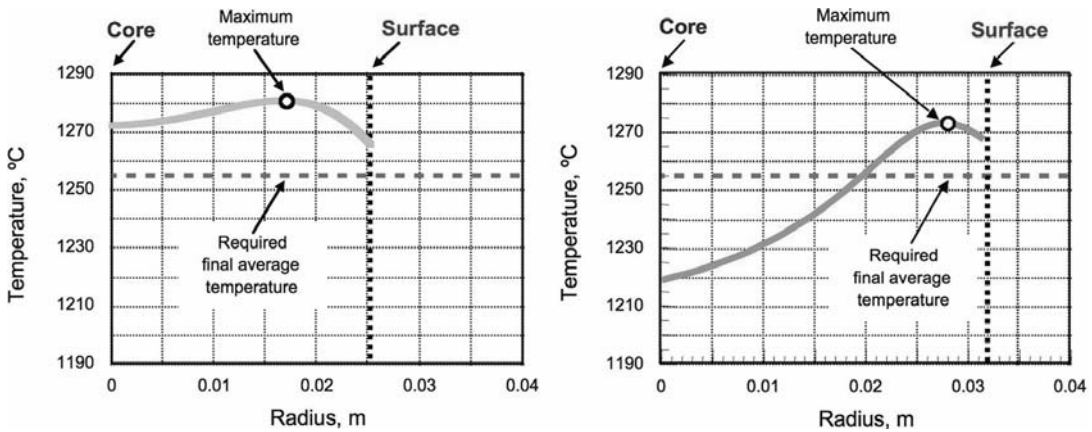


Figure 4 – Final “surface-to-core” temperature profiles when heating 2”(50.8mm) dia. billets at a slower rate (left) utilizing a conventional induction line designed for processing 2.5”(63.5mm) billets at a nominal rate (right) [5]

In many cases, subsurface temperature might be hot enough to cause the billets to fuse together. The effect of subsurface overheating is particularly pronounced when heating smaller size billets at a lower rate using an induction line designed for heating larger billets at a nominal rate. As an example, Figures 4 shows “surface-to-core” profiles when heating 2”(50.8mm) diameter billets (Fig.4,left) at a slower rate utilizing a conventional induction heating line designed for processing 2.5”(63.5mm) bil-

lets (Fig.4,right) at a nominal rate (see Fig.3). Note that in both cases the billet's surface temperature that would be recorded by pyrometer is the same. Further reduction in billet's diameters could worsen a severity of subsurface overheating [5].

Besides a potential danger of a premature die wear on hammers and presses, as well as other issues related to altering a quality of forged parts improperly heated billets can raised some safety concerns. Practice shows that when heating large billets at nominal rates, more power should be shifted towards the beginning of induction line. At slower rates however, when heating smaller than nominal size billets it is desirable to re-distribute power by its shifting towards the end of the induction line.

Taking into consideration that pyrometers can only reliably measure billet's surface temperature, there is always a danger to "miss" an appearance of the sub-surface overheating. Therefore, precise temperature prediction is imperative in order to avoid localized over-heating that is related to "hot shortness" problems due to residuals and possible variations in the chemistry of given steel.

Superior temperature control

Inductoheat's IHaz™ temperature profile modeling software represents a measurable step in optimizing an entire forging process. This proprietary PC based subject-oriented software provides more detailed information regarding thermal conditions of inductively heated billets than any pyrometer can. As an example, Figure 5 shows typical temperature profile generated by IHaz™. It is not only an important part of the process control of induction heater, it also offers detailed knowledge regarding thermal conditions of heated billets that can be effectively used in optimization of forging operation and even during designing dies.

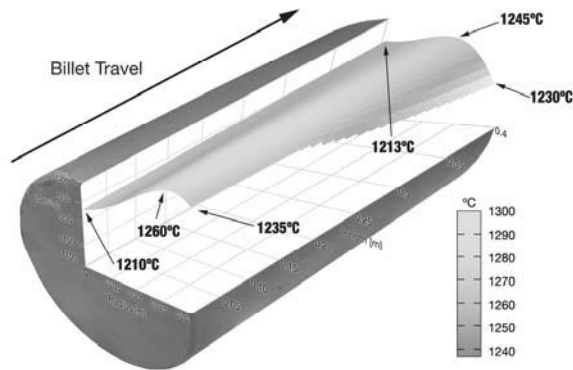


Figure 5 – Temperature profile generated by second generation of IHaz™ , v.2.0

The IHaz™ also provides an estimate of the energy usage that is important in determining utility costs when pricing new parts and what should be accomplished to avoid a probability of sub-surface overheating and steps to further improving a quality of inductively heated parts.

“Nose-to-tail” temperature distribution

One of critical issue related to quality of heating is associated to providing required “nose-to-tail” temperature uniformity. This issue is increasingly critical when heating longer billets. Due to its complexity this subject is seldom discussed in publications. “Nose-to-tail” temperature distribution is associated with several interrelated phenomena including electromagnetic end effect, transient end effect and thermal end effect [1]. As an example, Figure 6 shows the results of computer modeling revealing an appearance of transient electromagnetic end effect while billet exits induction coil.

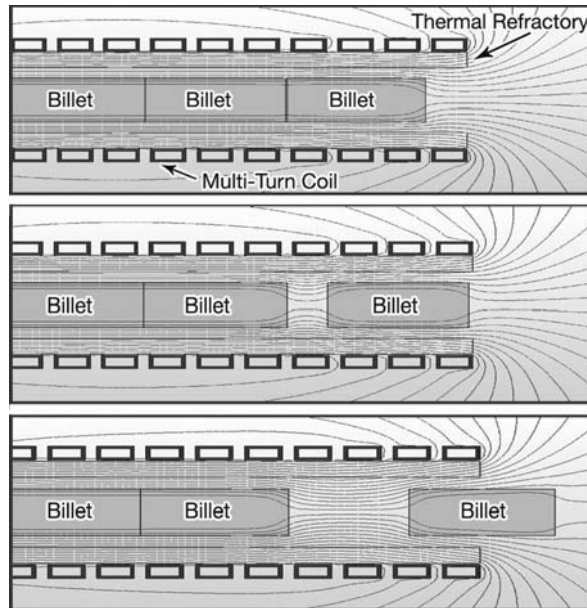


Figure 6 – Computer modeled el. magnetic field distribution at exiting coil end

INDUCTOForge™: A novel induction billet heating technology

The InductoForge™ Billet Heater (Fig.1) is Inductoheat's superior modular technology that was specifically developed for the forging industry to optimize induction heating processes. The heater's basic concept is a fairly simple including a time-proven induction power supply with a heavy-duty induction coil mounted on top. These power and coil modules can be combined in-line to form a heater that provides the required production rate. It is easy to add or remove modules to the heating line to match above-discussed changes in production schedule. Each module allows controlling both; power and frequency of each coil along the induction heating line.

While the coil and power module are the basic components of the system, there are several others that complete it. The PLC, HMI (Human Machine Interface) and other controls are mounted on a pendulum so that the operator can position the screen for easy viewing (Figure 7).

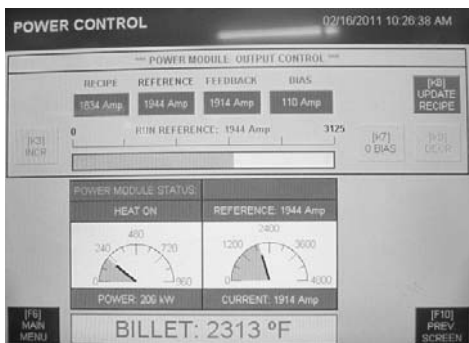


Figure 7 – Power control output screen of InductoForge™ Billet Heater

A tractor or pinch-roll drive system is mounted on top of this cabinet for pushing the billets through the induction coils. Many of the benefits of the modular construction result from the ability to control each coil individually. Some of those features discussed below:

Superior system flexibility with optimized power and frequency distribution along the heating line related to the specifics of a particular process run. Frequency of each module can be easily modified within 500Hz to 6kHz range to match a demand of the great majority of forged billet sizes maximizing coil electrical efficiency. Superior computer modeling and advanced temperature control of InductoForge™ substantially improves the quality of heated parts assuring enhanced metallurgical

structures and selecting a process recipe that minimizes a probability of subsurface overheating.

Unique Static and Dynamic Stand-by and Rapid Start capabilities substantially improve start-up, holding and shutdown process stages. Detailed description of these capabilities can be found at www.inductoheat.com.

Temperature Profile Computer Modeling system utilizes the powerful Inductoheat's proprietary software that was specifically developed to optimize performance of induction heating systems based on a set of operating parameters specified by the user, which can be downloaded to a PLC recipe.

Besides superior flexibility InductoForge™ can be 20% more electrically efficient than older, conventionally designed induction systems, particularly when the billet heater is run at reduced production rates. There are virtually no transmission losses between the coil and power supply, because the induction coil sits on top of the power supply. This alone can increase efficiency by more than 5% over conventional induction units in which the power supply is separate from the coil stand.

The InductoForge™ coil utilizes a removable liner with a thermally enhanced design to reduce the thermal losses. This gains an additional 3-5% in efficiency. The advanced mechanical coil design adds an additional 7-10% in electrical efficiency.

Challenges in modeling and optimization of gear hardening



Figure 8 – Contour hardened gears

Quite often, to prevent problems such as pitting, spalling, tooth fatigue, and endurance and impact limitations, it is required to harden the contour of the gear, or to have so-called a gear contour hardening (Fig.8). This often maximizes beneficial compressive stresses within the case depth and minimizes distortion of as-hardened gears. Many times, obtaining a true contour hardened pattern using a single frequency can be a difficult task due to the difference in current density (heat source) distribution and heat transfer conditions within a gear tooth. There are two main factors complicating the task of obtaining the contour hardness profile [1]. The first factor is that with encircling-type coils, the root area does not have as good electromagnetic coupling with the inductor compared with the coupling at the gear tip. Therefore, it is more difficult to induce energy into the gear root. Secondly, there is a significant heat sink located under the gear root (below the base circle).

Some induction practitioners have heard about simultaneous dual frequency gear hardening. Many times, depending upon the gear geometry, it is preferable applying lower frequency at the beginning of heating cycle and after achieving a desirable root heating, the higher frequency can complement initially applied lower frequency completing a job by working together. For example, leading supplier of automotive engine and powertrain components. Figure 9 shows wave-forms of coil current and coil voltage when two appreciably different frequencies are applied from a single inverter at same time to a single inductor. This machine was designed specifically for induction hardening of internal wide-face, gear-like component having a minor gear diameter of 6.9 in. (176 mm) and a major gear diameter of 7.3 in. (186 mm) using a single-shot dual-frequency heating mode.

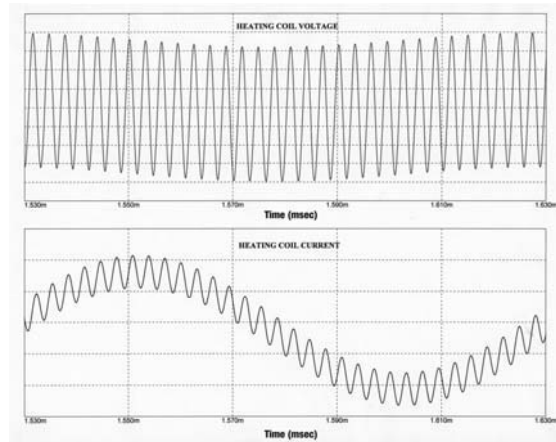


Figure 9 – Wave-forms of current (bottom) and voltage (top) poses to inductor using simultaneous dual frequency technology

The total power exceeds 1,200 kW comprising a medium-frequency (10 kHz) and high-frequency (120 to 400 kHz) modules working not just simultaneously, but in any sequence desirable to optimize properties of the gears heat-treated using this unique technology. Total heat time was minimized to about 1.5 second. At the beginning of heating cycle a medium frequency is applied for 0.8 sec. providing required root heating. Remainder of the heat cycle, two frequencies was working together complementing each other. Gear distortion after induction hardening is about 80 μ m. Figure 10 shows Inductoheat's two-frequency induction gear hardening system.

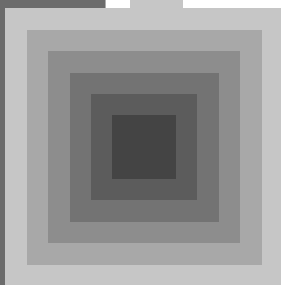


Figure 10 – Inductoheat's simultaneous dual frequency gear hardening system

At this point, sufficiently accurate computer modeling of gears and gear-like components using dual frequency approach represents one of the most difficult tasks in developing optimization strategies of induction contour hardening of gears.

References

- [1] Rudnev, V., Loveless, D., et. al., *Handbook of Induction Heating*, Marcel Dekker, NY, 2003
- [2] E.Rapoport, Y.Pleshivtseva, *Optimal Control of Induction Heating Processes*, CRC Press, NY, 2007.
- [3] Rudnev, V., *Simulation of Induction Heating Prior to Hot Working and Coating*, *ASM Handbook series*, vol. 22B: Metals Process Simulation, editors D.U.Furrer and S.L.Semiatin, ASM Int., 2010, p.475 – 500.
- [4] Rudnev, V., *Simulation of Induction Heat Treating*, *ASM Handbook series*, vol. 22B Metals Process Simulation, editors D.U.Furrer and S.L.Semiatin, ASM Int., 2010, p.501-546.
- [5] Brown, D., Rudnev, V., Lin, J., Nakagawa, T., *Superior induction heating technologies for modern forge shops*, *Proceedings of Japanese Forging Association (JFA)*, July, 2009.



System Analysis and Control Theory
Системный анализ и теория управления

INCREASING THE VARIABILITY OF WARM FORGING PROCESSES BY IMPLEMENTATION OF INTERMEDIATE INDUCTION HEATING

E. Baake, M. Mach

Leibniz University of Hannover, Institute of Electrotechnology
30167, Hannover, Wilhelm-Busch-Str., 4, Germany
baake@etp.uni-hannover.de
phone: +49 (0) 511-762-3248, fax: +49 (0) 511-762-3275

Key words: *induction heating process, warm rolling and forging, temperature measurement, numerical simulation, intermediate heating*

Abstract

Статья посвящена разработке инновационной системы промежуточного индукционного нагрева в технологических линиях обработки металла давлением. Новая система разрабатывается для действующих технологических линий и позволяет компенсировать тепловые потери при горячей прокатке, являющейся первой стадией технологической цепочки деформации металла. Повторный нагрев способен поддерживать равномерное температурное распределение в нагреваемой заготовке с целью обеспечения оптимальных условий последующей горячей деформации металла. Инновационный потенциал предлагаемой системы объясняется разнообразием её возможных применений, в частности, для повторного нагрева партий заготовок с различными характеристиками (по всей длине, диаметру и т.п.). В статье представлены принципы новой технологии, результаты измерений температуры и достигнутый прогресс в разработке установок для промежуточного индукционного нагрева. Представлены результаты численного моделирования и первых практических тестов.

Introduction

Warm forging at temperature of about 900 °C is an economical alternative to the conventional forging technology (hot forming at 1250 °C) providing reduced energy input, no scale and reduced decarburization improving the product quality as well as reduced surface roughness and closer tolerances [1]. Against the background of rising market opportunities for high quality warm forged products, in the project DeVaPro – "Development of a Variable warm forging Process" a warm forging process is developed, enabling the forges to produce more complex long flat geometries and thus making the warm forging technology more variable [2]. To reach those goals, new technologies, namely a warm rolling operation and an induction reheating process are developed and embedded within a warm forging process chain. The integration of these operations enables the forges to increase the output, improve the final work piece properties and broaden the spectrum of producible geometries. In the frame of the project DeVaPro, The Institute of Electrotechnology (ETP) is responsible for development of the induction heating system, its practical verification and the installation of the equipment in the warm forging line.

The investigated warm forming process chain is shown in Fig. 1. After cutting (sawing) the work pieces (performed centrally, operation not described in the chain) a primary induction heating up to the warm forming temperature starts. It is followed by a pre-forming operation in particular by a cross wedge rolling process. As during the rolling the work piece is intensively cooled down by the heat transfer to the tools, an intermediate heating located after the pre-forming operation should equalize the work piece temperature back to the forging temperature of 900 °C. The final step is the

forging sequence in the press followed by the clipping and controlled cooling of work pieces to the ambient temperature (optionally).

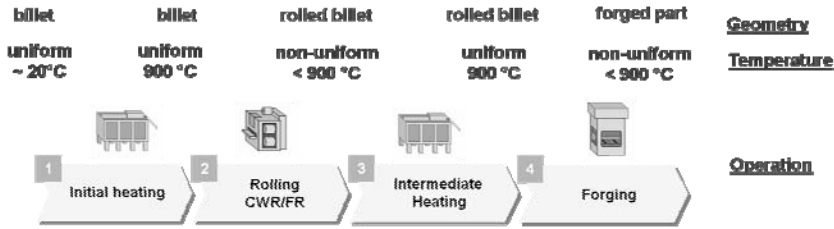


Figure 1 – Warm forging process chain with implemented induction re-heating unit

The aim of the work at ETP in the frame of the project DeVapro is to design the complete induction heating system providing the required reheating of the preformed parts up to the warm forming temperature. Taking into account the background of forging companies in the project consortium, the following restrictions on the reheating process have been defined:

- Heating time 10 s
- Transport time (heater - press) 5 s
- Initial temperature non-homogeneous (unknown)
- Final temperature homogeneous (900°C)

The heating time in the induction furnace and the transportation time between the furnace and the press are given by the planned production rates and by the disposition of the forging line. The temperature of the work piece at the beginning of the reheating is given by the pre-forming operation (cross wedge rolling) taking place before the intermediate induction heating. This temperature profile is strongly non-homogeneous and must be determined by combination of temperature measurement and Finite Element Method (FEM) simulations of the rolling operation.

The reheating process is supposed to be performed in the batch mode. It means that the work piece is placed in the induction furnace as long as it has achieved the required temperature. Having reached the required temperature the work piece is moved from the furnace and delivered to the metal forming station. Development of the required heating system must consider all the technological and process requirements. The main parameters to be determined are as follows:

- Electrical power, working frequency
- Parameters of the compensation unit
- Inductor design, heating regime

Common induction heating installations, used in the forging industry today, are operating with billet geometries with a nearly constant cross section along its length and also an approximately uniform temperature distribution, e.g. room temperature, at the beginning of the heating process. In comparison to conventional induction heaters, the design of the heating installation and the operation mode, which will be developed in the project DeVapro is a completely new approach with a high level of innovation. The forges need the technology to realize the new planned production sequence and the induction heating equipment is eager to gain a new reheating technology with a wide spectrum of applications. In addition to the application of the technology for the reheating in the warm forging process chain, the reheating system could be used for hot forging to enable the economic rolling preforming operation for smaller work pieces then currently possible.

1 Initial conditions and requirements for intermediate heating

During the cross wedge rolling process a cylindrical billet is plastically deformed into an axis symmetrical part by action of wedge shape die moving tangentially relative to the work piece. Input rolling as well as a typical geometry of a cross wedge rolled work piece can be seen in Fig 2. Its vari-

able cross section as well as the non-uniform distribution before re-heating makes the induction heating process difficult.

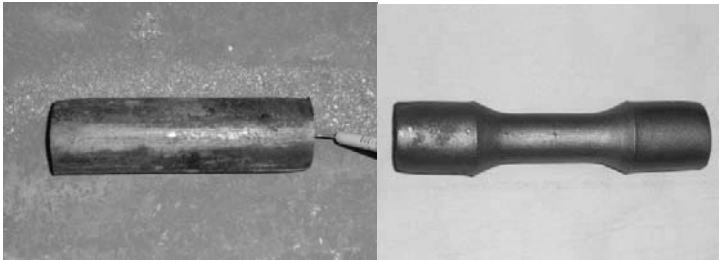


Figure 2 – Input rolling and typical work piece geometry after cross wedge rolling process

As the temperature distribution in the work pieces coming from the cross wedge roller into the reheating unit is unknown, a measurement of temperatures occurring after this operation has been performed. At the beginning of the test, the work piece was heated up to the selected rolling temperature and after controlling the output temperature transported into the cross wedge rolling machine. After rolling operation, the work piece was manually removed and the temperature was measured. While the surface temperature has been measured by the infrared thermo-camera, the measurement of the core temperature was realized by thermocouples. Representative results of the temperature measurement are shown in Fig 3 and Fig. 4.

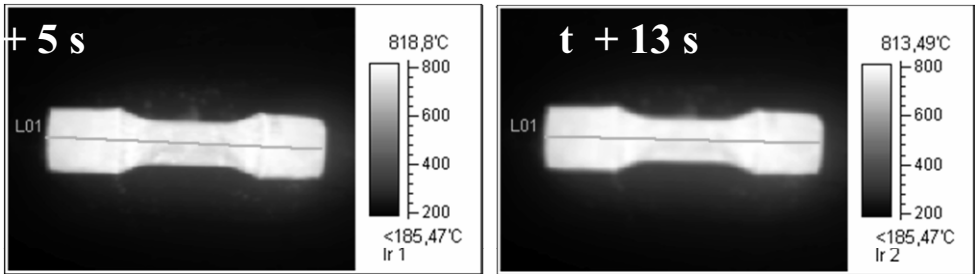


Figure 3 – IR-photos taken in different times after the rolling operation

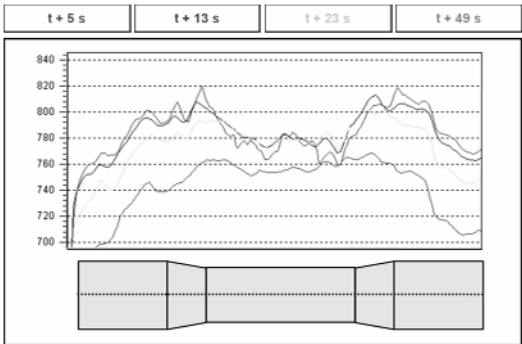


Figure 4 – Distribution of surface temperature along the longitudinal work-piece axis for different after the rolling operation (temperature before rolling 910 °C)

Looking at the temperature distribution immediately after rolling operation, it can be seen that a strongly non-homogeneous temperature profile occurs due to rolling. During the rolling process the middle section of the work piece is cooled down due to thermal conduction into the rolling tools. At

the same time, the temperature in the inner part of this section increases due to deformation energy. Left and right from the deformation zone the temperature increases up to the maximum value that can be found at the end of the deformation zone. Going to the front face of the work piece a decrease of temperature can be observed. This effect is caused by enhanced influence of the thermal losses by convection and radiation in front face area. The following conclusions can be drawn from the performed test:

- Work piece temperature after rolling is strongly non-uniform.
- Maximum measured temperature difference is approximately 120 °C - 150 °C.
- Minimum temperature is located in the deformed zone and at the work piece end.
- The measurements results are repeatable for all tested temperatures.

2 Numerical modelling of electromagnetic and thermal field

From the simulation point of view, the reheating process represents an electromagnetic thermal coupled problem. The FEM model of the reheating process has been developed at ETP using the commercial software package ANSYS. The simulation model allows performing the simulation of the electromagnetic field that induces power (Joule losses) in the work piece and the consequent transient thermal analysis during the whole reheating process. As results the model provides the knowledge on temperature distribution within the work piece as well as the information on electrical parameters of the process.

Electromagnetic and thermal material properties used in the model are temperature dependent and ensure the correct behaviour of the model in the whole investigated temperature range. They are evaluated for each time step of the transient thermal analysis at each position in the work piece. As the arrangement of the work piece and the induction coil can be assumed as rotational symmetric, 2-dimensional modelling has been used for the description of the process (Fig. 5). Construction parts of the induction heating unit which are not relevant for the heating process (e.g. fireproof coil grouting) are not included in the model.

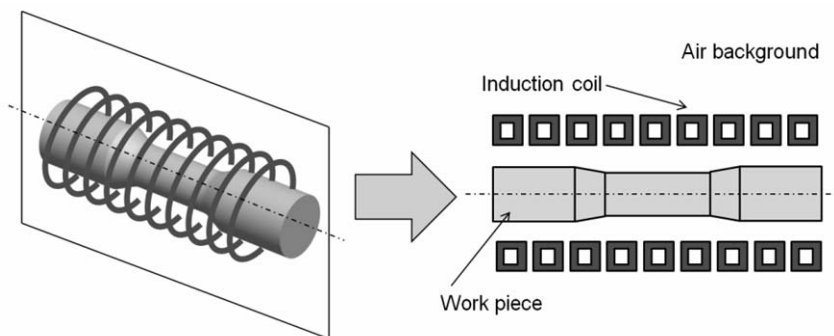


Figure 5 – Longitudinal cross-section and the sketch of the numerical model

Based on the measured temperature data a routine for implementation of the initial work piece temperature into the simulation model has been created. An example of the implemented temperature distribution can be seen in Fig. 6. The influence of the forming energy on the increase of the temperature in the middle work piece section is not taken into account at the moment. Nevertheless, an increase of the inner temperature that is expected in this area can only make the initial condition for induction reheating more comfortable. The higher the inner temperature in the deformed zone, the less energy must be generated by the induction system.

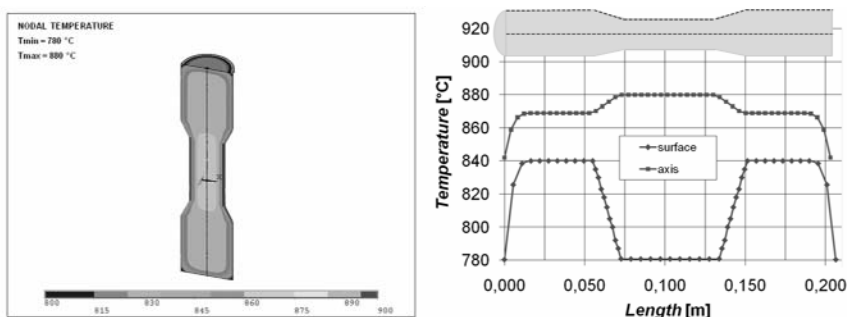


Figure 6 – Implementation of measured temperature data into simulation model

3 Induction heating concept

Having considered the process requirements as well as the initial temperature distribution, a flexible concept of induction coil consisting of three adjusted sections has been developed, see Fig 7. The purpose of this solution is the adaptation of geometrical coil parameters according to the variable work piece geometry and to the non-uniform temperature profile at the beginning of the reheating process. An optimal heating effect in all three sections can be reached by adaptation of the section length (l_A , l_B , l_C), number of coil turns (N_A , N_B , N_C) or by the coil section diameter (d_A , d_B , d_C). Electrically are all three parts series-connected. It means that the current is the same in all turns ($I_A = I_B = I_C$).

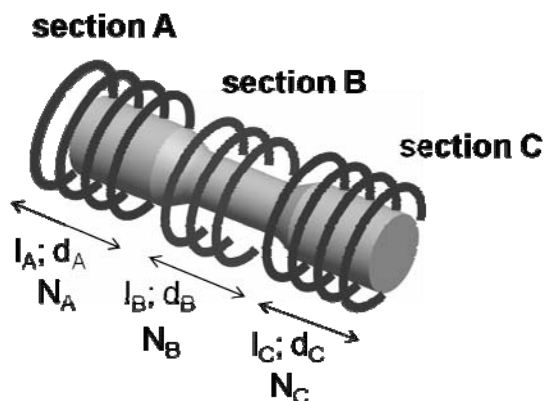


Figure 7 – Induction coil concept

Global parameters of the heating system as well as parameters of the particular sections have been determined by means of numerical simulation. As an example of the model capability and obtained results, temperature distribution after reheating in a standard coil with uniformly wound turns along its longitudinal axis is shown in Fig. 8. Looking at the temperature distribution in work piece heated in such an inductor, it can be seen that after 10 s heating and 5 s of transport time (Fig. 8) is the temperature profile not homogenous. The middle part of the work piece does not get enough energy for equalization of the thermal losses caused by the contact with rolling tools. Both frontal surface are not heated enough as well. These results show that work pieces with variable cross-section and even characterized by the non-uniform temperature cannot be reheated in such a kind of coil.

Fig. 9 shows the results of the reheating in an optimized coil, particularly the temperature profile at time of 5 s after finishing the reheating process. In comparison to the initial temperature profile

shown in Fig. 6 it can be seen that the surface regions with lower temperature have been reheated up to temperatures between 890 °C and 900 °C. At the same time, the increase of the temperature in the work piece core can be observed. Due to the thermal conduction, the heat is transported towards the core and causes the overall unification of the work piece temperature.

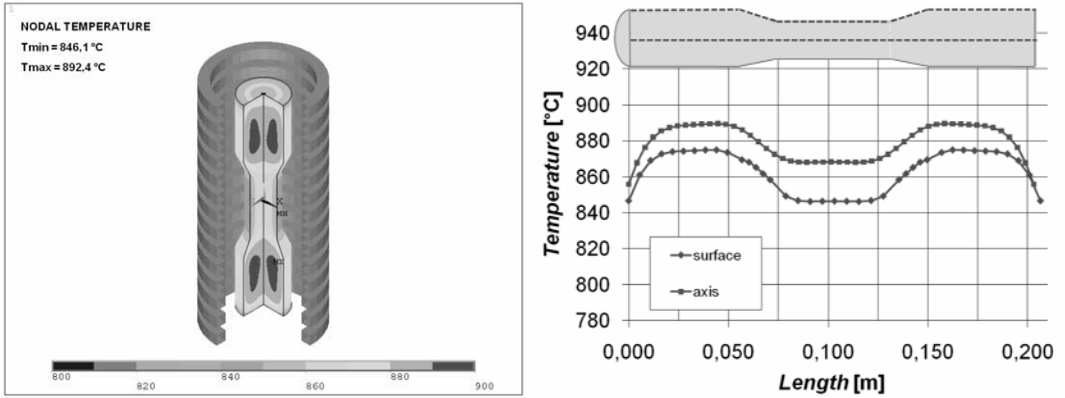


Figure 8 – Reheating in the standard induction coil

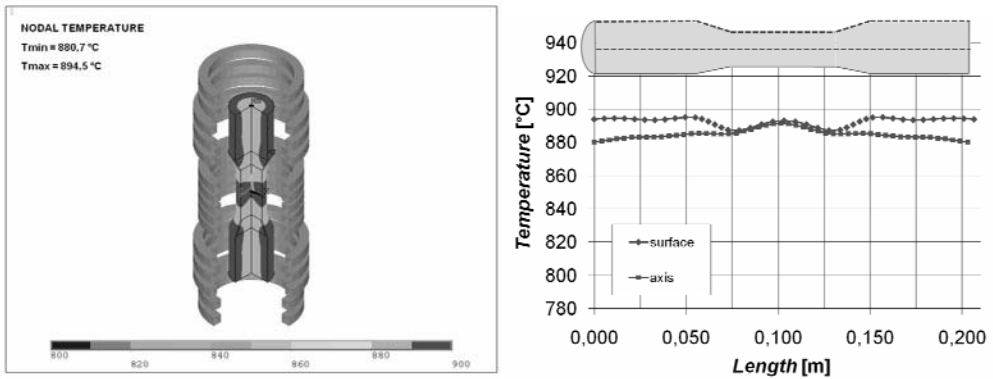


Figure 9 – Reheating in the optimized induction coil

4 Experimental verification

Based on the results of numerical investigations, the overall construction and dimensioning of the system, selection of a suitable power supply and definition of the electrical and water connection characteristic have been done in co-operation with an industry partner (EMA-TEC GmbH). Having finished these tasks a function prototype of the induction coil has been built at the ETP workshop and the functionality of the suggested heating system as well as the suitability of its parameters was verified.

Fig. 10 shows a possible arrangement of the reheating unit including the power supply (EMA-TEC FUP 50kW), inductor in fireproof housing as well as the compensation unit. For performing of first practical tests, all the parts have been installed at ETP. After start-up of the whole installation a wide set of heating test has been performed in order to verify the simulation results and parameters of the power supply. The installation has been equipped with systems for infrared as well as contact measurement systems for online monitoring the work piece temperature, see Fig. 11.

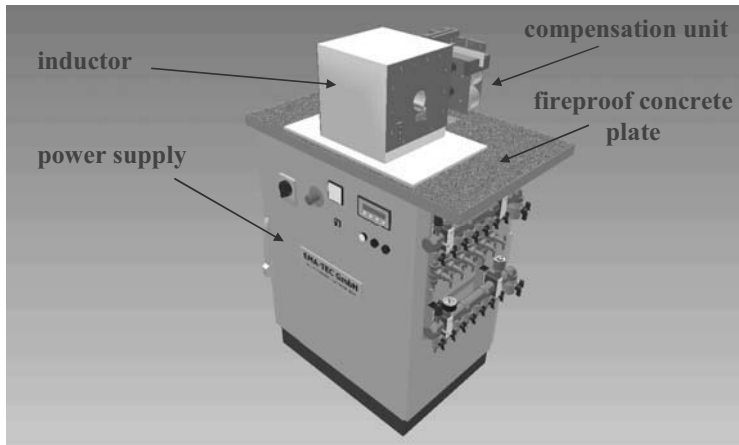


Figure 10 – Assembly of the induction heating unit

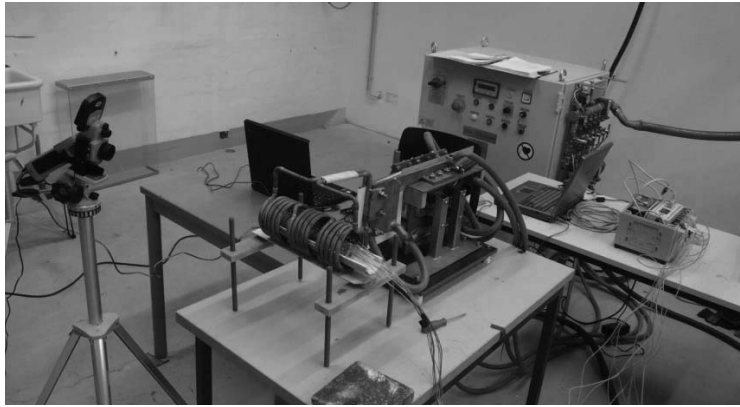


Figure 11 – Experimental set-up at ETP with equipment for temperature measurement

In the following part, selected results of temperature measurement compared to simulation results are shown. Fig. 12 shows the position of thermo-couples on the surface and axis of the work piece. As there was no possibility to exactly reproduce the expected input temperature profile occurring during the rolling tests, tests with different homogeneous temperatures have been performed. The heating tests considering the ambient temperature as the starting point were aimed at the verification of the simulation model in the whole temperature range between 20°C and 1000°C. Having proved the model functionality by these tests, it can be assumed that the practical tests in connection with rolling operation will correspond to the simulation results.

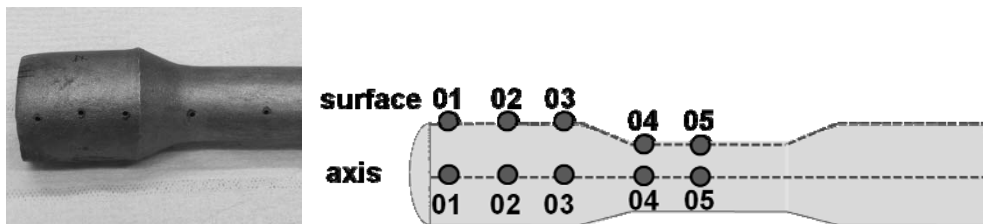


Figure 12 – Drillings for mounting of thermo-couples, position of measurement points

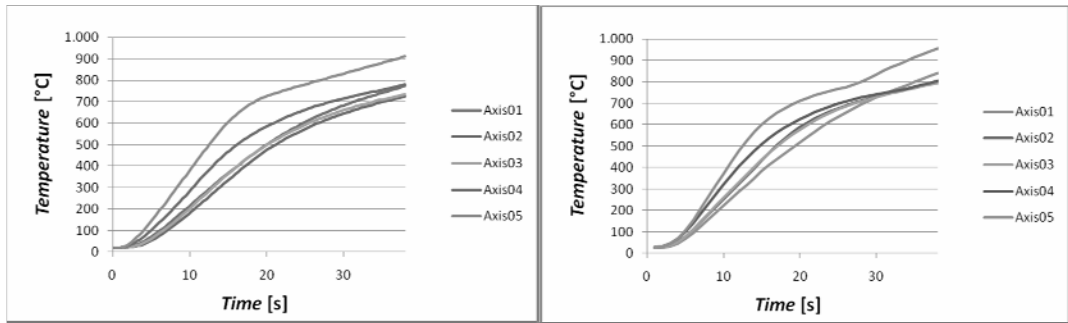


Figure 13 – Calculated (left) and measured (right) temperature-time evolution on the work piece axis

5 Conclusions

Warm forging represents an economical alternative to the conventional hot forging providing several technological, energy as well as economical advantages. In order to reach those advantages, new challenges concerning the forming as well as heating technology appear.

The Institute of Electrotechnology has developed a new concept of the variable re-heating system that can be integrated within the warm forging line. It compensates the temperature losses due to the warm rolling within a short cycle time and provides homogeneous temperature in work piece before the final forging operation. For those purposes, a numerical model for design and optimisation of the process has been created. According to the simulation results, a complete design of the re-heating unit has been launched. An experimental installation has been assembled and brought into operation at ETP. The first results show a good agreement with simulation and are very promising concerning the coming test in the forging line.

Literature

- [1] Behrens, B.-A.; Suchmann, P.; Schott, A.: Warm forging: new forming sequence for the manufacturing of long flat pieces. In: Production Engineering, Springer Verlag Berlin, 2. Jg. (2008), H. 2, Nr. 3, S. 261 - 268.
- [2] www.devapro.de. Official project home page.
- [3] Pleshivseva, Y.; Efimov, A.; Rapoport, E.; Nacke, B.; Nikanorov, A.: Optimal design and control of induction heaters for forging industry. In: Proceedings of International Symposium on Heating by Electromagnetic Sources, Padua, June 20-22, 2007, ISBN 88-89884-07-X.

NEW METHODS FOR STIRRING, POSITIONING AND LEVITATION IN ELECTROMAGNETIC FIELD

O. Peşteanu, E. Baake

Leibniz University of Hannover, Institute of Electrotechnology
30167, Hannover, Wilhelm-Busch-Str., 4, Germany
peşteanu@etp.uni-hannover.de, baake@etp.uni-hannover.de
phone: +49 (0) 511-762-5116, +49 (0) 511-762-3248, fax: +49 (0) 511-762-3275

Key words: *continuous casting, mould stirring, direct strip casting of steel, levitation melting, electromagnetic valve*

Abstract

В статье представлены результаты двух немецких [1, 2] и трех совместных немецко-румынских исследовательских проектов [3–5] в области электромагнитного воздействия и управления расплавленными металлами. Основная цель исследований состоит в разработке новых методов и систем для перемешивания и позиционирования расплава при непрерывной разливке стальной ленты, плавки в подвешенном состоянии и управления скоростью перемешивания расплавленных металлов. Применимость всех предложенных методов была подтверждена экспериментальными тестами.

Introduction

In this paper, the following principal methods developed for the electroprocessing of molten metals in metallurgy will be presented:

- Electromagnetic mould stirring (EMMS) in the continuous casting (CC) of steel using an outer inductor supplied with the industrial frequency.
- Melt-belt synchronization with a travelling magnetic field in the direct strip casting (DSC).
- Electromagnetic levitation (EML) melting and flow rate control with a coreless electromagnetic valve (EMV) using magnetic fields with horizontal field lines.

All methods were tested using laboratory setups and a pilot casting plant.

1 EMMS with higher supply frequency

The use of EMMS in the CC of steel yields a better surface quality of the cast strands. On the one hand, a more uniform thickness of the initial solidified shell is realized by homogenizing the temperature of the molten steel and therefore, stresses in the shell which can produce longitudinal cracks are reduced [1].

As the magnetic field of a conventional stirrer installed inside the mould's cooling chamber must penetrate through the inner copper wall of the mould, only low supply frequencies can be employed. Therefore, large stirrers and high power frequency converters have to be used [6].

The EMMS can be performed with an outer inductor if all mould walls are made of copper (Figure 1). The electric currents i_e induced in the exterior mould wall by the inductor's rotational magnetic field are passed through the interior wall, where the inner currents i_i appear.

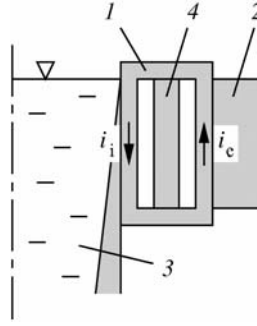


Figure 1 – EMMS with higher supply frequency (schematic):
1 copper mould, 2 laminated core of the inductor, 3 cast strand, 4 intermediate magnetic core

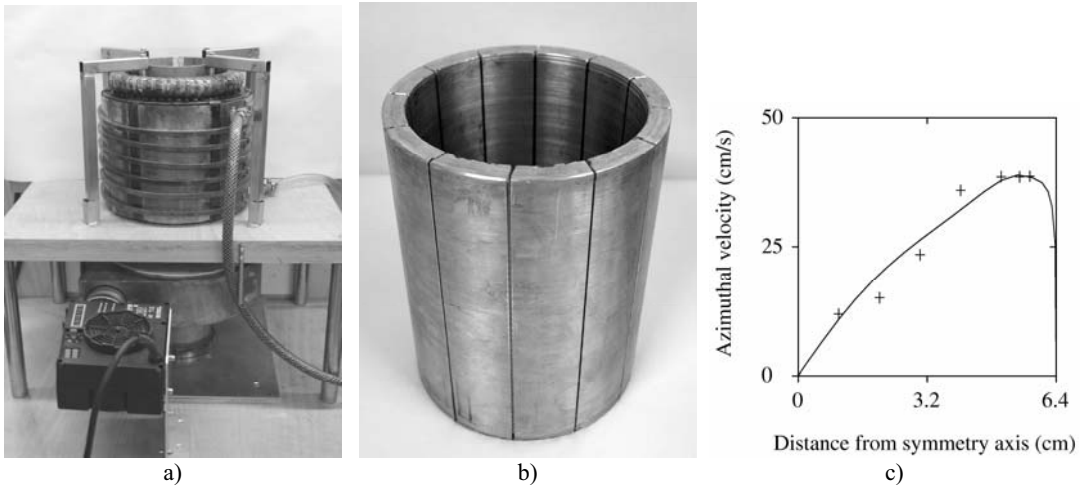


Figure 2 – Stirring by an outer inductor: a) laboratory setup [6] composed of a two-pole three-phase 50 Hz inductor, a slitted mould model supported by 4 holding arms and a vessel of 6.4 cm inner radius containing a molten BiPbSn alloy, b) the slitted mould model of an aluminium alloy with an inner annular steel core, c) radial distributions of the azimuthal velocity in the test stirrer. Symbols – measured values, line – calculated curve [2]

The currents i_i produce a second rotational field inside the mould, which stirs the molten core of the cast strand [2]. An intermediate magnetic core 4 can be used as a return path for both outer and inner rotational magnetic fields (Fig. 1). The currents i_i can be enhanced using a mould divided into segments by axial slits [2, 6].

Calculations and tests using the laboratory setup shown in Figure 2a) have yielded, that inside a slitted mould model (Fig. 2b) appears practically the same two-pole magnetic field as in the absence of the mould model [6] and therefore, a melt can be stirred with 50 Hz (Fig. 2c) as conventionally by a much lower supply frequency [2].

2 Melt-belt synchronization in the DSC of steel

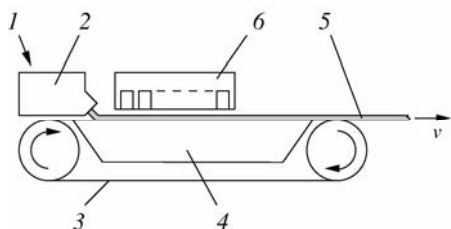


Figure 3 – DSC with inductive melt-belt synchronization (schematic): 1 molten steel, 2 dispenser, 3 belt, 4 water cooling system, 5 cast strip, 6 inductor

At the DSC the liquid metal is fed via a dispenser on a moving belt, which is cooled from below by water (Figure 3). After solidification the strand leaves the belt and is transported to a roller table. Because the liquid steel cannot be always added to the conveying belt with a velocity equal to that of the belt, strips with non-uniform surfaces are cast. A better strip quality results by using an upper linear inductor whose magnetic field is travelling with the belt velocity v (Fig. 3) [1, 7]. Therefore, the melt is synchronically positioned with the belt, because liquid areas moving faster or slower than the belt are braked or accelerated, respectively.

For the pilot caster in Clausthal was designed a linear inductor with the same construction as used for the conveying channels of molten metals (Figure 4) [8]: in the slots of the magnetic core are embedded two layers of three-phase double-layer wire windings shown in Figure 5a), which are connected in series and separated by a layer of tubes for air cooling with a ventilator [7].

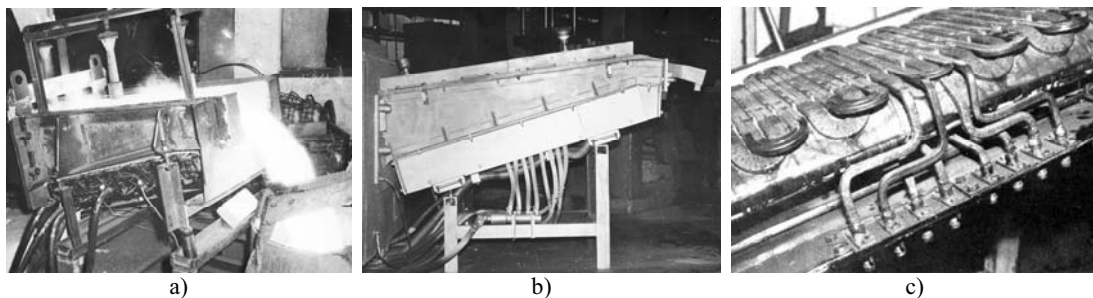


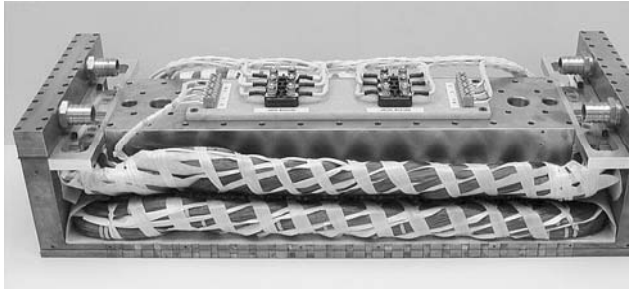
Figure 4 – First Romanian industrial 50 Hz electromagnetic channels with wire windings:
a) for transportation of molten cast iron and b) for dosing of molten aluminium alloys,
c) lateral view of the inductor for dosing, with the ends of the copper tubes
used for the indirect water cooling of the winding [8]

In comparison with the copper tube windings, the new solution with wire windings provides inductors of simpler construction with 3 to 4 times less power intake and smaller winding end parts [8], which are also cooled by the already mentioned ventilator [7].

To the casting speed $v = 20$ cm/s of the pilot caster corresponds a low supply frequency of 0.67 Hz and therefore, an unlaminated steel core can be used (Fig. 5a). For the inductor protection an inferior plate composed of steel and copper bars is employed [7]. The magnetic core and the protective plate have drillings for direct water cooling. Experimental tests with the inductor integrated in the pilot plant as shown in Fig. 5b) have yielded a better quality of the cast strips.

3 EML melting and flow rate control with a coreless EMV

In conventional melting furnaces with EML, force distributions are produced at which the Lorentz force vanishes on the symmetry axis. The melt outflow can be hindered in the lowest point on the axis of a levitated sample only by its surface tension and therefore, the charge weight is limited. EML forces can be exerted along the vertical symmetry axis in a homogeneous AC magnetic field with horizontal field lines [3]. In the case of greater charges, two magnetic fields of different frequencies have to be used, whose horizontal field lines are reciprocally normal [3].



a)



b)

Figure 5 – DSC of steel using an upper linear inductor: a) lateral view of the inductor with a massive magnetic core of steel and two layers of three-phase double-layer wire windings, b) the inductor installed in a housing and integrated at the pilot caster of the Clausthal University of Technology [7]

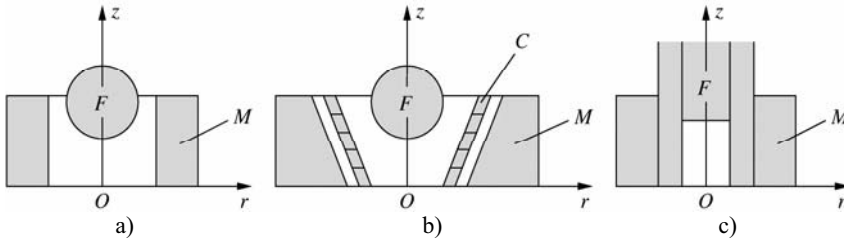


Figure 6 – EML devices with two-frequency inductors (schematic): melting furnaces a) without crucible and b) with a cold crucible, c) EMV: M magnetic core of the inductor, F fluid metal, C slitted cold crucible [3, 4]

The EML method presented can be used for melting furnaces without crucibles (Figure 6a) or with cold crucibles (Fig. 6b), when the crucible is composed of several annular wall-segments or of a helical wound copper tube, as well as for the EMV without an inner core (Fig. 6c) [3, 4].

For the experimental testing of the new EML concept, a 30–35 kHz laboratory setup was used, comprising a ferrite magnetic core, two coils and a quartz tube filled with argon (Figure 7), in which samples of the AlMgSiPb alloy were melted in EML without any leakage [4, 5].

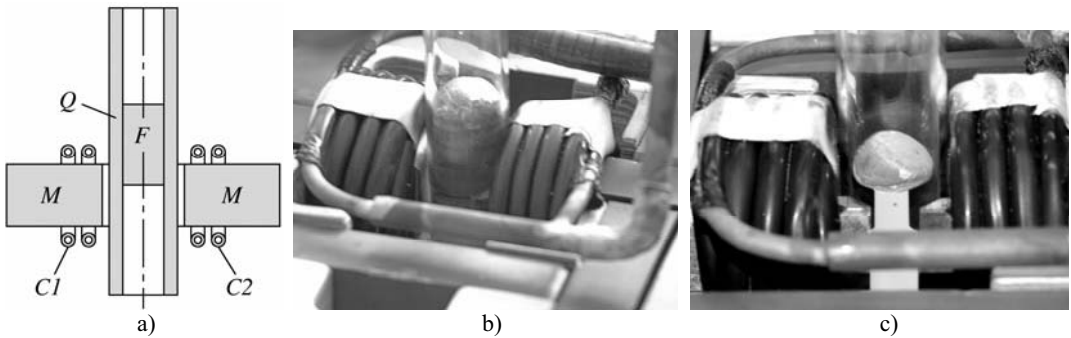


Figure 7 – Laboratory setup for EML: a) M magnetic core, $C1$ and $C2$ copper tube coils, Q , quartz tube, F levitated melt, b) semi-levitated aluminium charge of 14 g [4], c) entirely levitated aluminium sample of 3.9 g [5]

Literature

- [1] O. Peșteanu. Erzeugung räumlich einstellbarer Kraftdichteverteilungen und Strömungsfelder beim elektromagnetischen Rühren und Fördern von Metallschmelzen. Report of DFG-Project SCHW 176/34-1, 2003.
- [2] O. Peșteanu. Erzeugung räumlich einstellbarer Kraftdichteverteilungen und Strömungsfelder beim elektromagnetischen Rühren von Metallschmelzen. Final report of DFG-Project SCHW 176/36-1, 2007.
- [3] O. Peșteanu, E. Baake, B. Nacke. Schwebeschmelzen und Durchflussregelung mit magnetischen Zweifrequenzfeldern. *elektrowärme int.* 62 (2004) 2, pp. 85-86.
- [4] O. Peșteanu, E. Baake, B. Nacke. Kernloses Zweifrequenz-Induktionsventil für Flüssigmetalle. *elektrowärme int.* 65 (2007) 4, pp. 250-251.
- [5] O. Peșteanu, E. Baake. The Multicell Volume of Fluid (MC-VOF) Method for the Free Surface Simulation of MFD Flows. Part II: Experimental Verifications and Results. *ISIJ Int.* 51 (2011) No. 5, pp. 714–721.
- [6] O. Peșteanu. Electromagnetic Mould Stirring with Higher Supply Frequency. *ISIJ Int.* 48 (2008) 2, pp. 251-253.
- [7] O. Peșteanu, K.-H. Spitzer, H. Eichholz. Anwendung von Wanderfeldinduktoren beim Stranggießen von Stahlbändern. *elektrowärme int.* 62 (2004) 1, pp. 26-27.
- [8] O. Peșteanu. Contribution to the Calculation of Electromagnetic Channels for Molten Metal Transportation. *European Trans. on Electrical Power Engineering* 2 (1992) 6, pp. 397-405.

3D ELECTROMAGNETIC AND THERMAL MODELLING OF THE EFG PROCESS FOR SILICON TUBE GROWTH

B. Nacke, S. Wipprecht

Leibniz University of Hannover, Institute of Electrotechnology
D-30167, Hannover, Wilhelm-Busch-Str., 4, Germany
nacke@etp.uni-hannover.de
phone: +49 (0) 511-762-55-33, fax: +49 (0) 511-762-32-75

Key words: *solar cell production, crystal growth of solar cells, EFG process, numerical simulation of complex temperature field, simulation of heat radiation by view factor method*

Abstract

Известный в западной литературе EFG процесс (edge-defined film-fed growth process) используется в основном для выращивания кремниевых пластин, полых цилиндров и различных полигонов. Разработка EFG процесса, как правило, сфокусирована на совершенствовании технологии и снижении цены пластин для солнечных батарей. В случае выращивания полигонов используется трехмерный численный анализ, поскольку геометрия полигонов не может быть адекватно описана в осесимметричной постановке. Электромагнитное моделирование основного и вспомогательного нагревателей помогает рассчитать тепловыделение в системе. Расчет трехмерных температурных полей с учетом сложных условий радиационного теплообмена позволяет проанализировать температурные распределения по длине и в поперечном сечении выращиваемых силиконовых труб. Нелинейная модель, включающая электромагнитный и тепловой анализ, была улучшена и верифицирована по экспериментальным данным, полученным на промышленных установках.

Introduction

The requirements in manufacturing of solar cells increased dramatically due to the ascended worldwide demand and the consequent shortage of silicon. A continuous increase of efficiency while reducing costs on the other hand are in the spotlight of the development of future production processes.

With this background the so called Edge-defined Film-fed Growth procedure (EFG) (Fig. 1) was developed which allows to pull long and hollow silicon tubes directly from the silicon melt. The wall thickness of such tubes corresponds directly to the thickness of the finished wafer. Thanks to laser cutting the wafers are directly cut from the tube. The advantages of the EFG-technology compared to other procedures are a high productivity, the low costs of the wafers and a rapid laser-cutting process that guarantees highly mechanical wafer strength with a low rate of material waste. A decisive factor for the quality of wafers is the homogenous temperature distribution in the crystallization front along the silicon tube [2].

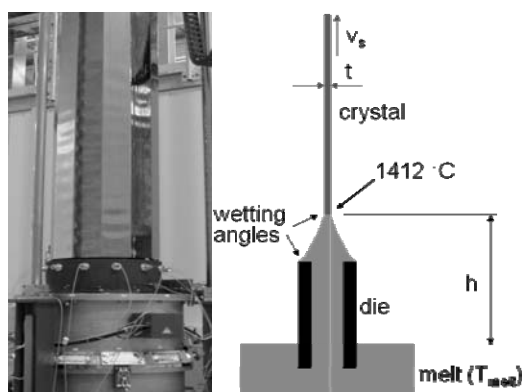


Figure 1 – EFG system and principle of silicon tube growth

Any inhomogeneity temperature disturbs the pull and causes instability. The results are different thickness distributions along the silicon tube.

For further improvement of the production process to gain more reliability and efficiency the Institute of Electrotechnology of the Leibniz University of Hannover developed 3D models of the entire melting furnace. With the help of these numerical models influences on the homogeneity of the temperature at the crystallization front can be investigated.

In opposite to the induction heated furnaces for which already a system of 3D complex numerical models exists [2] new 3D models with even higher complexity had to be developed for the new resistance heated system [1] where 12 sided tubes (dodecagons) instead of 8 sided tubes (octagons) are pulled. The required heating energy for the melting process is provided by an individually adjustable 12-zoned resistance heating element and not by an induction coil.

An immediate benefit is the direct influence on the required process energy in the individual tube sections and thus on the resulting temperature distribution. The possibility of the adjustment setting means a controlled influence of the resulting thickness of the silicon tube in different areas.

With the help of the new numerical simulation models the further development of the system can be accelerated and also cost-effective parameter studies will be performed in less time. Not only the increase of quality of the product is in the front of interest but also to obtain more information about the physical processes during the melting sequence.

1 Development of the numerical model

The modeling is currently divided in two steps. The first step is the generation of an electromagnetic 3D model of all heat sources. The second step is to create a thermal model of the actual oven geometry. Both models were developed using the commercial software package ANSYS®.

2.1 Electromagnetic model for main and afterheater

The heat sources of the EFG system consists of a main heater to melt the silicon and an afterheater positioned above the crystallization front of the tube (Fig. 2).

In accordance with the experiment-tally determined specifications the needed supply voltage is applied at the corresponding points of the heater segment.

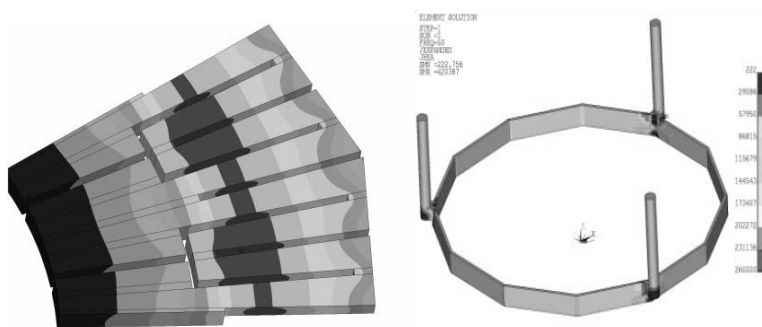


Figure 2 – 30° segment of the main heater (left) and entire afterheater (right)

2.2 Thermal model

The main part of the simulation effort concerns the thermal model. This part contains the entire furnace geometry considered as relevant for the crystallization process. For a sufficient optimization of the process two different thermal models have been developed: a fine meshed model of 30° of the whole system for local optimizations and a less fine meshed model of 120° of the whole system for

global optimizations. Due to the symmetry conditions the 120° model represents the entire system while the 30° model can only show local effects. Fig. 3 shows the 30° model (left) and the 120° model (right).

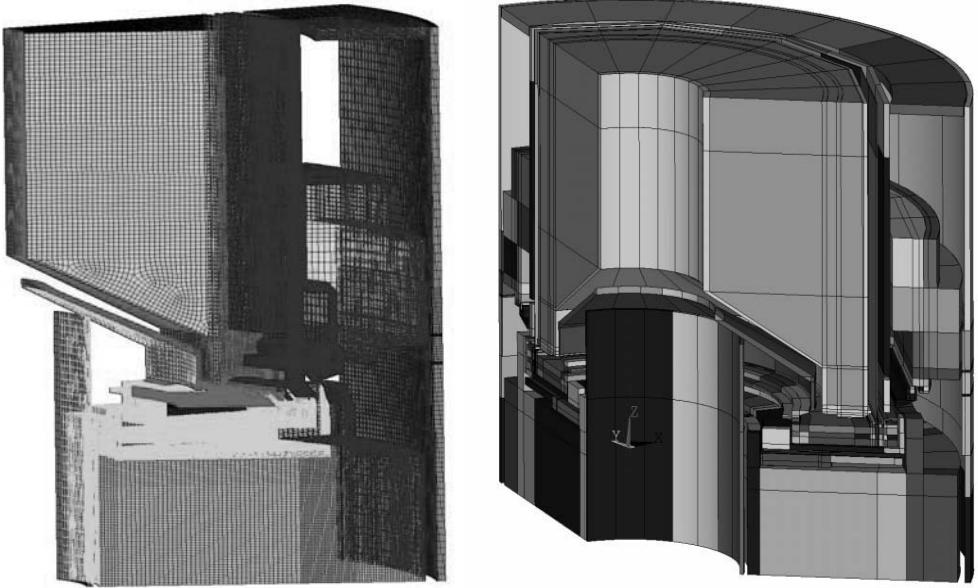


Figure 3 – Thermal models, 30° segment model with mesh (left) and 120° model (right)

2.2.1 Radiation method

Silicon has its melting point at 1410°C. Taking into account the Stefan-Boltzmann law which states that the maximum power density grows with the fourfold power of the absolute temperature of the radiator, one main invention focus is about the development and optimizing use of a suitable radiation model. This focus is with regard to the proportion of radiation throughout the heat transfer process permitted.

In the commercial software package ANSYS® the method of "Radiosity Solver" comes into operation. This latest approach to simulate the radiation exchange offers among others the advantage of easier creation of radiation surfaces, temperature dependent emission levels and the application of symmetry effects. A much more important item is the realization of larger models, as they are possible in direct comparison to the older "aux12" method.

Equation (1) defines radiation between two surfaces:

$$(1) \quad Q_{12} = A_1 F_{12} \varepsilon_1 \sigma (T_1^4 - T_2^4),$$

where F_{12} represents the form factor of fraction of total radiant energy going from surface 1 to surface 2.

The Radiosity Solver method calculates the temperature distribution in a segregated, iterative fashion for radiation and heat conduction until convergence is achieved. This method reverts to a defined viewfactor-matrix with the constants F_{ij} . The "aux12" method on the other hand uses an effective heat conduction-matrix. This matrix contains all information about geometric orientations, shapes and emission levels of the numeric model. The calculation of the radiation needs no segregated sub-steps and shares the same routine with the heat conduction. The determination of this effective matrix is very memory and computation intensive.

2.2.2 Radiation model

For the radiation model all surfaces must be covered with the appropriate material emission ratio. Due to the parameterized single volume structure it must be aware that the emission ratio only covers external surfaces. In the case of a selection of a surface area within the general arrangement it is possible that the calculated temperature distribution shows unsymmetrical variations in the affected parts.

Furthermore, a division into so-called enclosures and the establishment of the radiation symmetry conditions has to be carried out. In Fig. 3 (left) an exemplary distribution of the enclosures is shown. By the use of these enclosure-zones a decoupling of different model zones can be obtained. The program takes all single surface elements of the arrangement into account and calculates a solution for the viewfactor-matrix, although a intervisibility through the geometry is not given. This leads to a larger viewfactor-matrix and also to longer computing times. With the division into different enclosure-zones only surface elements with equivalent factor assignment are taken into account.

According to the status of current desktop systems it is impossible to create a finite element system of such complexity that covers the entire scope of the silicon tube. However, it is important not only to examine that part of the model resulting from the repetitive form of the dodecagon, but also the adjacent cuttings. These border parts must also be taken into consideration because a significant proportion of the radiation from the adjacent areas reaches the surfaces of the actual cut.

Using the radiation symmetry option the parts of the generated furnace system can be repeatedly created. The advantage of this method is that only the surface of a part will be mirrored, but not the assigned material values or the resulting matrixes. A recalculation of temperature distribution will not take place. Only with the repeated image of the original calculated thermal distribution the output surface will be formed. This reduces the computing and storage complexity immense and the operability of the numerical model remains.

3 Simulation results

The coupled electromagnetic and thermal models were used in the first step to recalculate the existing configuration of the EFG system and to compare the simulation results with experimentally available data.

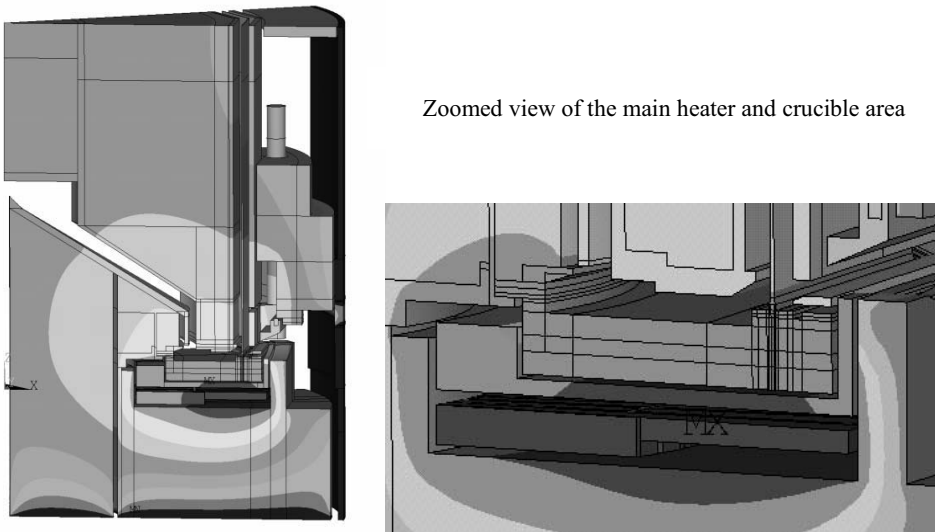


Figure 4 – Temperature distribution in the EFG system using the thermal 30° segment model

Fig. 4 shows the calculated temperature distribution in the entire EFG system using the thermal 30° segment model for the existing configuration. The zoomed view of the area of the main heater and the crucible show that the highest temperature occurs in this area. The model was adjusted to the real temperature level in the heater zone by experimental data.

The results of the model allow to optimize the design of the main heater in order to get an equal temperature distribution in the 30° segment area.

Because the entire system has a 120° symmetry due to the afterheater configuration (Fig. 5 right) overall temperature distribution can be calculated and optimized only with the 120° model (Fig. 5 left). The calculation of the model takes much more calculation time but it is necessary to optimize the temperature distribution around the entire silicon tube. Due to the symmetry conditions the temperature distribution of the 120° model represents the temperature distribution in the entire EFG system.

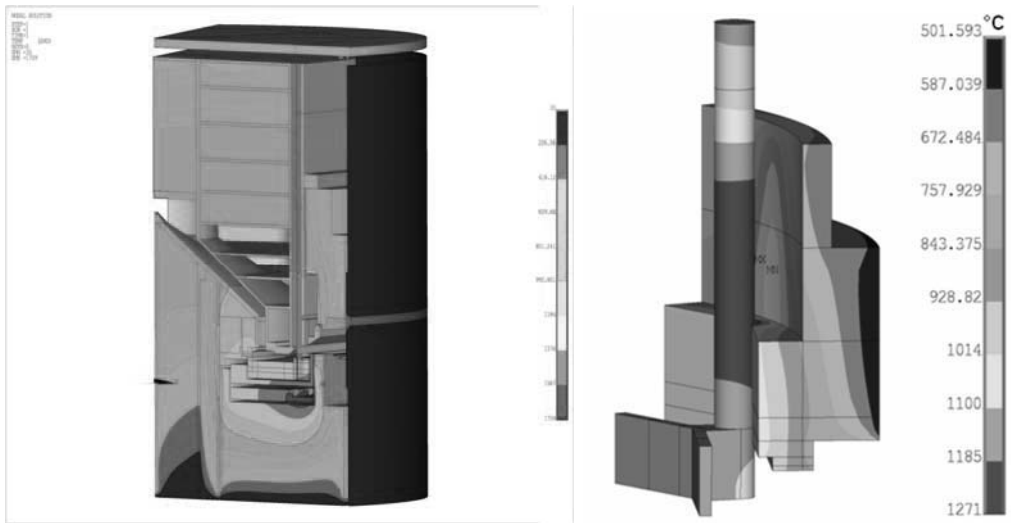


Figure 5 – Temperature distribution in the 120° system area (left) and temperature distribution in the area around the current connections of the afterheater

The 120° model allows to optimize the overall temperature distribution in the EFG system and especially in the grown silicon tube. Due to the concentration of heat in the afterheater area due to the heater current connection, represented by the vertical bar in Fig. 5 left, typically a non-homogeneous temperature distribution occurs close to the heater connections. Therefore additional measures are necessary to avoid these inhomogeneities.

4 First result of optimization

First optimizations using the developed models were carried out concerning the configuration of the main heater to avoid local inhomogeneities in the main heater area. The result was an adapted design of the meander structure of the heater segments (Fig. 6).

Fig. 7 shows several steps for the optimization of the temperature distribution in the grown silicon tube just after the meniscus (see Fig. 1 right) using different solutions for the thermal insulation close to the crucible. The results in Fig. 7 show that a symmetrical temperature distribution around the just grown entire silicon tube can be achieved.

More complicated is the optimization of the temperature distribution in the grown silicon tube in the cooling down area taking into account the unsymmetrical configuration of the afterheater. First optimization steps have been already carried out but not shown here.

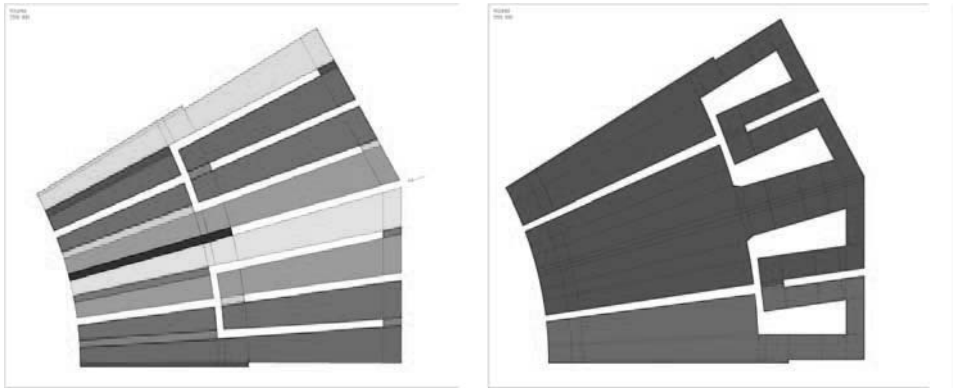


Figure 6 – Original segment (left) and example of an optimized segment (right) of the main heater

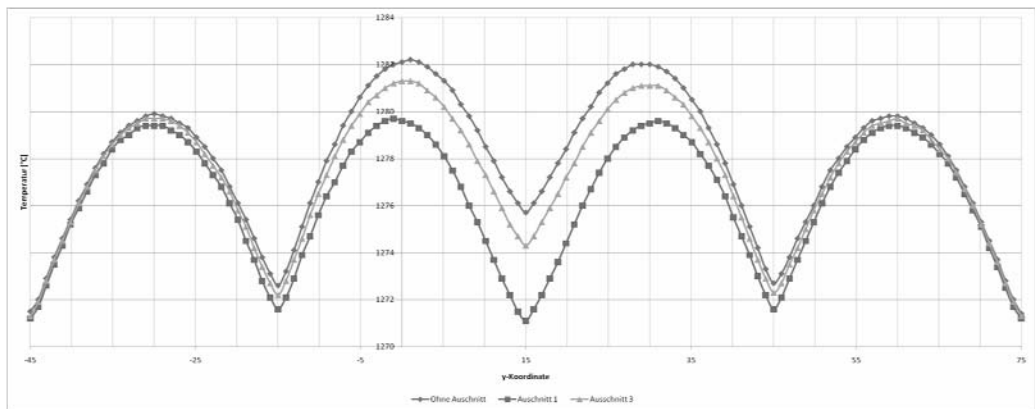


Figure 7 – Temperature distribution in the grown silicon tube for different configurations

Conclusions

Three-dimensional numerical models taking into account the coupled electromagnetic and thermal field including complex radiation conditions have been developed and can be used for further optimization of the EFG system. The models allow either local optimizations using a fine 30° segment model or global optimizations using the 120° model which represents the entire EFG system. First optimizations have been carried out and show the useful application of the complex numerical models.

References

- [1] Seidl, A., Birkmann, B., Mackintosh, B., Grahl, T., Horzel, J., Roth, P., Schmidt, W., Schwirtlich, I.: Larger tube and wafer sizes: EFG on the cusp of the next generation. Proceedings of the 21th European Photovoltaik Solar Energy Conference, Dresden, 2006, pp. 988 - 991
- [2] Kasjanow, H.: Dreidimensionale Effekte im nichtlinearen elektro-thermischen EFG-System für die Kristallzüchtung von Silizium-Folien für die Photovoltaik. Dissertation, 1. Auflage, 2007 Sierke Verlag.
- [3] Wipprecht, S., Kasjanow, H., Nacke, B.: 3D electrical and thermal simulation of a resistance heated EFG system. Proceeding of the International Scientific Colloquium: Modelling for Electromagnetic Processing, Hannover, 2008.

SIMULATION AND MULTIOBJECTIVE DESIGN OPTIMIZATION OF INDUCTION HEATERS

P. Di Barba¹, A. Nikanorov², M. Forzan³, Yu. Pleshivtseva⁴

¹University of Pavia, Department of Electrical Engineering
27100, Pavia, via Ferrata, 1, Italy
paolo.dibarba@unipv.it
phone: +39 (0) 382-985250, fax: +39 (0) 382-422276

²Leibniz University of Hannover, Institute of Electrotechnology
30167, Hannover, Wilhelm-Busch-Str., 4, Germany
nikanorov@etp.uni-hannover.de
phone: +49 (0) 511-762-3928, fax: +49 (0) 511-762-3275

³University of Padua, Department of Electrical Engineering,
35131, Padova, via Gradenigo, 6/A, Italy
michele.forzan@unipd.it
phone: +39 (0) 498-277506, fax: +39 (0) 498- 277599

⁴Institute of problems of control by complex systems of RAS
443020, Samara, Sadovaya Str, 61, Russia
yulia_pl@mail.ru
phone: +7 (846) 332-42-34, fax: +7 (846) 278-44-40

Key words: *multi-objective optimization, distributed-parameter system, numerical and analytical models, optimal control, induction heating process*

Abstract

В статье представлен научно-исследовательский проект, реализуемый совместно Падуанским и Павианским Университетами (Италия), Институтом Электротехнологий Университета им. Лейбница (г. Ганновер, Германия) и самарскими учеными, в области моделирования и многокритериальной оптимизации процессов индукционного нагрева металлов перед обработкой давлением. Рассмотрены основные направления развития научных исследований партнеров по указанной тематике.

Introduction

The international co-operation of researchers from Italian, German and Russian universities is considered today as a necessary condition for developing R&D Projects in Europe and Russia.

A successful and fruitful co-operation between the partners had already started more than 12 years ago. Many scientific projects have been and are carried out during this time. An important aspect of the research methodology is the combination of various approaches, tools of simulation and optimization algorithms [1-3]. The goal of this paper is to describe the main ideas and directions of new research activities carried out by partners in the field of optimal design and control of induction heating processes.

1 Background and main objectives of the researches

The main goal of the researches performed is the development of new theoretical methods, algorithms and engineering techniques for mathematical simulation and multi-objective optimization of industrial highly effective technologies of induction heating. This goal could be obtained only on the basis of presented scientific co-operation, consisting of the combination of multi-objective optimization approaches with advanced problem-oriented mathematical models. Such combination provides

the development of special optimization strategy, that is planned to be applied for the optimal design and control of different induction heating systems.

The detailed description of the objectives is the following.

- 1) Development of problem-oriented mathematical models including analytical and numerical descriptions of interrelated electromagnetic and temperature fields during induction heating processes. The mathematical models are planned to be adapted and adjusted to the requirements of the multi-objective optimization procedures.
- 2) With respect to chosen optimization criteria, like maximum heating accuracy or minimum energy consumption, the multi-objective optimization problem should be formulated in a mathematically rigorous way.
- 3) Different mathematical methods and algorithms for multi-objective optimization that are based on optimal control theory and parametrical optimization approaches should be developed to create engineering techniques of multi-objective optimization.
- 4) The optimization techniques and models developed have to be implemented and integrated for user-friendly automated computations of design criteria to be optimized.
- 5) Different optimization procedures developed on the basis of different tools and software should be tested and investigated in a number of comparative case studies.
- 6) The engineering techniques and optimization procedures developed will help to solve various problems of multi-objective optimization on a theoretical basis.

As the first step, it is necessary to provide a detailed conceptual description of multi-objective optimisation problem for induction heating process prior to metal hot working operation. The optimisation problem should be discussed from the standpoint of the modern theory of optimal control with respect to systems with distributed parameters and parametrical optimisation theory.

To have a proper formulation of the optimisation problem for an induction heating process, it is necessary to define the following aspects properly:

- Mathematical model of the heating process
- Cost functions for multi-objective optimisation
- Set of independent variables to be optimized
- Constraints imposed on the variables
- Additional technological constraints imposed on the behaviour of a temperature field of heated workpieces
- Models that describe major disturbances

In order to solve induction heating optimization problem, mathematical models of heating process must be put into the form amenable to analysis and evaluation. Quite often cumbersome numerical methods are required in order to solve non-linear interrelated electro-thermal equations [1]. At the same time, in many cases certain assumptions could be made to obtain a reasonable simplification of the mathematical model. For a large number of induction heating systems these approximations and simplifications lead to mathematical models in the form of linear ordinary differential equations. Even though obtained models are linear, they are important for analysis of nonlinear systems and choosing optimization strategies.

Finally, results obtained for simplified models can be used as initial approximations for calculations based on complex numerical models.

It is suggested to start from a problem that is typical for the forging industry, i.e. when it is important to achieve a uniform temperature distribution in the billet at the outlet of the heater with minimum energy consumption (see Figure 1). Since these requirements are in conflict, in principle it is necessary to solve a multi-objective optimization problem with respect to appropriate criteria.

The most common optimal control approach might deal with an estimation of heating accuracy by the norm of deviation of the actual temperature distribution $\theta(l, \varphi^0)$ from the prescribed one

$\theta^*(l)$, typically by absolute maximum deviation within volume V of the heated body. Then, a first objective function I_1 can be defined as:

$$(1) \quad I_1 = |\theta(l, \varphi^0) - \theta^*(l)| \rightarrow \min .$$

This asks for identifying the optimal control inputs that would lead to a minimum absolute deviation of actual temperature distribution from the prescribed one.

In some cases the most essential part of the process effectiveness deals with cost of energy/power used for heating. In this case it is proper to consider a second objective function I_2 , which can be represented in the integral form as:

$$(2) \quad I_2 = \int_0^{\varphi^0} P^*(\varphi) d\varphi \rightarrow \min ,$$

where $P^*(\varphi)$ represents a sum of the power induced in the billet P and the power loss in the inductor P_1 . Minimization of the cost function (2) leads to minimization of the overall required energy.

It should be mentioned here that in order to investigate the degree of conflict between criteria (1) and (2) two independent single-objective optimization problems should be solved with respect to each objective. This can be also helpful in order to have a rough idea of the shape of response surfaces in both local optimization problems.

An internally generated heating power is the most significant process parameter that affects temperature distribution. Proper control of heating process involves appropriate choice of the internal power density. However, such control functions in many cases are too complex to be practically applied. At a first look, this seems like a relatively simple process that calls for the total consumed heating power $P(\varphi)$ as a control input. As a consequence, the design variables - inductor length L_h and power $P(\varphi)$ - are planned to consider as control inputs to be optimized.

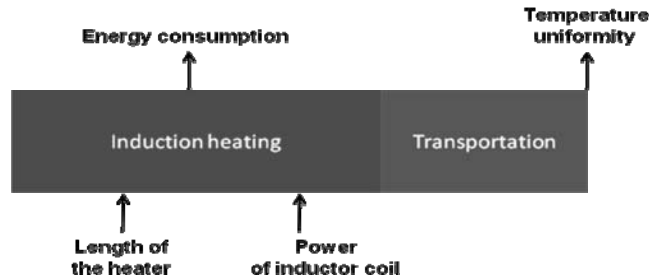


Figure 1 – Induction heating system to be optimized

2 Optimization strategy

Usually multiple reasonable optimization methods exist, so partners must evaluate different optimization choices on their merits and choose the approach that best meets their requirements.

Application of optimal control theory for systems with distributed parameters is a powerful approach for development of highly effective induction systems. Optimal control methods and techniques are based on physical properties of controlled non-stationary heat conductivity processes during induction heating. The method sets universal qualitative features of temperature distribution within the heated workpiece at the end of optimal control processes. These features have a clear physical meaning and they are similar to properties of the best uniform approximation of given functions to zero. Mathematically rigorous proof of these properties is provided in [1].

The fundamental importance of these properties deals with the fact that they can be written in the form of set of equalities closed in the mathematical sense with respect to all optimized parameters of the heating process. In other words, the number of equalities proves to be equal to number of all sought parameters that completely define process under control. This provides potential capability to transform a set of equalities into set of equations that ought to be solved with respect to unknown parameters, that leads to the final solution of optimal control problem. This optimization strategy has been described in many publications. It is planned to apply this strategy for the solution of the described multi-objective optimization problem.

Different parametrical optimization algorithms to solve multi-objective optimization problems are in principle known and some of them are used in practice. Nevertheless, there is no single best method for numerical optimization and one needs to choose a method based on the characteristics of the particular problem to be solved.

For the time being it is planned to go through the following roadmap.

- 1) Identification of utopia point and nadir point of the bi-objective optimization problem, by means of a derivative-free and global-oriented algorithm like e.g. evolution strategy.
- 2) Objective-weighting formulation of the bi-objective problem in terms of a scalar preference function with variable weights.
- 3) Use of a truly multi-objective optimization algorithm, like e.g. NSGA-II (population oriented) or MOESTRA (individual oriented) [2].
- 4) Direct investigation of the Pareto front, starting from an optimal solution and exploiting John's condition.
- 5) Sensitivity of solutions along the Pareto front with respect to small perturbation in the design space.

3 Conclusions

It is necessary to underline, that the described Project is just at the start. Described optimization strategy is under development and should be improved, adjusted and applied.

So the subsequent work should be concentrated on investigating the applicability of possible optimization strategies. A system of problem-oriented mathematical models of different complexity that describe interrelated electromagnetic and temperature fields will be developed to carry out the multi-objective optimization procedures.

Literature

- [1] E. Rapoport, Yu. Pleshivtseva. Optimal Control of Induction Heating Processes. DK6039, CRC Press/Taylor & Francis Group, 6000 Broken Sound Parkway, NW Suite, 300. Boca Raton, FL 33487 (USA), 2007, 349 pp.
- [2] P. Di Barba. Multi-objective Shape Design in Electricity and Magnetism. Springer, 2010.
- [3] A. Nikanorov, H. Schülbe, S. Galunin. From expert solution to optimal design of electrothermal installations. Elektrowärme International H4 (2004), ISSN 0340-3521-K 5548F, pp. 177-178.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРОГРАММНЫХ ПРОДУКТОВ ANSYS И CEDRAT FLUX НА ПРИМЕРЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОХОДНОЙ ИНДУКЦИОННОЙ НАГРЕВАТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ¹

Ю.Э. Плешивцева¹, О.Ю. Шарапова², В.А. Медникова²

¹Институт проблем управления сложными системами РАН
443020, Самара, ул. Садовая, 61, Россия
cscmp@iccs.ru

тел/факс: +7 (846) 333-27-70

²Самарский государственный технический университет
443100, Самара, ул. Молодогвардейская, 244, Россия
usat@samgtu.ru
тел: +7 846 332-4234

Ключевые слова: численное моделирование, индукционный нагрев, температурное распределение, программный продукт, сравнительный анализ, ANSYS, Cedrat FLUX

Abstract

The functional possibilities of finite elements ANSYS and Cedrat FLUX software are considered. The specific features of ANSYS and Cedrat FLUX are described with regard to application for numerical simulation of induction through heating processes in installations with continuous movement of metal billets. Comparative analysis of simulation results is carried out for one industrial heater.

Введение

В настоящее время необходимость и эффективность применения современных средств компьютерного моделирования на стадиях разработки, проектирования и исследования сложных технических систем бесспорны. В научно-исследовательских, проектных и производственных организациях практически всех отраслей отечественной промышленности широко используется современное программное обеспечение CAE (Computer Aids Engineering). CAE позволяет не только выполнить качественное моделирование технологических систем различного уровня сложности, но и исследовать отклик этих систем на внешние воздействия, то есть получить пространственно-временные распределения полей различной физической природы, в том числе взаимосвязанных тепловых и электромагнитных полей, полей механических деформаций, скоростей, потенциалов, давлений и т.п.

Проходные индукционные нагревательные установки (ИНУ) с непрерывной выдачей заготовок, широко применяемые на практике для индукционного нагрева металлов перед последующей обработкой давлением, являются сложными техническими объектами, в которых протекают физические процессы электромагнитной и тепловой природы [1]. Учитывая существенно нелинейные свойства взаимосвязанных электромагнитных и тепловых полей и сложный характер теплообмена, точное количественное описание ИНУ может быть получено только численными методами [2].

Наиболее распространенным численным методом расчета электромагнитных и тепловых полей является метод конечных элементов (МКЭ), основанный на решении взаимосвязанной

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009-13 гг.» (проект П1448)

системы уравнений Максвелла и Фурье [3]. Современный рынок программных средств предлагает большое разнообразие конечно-элементных пакетов для расчета электромагнитных и тепловых процессов. Инструменты, разработанные производителями программных продуктов, существенно различаются спецификой их применения в предметных областях, степенью автоматизации расчетных процедур, используемым математическим аппаратом, быстродействием, пользовательским интерфейсом, языками программирования и др.

Явным лидером среди универсальных многоцелевых программных комплексов является наукоемкий программный пакет ANSYS. Среди специализированных продуктов, предназначенных для многопараметрического электромагнитного, теплового и электромеханического анализа, в последние годы заметно выделяется программный продукт Cedrat FLUX. В статье представлено сравнение основных функциональных возможностей, особенностей применения, преимуществ и недостатков данных программных продуктов применительно к задаче моделирования стационарного процесса нагрева стальных цилиндрических заготовок в проходной индукционной установке непрерывного действия.

1 Численное моделирование проходной ИНУ в программном пакете Cedrat Flux

Специализированный программный пакет FLUX, разработанный французской компанией Cedrat, предназначен для многопараметрического электромагнитного, теплового и электромеханического анализа 2D и 3D конфигураций моделей электротехнологических процессов и установок. Программный пакет FLUX предоставляет пользователю возможность симуляции статических, гармонических и переходных состояний для магнитных и электромагнитных приложений, включая механическую (кинематическую) и электрическую привязку к модели, и анализ тепловых процессов [4].

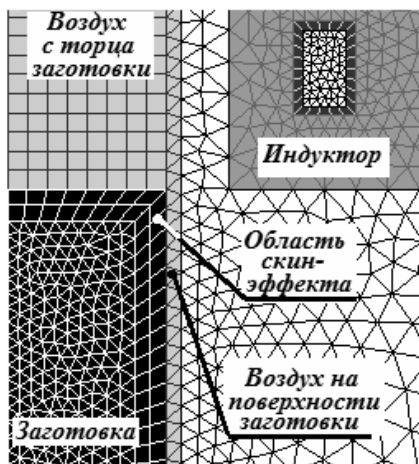


Рисунок 1 – Фрагмент геометрии и сетки модели ИНУ в пакете FLUX

Программный продукт включает препроцессор с широкими возможностями импорта CAD файлов и средствами задания геометрии, базы данных материалов, схемной привязки и генератор сетки. Моделирующие возможности программы FLUX расширены возможностью задания бесконечных областей, различных граничных условий, разнообразных материалов и источников питания.

Многопараметрические методы симуляции и интерфейсные возможности, реализованные в программном пакете FLUX, представляют значительные возможности для моделирования процессов индукционного нагрева, в том числе в ИНУ периодического и непрерывного действия.

Во FLUX существует специальный модуль *Transient Magnetic*, с помощью которого реализуется вращательное и поступательное движение тела в электромагнитном поле. Для правильной работы этого модуля необходимо учесть некоторые особенности при построении геометрии и сетки модели (см. рисунок 1).

При движении заготовки на каждом временном шаге программа осуществляет перестройку сетки и геометрии, поэтому необходимо задать воздушное пространство с обоих торцов заготовки. Воздушная область, расположенная по направлению движения, имеет следующие параметры: высота соответствует радиусу заготовки, а длина должна покрывать расстояние, которое пройдет заготовка (область с противоположного торца имеет ту же высоту при минимальной длине). Данные области и верхний слой заготовки, в котором

проявляется скин-эффект, равномерно разбиваются прямоугольными элементами на одинаковое количество узлов. Над верхней поверхностью заготовки воздушное пространство задается узкой полосой, которая равномерно разбивается треугольными элементами (см. рисунок 1).

После того, как геометрия модели и генерация сетки завершены с учетом выше перечисленных требований, необходимо выбрать физический модуль *2D Steady State AC Magnetic coupled to Transient Thermal*, который осуществляет совместное решение стационарной электромагнитной и переходной тепловой задач. Данный модуль позволяет задавать для нагреваемого металла нелинейные зависимости удельного сопротивления, теплопроводности и теплоемкости от температуры. При задании граничных условий одновременно учитывается радиационный и конвективный теплообмен заготовки с окружающей средой.

Для моделирования источника питания и задания электромагнитных свойств витков катушки используется редактор электрических схем *ElectriFlux*. Электрические схемы создаваемые в предпроцессоре FLUX, имеют непосредственную привязку к элементам модели. Данный этап завершает работу в предпроцессоре.

Программный пакет FLUX разделен на предпроцессор, процессор и постпроцессор. Каждый из этих компонентов запускается отдельно, имеет свое диалоговое окно и функции. В процессоре задается временной шаг (или диапазон его изменения) и требуемая точность расчета. Если физические свойства системы изменяются слишком быстро, что ведет к плохой сходимости решения, временной шаг либо уменьшается автоматически, либо выдается соответствующий запрос на уменьшение его длины, после чего расчет продолжается с момента корректировки временного шага [5].

В программном пакете FLUX нет встроенного алгоритмического языка программирования, но при создании и сохранении модели используются командные файлы, которые записываются в виде последовательности команд на удобном и простом в применении языке программирования Python.

2 Численное моделирование проходной ИНУ в программном пакете ANSYS

Программный комплекс ANSYS – это многоцелевой пакет проектирования и анализа, наиболее известный и признанный во всем мире. Многоцелевая направленность данного программного пакета, средства геометрического моделирования на базе В-сплайнов, полная совместимость с CAD/CAM/CAE системами и «дружеский» пользователю интерфейс привели к тому, что ANSYS широко используется во многих научно-исследовательских, проектных и производственных организациях.

Одним из основных достоинств пакета прикладных программ ANSYS является наличие встроенного алгоритмического языка APDL. Интуитивная ясность и простота в сочетании с широкими функциональными возможностями позволили APDL превратиться в мощное средство автоматизации всего цикла численного анализа сложных технических систем различной физической природы.

Поскольку при моделировании проходной ИНУ необходимо совместное решение задачи электромагнитного и теплового анализа при условии

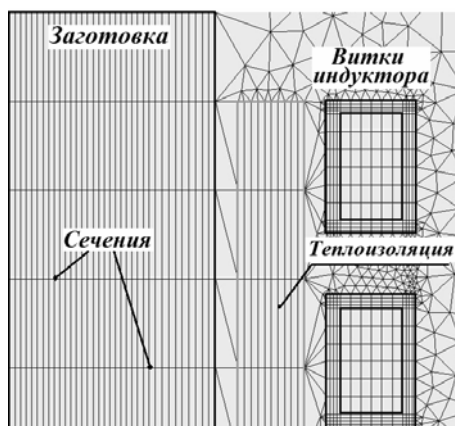


Рисунок 2 – Фрагмент геометрии и сетки модели ИНУ в пакете ANSYS

движения заготовки относительно витков индуктора, на каждом временном шаге необходима перестройка геометрии и сетки модели. Реализовать поставленную задачу в предпроцессоре ANSYS с использованием стандартного аппарата, применяемого при моделировании, не представляется возможным.

Смоделировать проходную ИНУ можно лишь с использованием встроенного алгоритмического языка APDL. Основные этапы моделирования при написании программы на APDL сохраняются. На первом этапе строится геометрия модели, затем генерируется сетка. При разбиении заготовки следует учесть некоторые особенности, которые необходимы для реализации алгоритма, имитирующего движение. Сетка должна быть регулярной, состоящей из прямоугольных элементов и равномерной в направлении движения заготовки (см. рисунок 2).

Далее для совместного решения задачи электромагнитного и теплового анализа задаются основные нелинейные теплофизические свойства материала заготовки в виде зависимостей соответствующих параметров от температуры. Устанавливаются значения коэффициентов для лучистого и конвективного теплообмена, учитывающие взаимодействие поверхности заготовки с окружающей средой.

При написании алгоритма, имитирующего движение металлической заготовки в переменном электромагнитном поле, были активно использованы многие возможности языка APDL: организация диалоговых окон для ввода текстовых и числовых параметров; создание массивов; организация циклов и операторов-условий; создание окон статусных строк для отбражения работы программы.

Алгоритм, имитирующий движение, организован как итерационный процесс, в котором каждый последующий шаг рассчитывается с учетом значения предыдущего. Следовательно, при совместном решении электромагнитной и тепловой задач, алгоритм позволяет скорректировать температуру во всех сечениях заготовки на каждом временном шаге с учетом температурного распределения на предыдущем шаге [6].

Главным недостатком данного алгоритма является взаимосвязь скорости движения заготовки и длины элементов сетки, на которые она разбита, с временным шагом. По этой причине скорость движения заготовки не должна быть высокой, так как увеличение ее значения может привести к слишком быстрому изменению теплофизических свойств, а это влечет за собой плохую сходимость решаемой задачи.

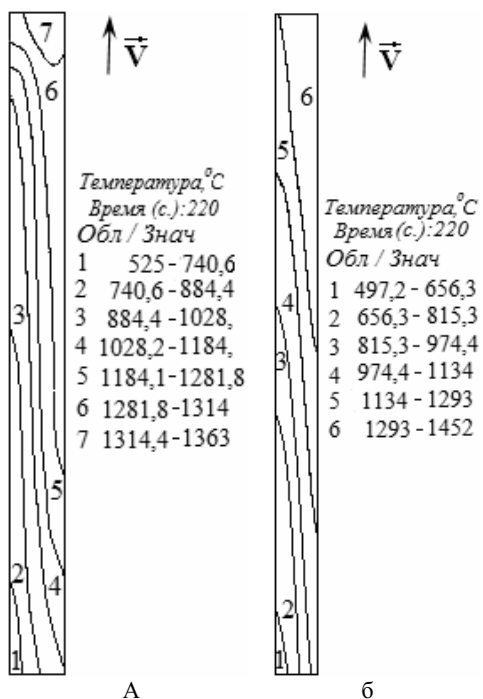
3 Сравнение результатов моделирования ИНУ в пакетах ANSYS и FLUX

Проведем сравнительный анализ результатов, полученных в программных пакетах ANSYS и FLUX при численном моделировании проходной ИНУ, исходные данные по конструктивным характеристикам которой приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Исходные данные для численного моделирования ИНУ

Длина индуктора, м	1,300
Температура окружающей среды, °C	20
Начальная температура заготовки, °C	20
Скорость движения заготовки, мм/сек	5,67
Частота питающего тока, Гц	1000
Отношение длины индуктора к числу витков, м/виток	0.035
Напряжение источника питания, В	700
Внутренний диаметр катушки индуктора, мм	90
Поперечное сечение заготовки, мм	50
Материал заготовки, сталь	C 40

На рисунке 2 показано распределение температурного поля в столбе заготовок в индукционном нагревателе. Каждой из выделенных областей, на которые разбит столб



а – температурное распределение во FLUX;
б – температурное распределение в ANSYS
Рисунок 3 – Распределение температурного поля заготовки

заготовок, соответствует определенный диапазон температур. На выходе из индуктора располагается наиболее горячая область с наибольшим порядковым номером. На рисунке 3 представлены распределения температуры на поверхности заготовки и в ее центре по длине индуктора. На некоторых временных участках значения температур отличаются. Температура в центре заготовки в модели FLUX в среднем на 20°C больше чем в ANSYS. Это может быть объяснено тем, что при задании электромагнитных свойств в ANSYS используется зависимость магнитной проницаемости от температуры, а во FLUX – магнитной индукции от напряженности магнитного поля.

Таким образом, сравнение полученных в ANSYS и FLUX результатов показало, что на всех этапах численного анализа температурное распределение качественно совпадает на всем протяжении процесса при незначительном количественном различии.

Существенными факторами, характеризующими возможности и эффективность применения численных моделей в целях оптимизации и управления электротехническими установками и системами, являются требования к аппаратному обеспечению и времени просчета.

Минимальные требования, предъявляемые разработчиками программным комплексом FLUX и ANSYS, к аппаратной части компьютера при решении поставленной задачи приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Минимальные требования, предъявляемые к аппаратной части компьютера программными продуктами ANSYS и FLUX

Элементы	Flux V10	ANSYS 12.0
	Характеристики	
Процессор	• Intel или AMD • 32 или 64 bits • Многоядерный или одноядерный	• Intel® Pentium® 4 с тактовой частотой 2 ГГц, Intel® Xeon™, Intel® Core™, AMD Athlon™ 64 • 32 или 64 bits
Оперативная память	1 Гб	2 Гб
Жесткий диск	10 Гб	30 Гб
Видео карта	Видеопамять 256 Мб	поддержка OpenGL 1.1.

Как видно из таблицы, для полноценной работы программного пакета ANSYS требуются компьютеры с более высокими системными характеристиками.

Для сравнения времени просчета представленных моделей ИНУ использовался компьютер с процессором Intel(R) Core(TM)2 Duo CPU T5250; 1,5 GHz 1,49 GHz; оперативной памятью 2000 Мбайт и объемом жесткого диска 150 Гбайт. На прямой однократный просчет ANSYS модели необходимо около 45 минут, а моделирование в пакете FLUX продолжается всего 20 минут, что повышает возможности использования FLUX моделей в оптимизационных процедурах.

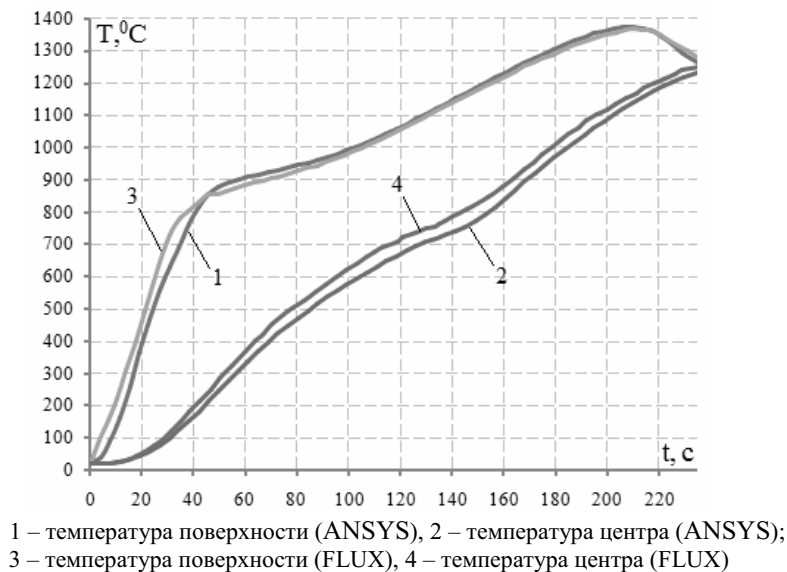


Рисунок 4 – Распределение температуры по длине индуктора

Заключение

При моделировании проходной ИНУ использовались получившие широкое распространение в мире программные комплексы, основанные на МКЭ: многоцелевой пакет проектирования и анализа ANSYS и специализированный программный пакет FLUX. Эти программные продукты не уступают друг другу в функциональности при решении совместных задач электромагнитного и теплового анализа.

В то же время ANSYS и FLUX обладают некоторыми существенными преимуществами.

Программный продукт ANSYS обладает более удобным и гибким пользовательским интерфейсом, более широкими возможностями препроцессора, а главное — мощным средством автоматизации численного анализа — языком APDL. Основным преимуществом FLUX является также существенно более высокая скорость выполнения численного нелинейного структурного анализа и относительная простота создания моделей.

Главным недостатком многофункционального программного комплекса ANSYS являются повышенные требования, предъявляемые к аппаратному обеспечению для получения приемлемой скорости прямого просчета модели. Данное обстоятельство существенно ограничивает возможность применения двумерных и особенно трехмерных ANSYS моделей в оптимизационных процедурах, требующих многократного вызова моделей на каждом итерационном шаге.

Существенным недостатком пакета FLUX является отсутствие алгоритмического языка для реализации решения задач, не предусмотренных фирмой производителем и не входящих в виде готовых физических модулей в препроцессор, что существенно сужает области применения данного программного продукта.

Список литературы

- [1] Немков В.С., Демидович В.Б. Теория и расчет устройств индукционного нагрева. – Л.: Энергоатомиздат, 1988. – 280 с.
- [2] Handbook of Induction Heating / Rudnev V., Loveless D., Cook R., Black. M., Marcel Dekker Inc., New York, 2003.
- [3] Сегерлинд Л. Применение методов конечных элементов. – М: Мир, 1979. – 270 с.
- [4] <http://www.cedrat.com>
- [5] Шарапова О.Ю. Численное моделирование процесса периодического индукционного нагрева на базе конечно-элементного программного пакета FLUX // Вестник Самар. гос. техн. ун-та. Сер. Технические науки, 2011., Вып.№7 (28). – С. 180 – 185.
- [6] E. Baake, K. Blinov, S. Korshikov, O. Sharapova Numerical simulation of multi-physics dynamic processes in induction heating systems granted by German Academic Exchange Service (DAAD) // Проблемы управления и моделирования в сложных системах: Труды XII международной конференции (21-23 июня 2010 г., Самара, Россия). – Самара: Самарский НЦ РАН, 2010. - С. 88-92.

ОНТОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ ЗАДАЧИ БАЗИРОВАНИЯ ДЕТАЛИ

Г.П. Нитипанова, С.В. Смирнов

Институт проблем управления сложными системами РАН

443020, Самара, ул. Садовая, 61, Россия

smirnov@iccs.ru

тел: +7 (846) 332-39-27, факс: +7 (846) 333-27-70

Ключевые слова: деталь, базирование детали, поверхность, отклонение формы и положения, онтология предметной области, онтологический анализ данных, формальный анализ понятий

Abstract

Application of the Ontological Data Analysis for automatic construction of otology is considered. For experiment the problem of a machine-piece locating chart is chosen. Earlier the conceptual description of a problem has been received by expert way, and was risk of inadequacy of model. Conceptual modeling on the basis of the Ontological Data Analysis has shown not only productivity of this method, but also and reliability of the previous expert construction of knowledge base.

Введение

Один из основных переходов при манипуляции деталями в технологиях машиностроения - придание детали требуемого положения относительно выбранной системы отсчета, или *базирование* [1]. В общем случае проблематика задачи базирования детали определяется с одной стороны практической нереализуемостью в условиях реальных технологических процессов чисто геометрического подхода к оценке погрешности ориентации детали в трехмерном пространстве, а с другой стороны - большим объемом значимых, но слабо формализуемых знаний предметной области, имеющих у опытных технологов.

Интеллектуальная система для решения задачи базирования детали, сочетающая элементы расчета и опыт экспертов-технологов была представлена в [2, 3]. При этом *формальная модель предметной области* в значительной степени основывалась на *эвристических* принципах, сформулированных в работе [4].

Результативность созданной экспертной системы была апробирована при решении задач базирования в процессах автоматизированной сборки. Тем не менее, достоверность экспертного моделирования предметной области (ПрО) требовала дополнительной аргументации. Такое обоснование, использующее метод онтологического анализа данных о ПрО [5], доставляет предлагаемая работа.

1 Принципы описания предметной области

В целом существует консенсус (см., например, [1, 6]), что модель ПрО задачи базирования детали должна объединить, по меньшей мере, сведения о геометрии поверхностей, о функциональной роли поверхностей в «жизненном цикле» детали и, разумеется, о кинематических связях детали как твердого тела, формируемых на ее поверхностях при базировании.

1.1 Геометрия поверхностей

Основной тезис статьи [4], определяющий «геометрическое содержание» модели ПрО, утверждает, что описание детали должно включать как минимум образы всех её поверхностей,

которые пригодны для базирования, некоторых идеальных поверхностей, вводимых для координации при конструировании детали, а также данные о точности взаимной ориентации этих поверхностей. В этом смысле каждая включаемая в модель поверхность детали должна быть охарактеризована со следующих сторон.

- 1) *Вид поверхности с определяющими параметрами.* Потенциал качества формообразования деталей у массово реализуемых технологий машиностроения позволяет указать четыре основных типа поверхностей пригодных для базирования: *плоские, цилиндрические, конические и сферические*. При этом плоские поверхности характеризуются параметрами ограничивающих фигур, в качестве которых в силу упомянутых технологических ограничений фактически могут выступать лишь *прямоугольник, круг и кольцо*. Цилиндрическая поверхность, произвольно усеченная при формообразовании детали, должна, темнее менее, оставлять возможность ее описания параметрами «диаметр» и «длина». Аналогично коническая поверхность описывается величиной большого диаметра, длиной и углом между осью и образующей, а сферическая – диаметром.
- 2) *Положение поверхности в трехмерном пространстве.* Анализ номенклатуры деталей массового машиностроения позволяет сделать вывод, что в подавляющем числе случаев в силу технологических возможностей производства ориентация пригодных для базирования поверхностей детали имеет четко выраженный характер: ось $O_{пz}$ собственной системы координат поверхности коллинеарна какой-либо из осей опорной системы координат детали. Тогда пространственное положение поверхности полностью определяется координатами точки $O_{п}$ («точка привязки») и ориентацией $O_{пz}$ («опорная ось»).
- 3) *Взаимное расположение поверхности и тела детали.* По отношению к плоской поверхности тело детали может располагаться либо между точкой привязки и центром опорной системы координат, либо за точкой привязки; цилиндрические, конические, сферические поверхности могут быть либо внутренними, либо внешними.
- 4) *Геометрическая точность поверхности.* В задаче базирования важнее учитывать не допуски, устанавливаемые для характерных размеров поверхностей, и даже не их шероховатость, а *отклонения геометрической формы* поверхностей, которые при определенном обобщении сводятся к *некруглости, нецилиндричности, неплоскостности, непрямолинейности* (последнее - для осей трехмерных поверхностей) [4, 7, 8].

Актуальное в задаче базирования представление о точности взаимного *расположения* поверхностей связано с указанием для некоторой поверхности детали допуска отклонения относительно некоторой другой, базовой (для допуска) поверхности детали. Обобщенными разновидностями отклонений взаимного расположения можно считать *неперпендикулярность, непараллельность, несоосность, несимметричность* [4, 7, 8].

Это экспертное представление о геометрии деталей массового машиностроения позволяют построить соответствующую онтологическую спецификацию. На рисунке 1 приведены ее понятия и отношения (изогнутые стрелки), а также связи «род-вид» (прямые стрелки). (Здесь и далее используются скриншоты общецелевой системы объектно-ориентированного моделирования gB [5, 9]).

1.2 Роли поверхностей в жизненном цикле детали

На решение задачи базирования существенное влияние способно оказать знание ролей поверхностей детали в процессах проектирования, технологической подготовки и сборки готовых изделий [1, 4]. В этом смысле для каждой поверхности детали явно и однозначно фиксируется, является ли она *проектной, конструкторской, технологической* или *измерительной* базой, *сопрягается* ли она в технологическом процессе с поверхностью другой детали или оказывает существенное влияние на технологический процесс, определяя *габариты* детали. Поэтому без затруднений может быть построена соответствующая онтологическая спецификация (рисунок 2).

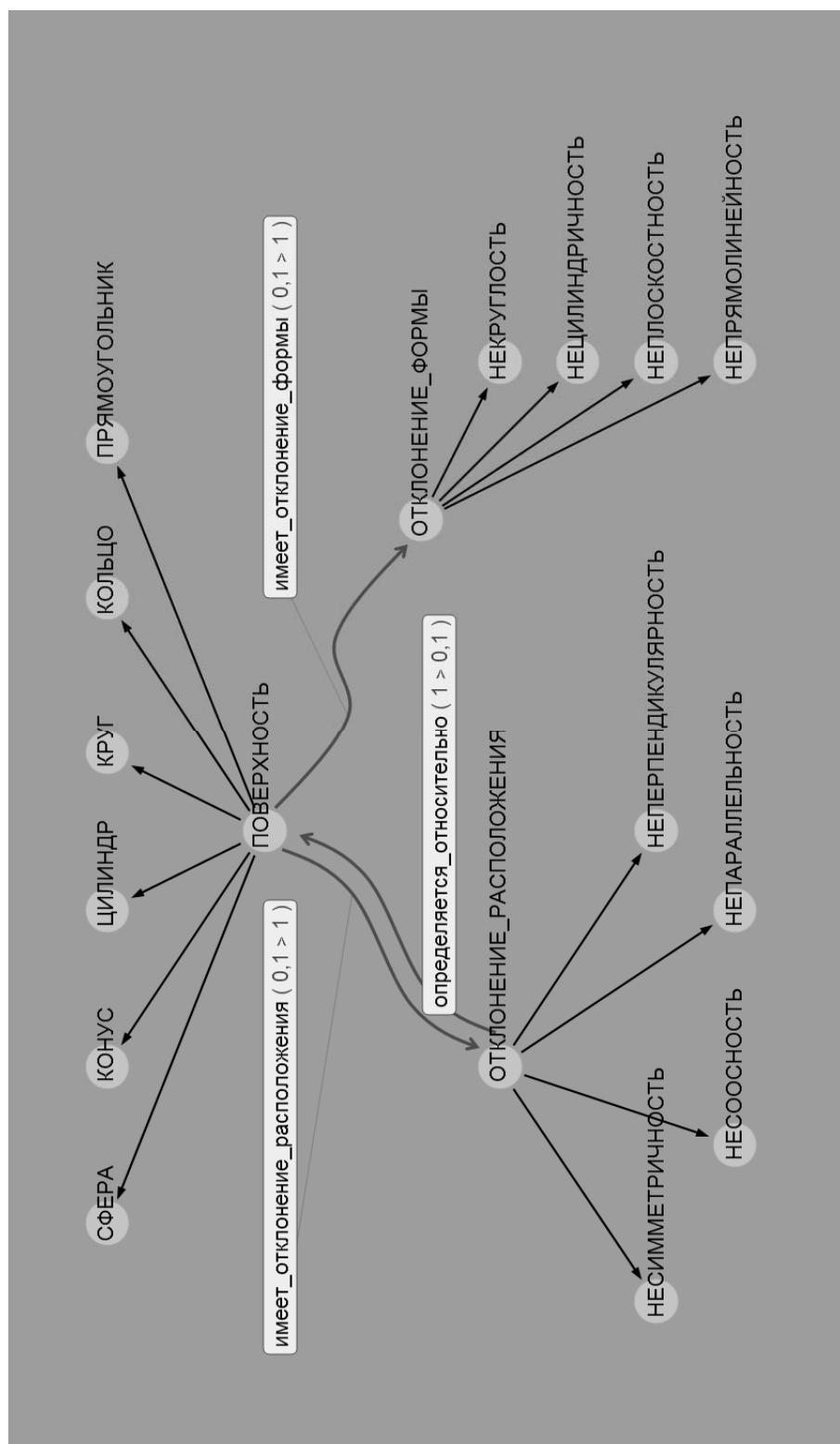


Рисунок 1 – Онтология геометрии поверхностей, используемых при базировании детали

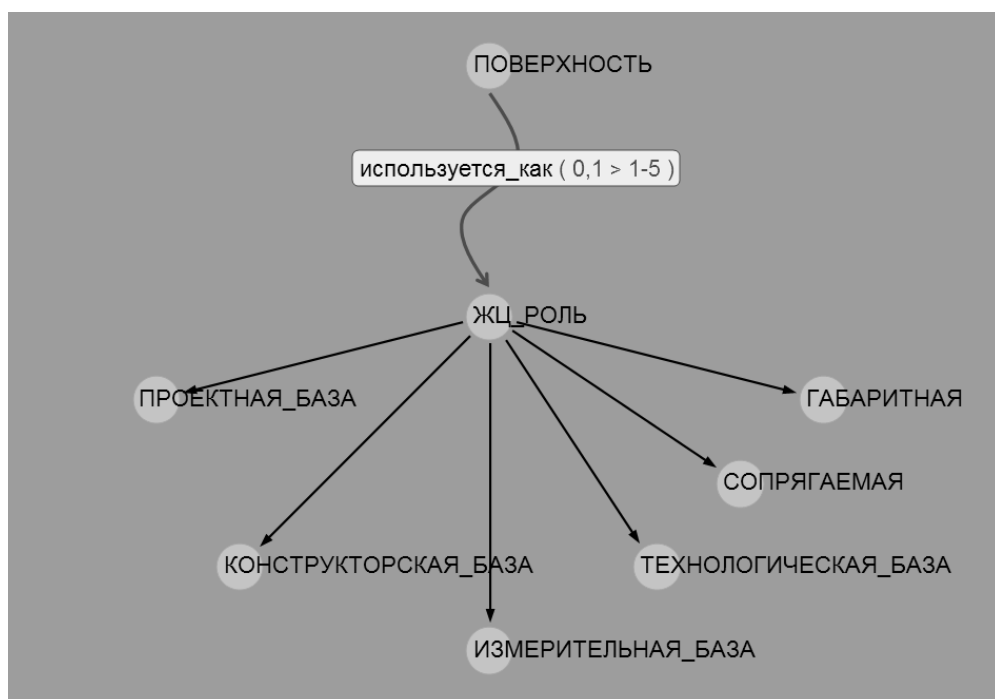


Рисунок 2 – Онтология ролей поверхностей в жизненном цикле детали

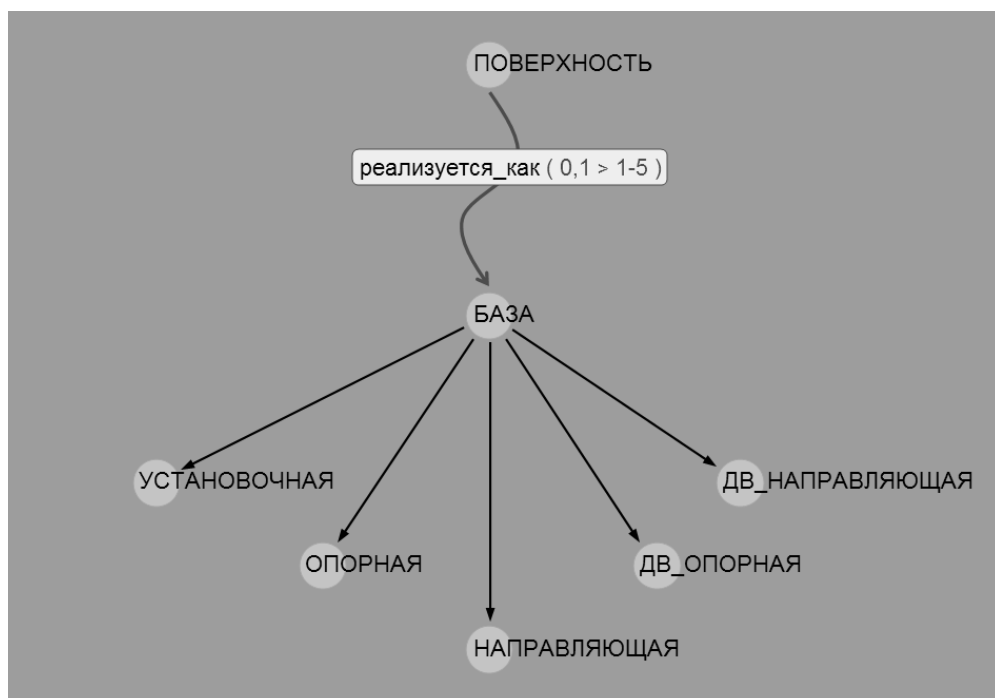


Рисунок 3 – Онтология ролей поверхностей в образовании кинематических связей детали

1.3 Роли поверхностей в образовании кинематических связей детали

Исчерпывающая формализация этого аспекта ПрО выполнена в [2, 3]. При этом дефиниции известных в теории базирования явно или скрыто физически реализуемых баз детали - *установочной, опорной, направляющей, двойной опорной и двойной направляющей* [1, 6], - дополнены условиями целостности, объединившими два различных начала. Во-первых, возможные роли поверхности детали как *базы* в образовании кинематических связей определяются в зависимости от потенциала использования поверхности в формировании полного комплекта баз детали, а, во-вторых, - в зависимости от ориентации поверхности в трехмерном пространстве согласно геометрическим спецификациям, установленным подпунктом 1.1.

Понятийная структура данного аспекта в формальном представлении ПрО задачи базирования представлена на рисунке 3.

2 Формальное обоснование онтологии геометрии поверхностей, пригодных для базирования

Очерченный в пункте 1 подход к описанию ПрО позволил создать и апробировать экспертную систему, эффективно поддерживающую решение задачи базирования детали [2, 3]. Вместе с тем, очевидно, что ядро этого описания – онтология геометрии поверхностей, используемых при базировании (см. рисунок 1), - наиболее слабое звено модели ПрО, так как является лишь отражением опыта экспертов.

В данном разделе достоверность экспертного моделирования получает дополнительную аргументацию в виде положительного ответа на вопрос: возможно ли, рассматривая выдвинутые экспертами принципы описания геометрии поверхностей в задаче базирования детали, как *гипотезы*, произвести *формальный вывод* необходимой онтологической спецификации на основе *фактического материала* о ПрО?

2.1 Дайджест онтологического анализа данных

Онтологический анализ данных (ОАД) [5] устанавливает связь между классическим анализом данных (точнее его наиболее востребованным сегодня разделом - с технологиями *Data Mining*) и относительно новой ветвью теории решеток *анализом формальных понятий* [10].

ОАД автоматизирует построение онтологий на основе *измерений* (в широком смысле) ПрО. Протоколы измерений оформляются в виде таблиц «объекты-свойства» (ТОС). Строки ТОС соответствуют *объектам*, которые попали в поле зрения исследователя при зондировании ПрО (т.е. составили *эмпирическую выборку объектов*), состав столбцов ТОС отражает оснащенность исследователя *измерительными процедурами*, а ячейки таблицы содержат собственно результаты выполнения измерительных процедур над наблюдаемыми объектами ПрО. Принципиальными и отличительными положениями ОАД являются, во-первых, допущение отсутствия информативного результата измерений (*None*-результат), а, во-вторых, механизм измерения *структурных отношений* между объектами ПрО и специфичной обработки данных этих измерений [5, 11].

ОАД исходит из субъективности формирования арсенала измерительных процедур согласно априорным гипотезам исследователя, во-первых, о существовании у эмпирических объектов определенных «простых» измеримых свойств (*PH*-гипотезы), во-вторых, о способности эмпирических объектов участвовать в структурных отношениях (*SH*-гипотезы, или гипотезы о *валентностях* объектов, $SH \cap PH = \emptyset$). При этом для исследования каждой *SH*-гипотезы в общем случае необходимо столько измерительных процедур, какова арность соответствующего структурного отношения (на практике ограничиваются бинарными отношениями).

Промежуточным результатом ОАД является *объектно-признаковая модель* ПрО, формируемая следующим алгоритмом:

- 1) ТОС - матрица $A = (a_{ij})_{i=1,\dots,r; j=1,\dots,s}$ преобразуется в матрицу инцидентности «объекты-свойства» $B = (b_{ij})_{i=1,\dots,r; j=1,\dots,s}$.

$$b_{ij} = \left\{ \begin{array}{ll} 1, & \text{если } a_{ij} \neq \text{None}, \\ 0 & \text{в противоположном случае} \end{array} \right\};$$

- 2) выделяются классы эмпирических объектов путем сохранения в B одного экземпляра из каждого множества совпадающих строк;
- 3) исключаются из рассмотрения PH -гипотезы, оказавшиеся полностью несостоятельными в обучающей выборке эмпирических объектов, т.е. из B удаляются все соответствующие этим гипотезам нулевые столбцы;
- 4) исключаются из рассмотрения SH -гипотезы, полностью несостоятельные в обучающей выборке эмпирических объектов, т.е. из B удаляются пары нулевых столбцов, соответствующие каждой такой гипотезе;
- 5) при обнаружении в B нулевых строк констатируется существование в ПрО класса неопознанных объектов и апостериори вводится PH -гипотеза о существовании такого класса объектов. Этому отвечает добавление в B столбца, описывающего инцидентность характеристического свойства введенной гипотезы, и добавление строки, описывающей класс неопознанных объектов;
- 6) при обнаружении в B только одного нулевого столбца в паре столбцов, соответствующих SH -гипотезе, констатируется (в силу «одностороннего» подтверждения SH -гипотезы) существование в ПрО некоторого особенного класса объектов, не представленного в эмпирической выборке. Это фиксируется добавлением в B новой строки, описывающей инцидентность вновь вводимого в рассмотрение класса объектов и « SH -свойства», неподтвержденного исходным эмпирическим материалом.

На основе объектно-признаковой модели строится *решетка понятий* ПрО (соответствующие алгоритмы широко известны, см., например, [10]), которая, во-первых, корректируется специальным образом для понятий с валентностями, а затем алгоритмически точно преобразуется в иерархическую «род-вид» структуру понятий ПрО, содержание которых, описывает не только «простые» свойства, но и отношения между объемами понятий [5, 11].

2.2 Онтологический анализ данных о поверхностях, используемых при базировании детали

Согласно изложенному в подпунктах 1.1 и 2.1 фактический материал о ПрО для онтологического анализа представит ТОС, где в качестве *объектов* выступают:

- (А) *пригодные для базирования поверхности* деталей и некоторые *идеальные поверхности*, вводимые для координации,
- (В) *отклонения геометрической формы* поверхностей, пригодных для базирования,
- (С) *отклонения взаимного расположения* поверхностей, пригодных для базирования, - а состав *свойств* (измерительных процедур) определяют следующие характеристики этих объектов:
 - (a) параметры, которые указывают *геометрический вид и размеры поверхности*, пригодной для базирования,
 - (b) параметры *положения поверхности* в трехмерном пространстве,
 - (c) параметр, фиксирующий *взаимное расположение поверхности и тела детали*,
 - (d) параметры, указывающие *вид отклонения геометрической формы поверхности*,
 - (e) свойства-валентности, отмечающие для объектов «поверхность» и «отклонение геометрической формы» факт нахождения в отношении «*имеет_отклонение_формы*»,
 - (f) параметры, устанавливающие *вид отклонения взаимного расположения* поверхностей,
 - (g) свойства-валентности, отмечающие для объектов «поверхность» и «отклонение геометрической формы» факт нахождения в отношении «*имеет_отклонение_расположения*»,
 - (h) свойства-валентности, отмечающие для объектов «отклонение взаимного расположения» и «поверхность» факт нахождения в отношении «*определяется_относительно*».

Общий вид такой ТОС приведен на рисунке 4.

		Свойства							
		a	b	c	d	e	f	g	h
Объекты	Деталь 1	A							
		B							
		C							
	Деталь 2	A							
		B							
		C							

	Деталь n	A							
		B							
		C							

Рисунок 4 – Фактический материал для онтологического анализа геометрии поверхностей деталей – таблица «объекты-свойства», где «объекты» – используемые при базировании поверхности и отклонения их форм и взаимного расположения у n деталей, взятых для исследования, а «свойства» – геометрические характеристики этих поверхностей, играющие существенную роль при решении задачи базирования

Вся необходимая информация для построения рассматриваемой ТОС может быть извлечена из *стандартных машиностроительных чертежей* деталей, включенных в обучающую выборку.

Это важнейшее для целей работы положение проиллюстрируем на примере одной детали.

На рисунке 5 представлен чертеж шарнира, а на рисунке 6 - его 3D-модель, где все пригодные для базирования поверхности пронумерованы.

ТОС, которая содержит всю взятую из чертежа (см. рисунок 5) интересующую нас фактическую информацию о геометрии поверхностей шарнира, представлена таблицей 1 (транспонирование ТОС выполнено для удобства публикации).

В результате обработки методом ОАД подобных первичных данных, собранных для *представительной выборки деталей массового машиностроения*, получим *объектно-признаковую модель* геометрии пригодных для базирования поверхностей (рисунок 7), из которой алгоритмически точно выводится искомая онтология анализируемой ПрО.

Проведенное исследование показало полное совпадение онтологии, полученной методом ОАД, с онтологической спецификацией, представившей опыт экспертов (см. рисунок 1).

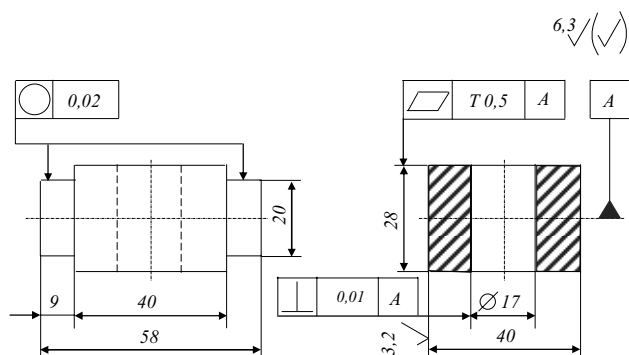


Рисунок 5 – Чертеж шарнира

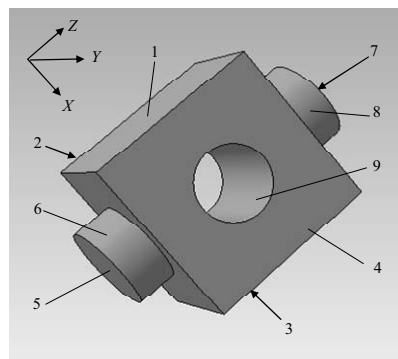


Рисунок 6 – 3D-модель шарнира; пронумерованы поверхности, пригодные для базирования

Таблица 1 – Первичные данные о геометрии поверхностей шарнира, актуальных в задаче базирования (транспонированная таблица «объекты-свойства»)

Свойства \ Объекты	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	$\bigcirc_1$	$\bigcirc_2$	$\perp$	$\square$
Прямоугольник Высота (ПрВ)	40	40	40	40						40				
Прямоугольник Ширина (ПрШ)	28	40	28	40						40				
Кольцо Наружный Диаметр (КоНД)														
Кольцо Внутренний Диаметр (КоВД)														
Круг Диаметр (КрД)					20		20							
Цилиндр Диаметр (ЦД)						20		20	17					
Цилиндр Длина (ЦДл)						9		9	28					
Конус Диаметр (КД)														
Конус Длина (КДл)														
Конус Угол (КУ)														
Сфера Диаметр (СД)														
Точка Привязки1 (ТП1)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
Точка Привязки2 (ТП2)	0	-14	0	14	0	0	0	0	14	0				
Точка Привязки3 (ТП3)	29	29	29	29	0	0	58	49	29	29				
Опорная Ось (ОО)	O_x	O_y	O_y	O_x	O_z	O_z	O_z	O_z	O_y	O_y				
Взаимоположение «Поверхность-Тело» (ВППТ)	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0				
Некруглость (НеКр)											.02	.02		
Нецилиндричность (НеЦл)														
Неплоскость (НеПл)														
Непрямолинейность (НеПр)														
имеет отклонение формы						1		1						
~имеет отклонение формы											1	1		
Неперпендикулярность (НеПерп)													.01	
Непараллельность (НеПаралл)														.5
Несоосность Параметр (НеСоосн)														
Несимметричность (НеСимм)														
имеет отклонение расположения		1							1					
~имеет отклонение расположения													1	1
определяется относительно													1	1
~определяется относительно										2				

ОПМ	ПрВ	ПрШ	КоНД	КоВД	КрД	ЦД	ЦДл	КД	КДл	КУ	СД	ТП1	ТП2	ТП3	ОО	ВППТ	НеКр	НеЦл	НеПл	НеПр	имеет_отклонение формы
СФЕРА											X	X	X	X	X	X					
КОНУС								X	X	X		X	X	X	X	X					
ЦИЛИНДР						X	X					X	X	X	X	X					
КРУГ					X							X	X	X	X	X					
КОЛЬЦО			X	X								X	X	X	X	X					
ПРЯМОУГОЛЬНИК	X	X										X	X	X	X	X					
СФЕРА_Ф											X	X	X	X	X	X					X
КОНУС_Ф								X	X	X		X	X	X	X	X					X
ЦИЛИНДР_Ф						X	X					X	X	X	X	X					X
КРУГ_Ф					X							X	X	X	X	X					X
КОЛЬЦО_Ф			X	X								X	X	X	X	X					X
ПРЯМОУГОЛЬНИК_Ф	X	X										X	X	X	X	X					X
СФЕРА_П											X	X	X	X	X	X					
КОНУС_П								X	X	X		X	X	X	X	X					
ЦИЛИНДР_П						X	X					X	X	X	X	X					
КРУГ_П					X							X	X	X	X	X					
КОЛЬЦО_П			X	X								X	X	X	X	X					
ПРЯМОУГОЛЬНИК_П	X	X										X	X	X	X	X					
СФЕРА_ФП											X	X	X	X	X	X					X
КОНУС_ФП								X	X	X		X	X	X	X	X					X
ЦИЛИНДР_ФП						X	X					X	X	X	X	X					X
КРУГ_ФП					X							X	X	X	X	X					X
КОЛЬЦО_ФП			X	X								X	X	X	X	X					X
ПРЯМОУГОЛЬНИК_ФП	X	X										X	X	X	X	X					X
НЕКРУГЛОСТЬ																	X				
НЕЦИЛИНДРИЧНОСТЬ																		X			
НЕПЛОСКОСТЬ																			X		
НЕПРЯМОЛИНЕЙНОСТЬ																				X	
НЕПЕРПЕНДИКУЛЯРНОСТЬ																					
НЕПАРАЛЛЕЛЬНОСТЬ																					
НЕСООСНОСТЬ																					
НЕСИММЕТРИЧНОСТЬ																					

а) начальная часть соответствия «объекты-свойства», задаваемого объектно-признаковой моделью

ОПМ	~имеет_отклонение формы	НеПерп	НеПаралл	НеСоосн	НеСимм	имеет_отклонение расположения	~имеет_отклонение расположения	определяется относительно	~определяется относительно
СФЕРА									
КОНУС									
ЦИЛИНДР									
КРУГ									
КОЛЬЦО									
ПРЯМОУГОЛЬНИК									
СФЕРА_Ф									
КОНУС_Ф									
ЦИЛИНДР_Ф									
КРУГ_Ф									
КОЛЬЦО_Ф									
ПРЯМОУГОЛЬНИК_Ф									
СФЕРА_П						X			X
КОНУС_П						X			X
ЦИЛИНДР_П						X			X
КРУГ_П						X			X
КОЛЬЦО_П						X			X
ПРЯМОУГОЛЬНИК_П						X			X
СФЕРА_ФП						X			X
КОНУС_ФП						X			X
ЦИЛИНДР_ФП						X			X
КРУГ_ФП						X			X
КОЛЬЦО_ФП						X			X
ПРЯМОУГОЛЬНИК_ФП						X			X
НЕКРУГЛОСТЬ	X								
НЕЦИЛИНДРИЧНОСТЬ	X								
НЕПЛОСКОСТЬ	X								
НЕПРЯМОЛИНЕЙНОСТЬ	X								
НЕПЕРПЕНДИКУЛЯРНОСТЬ		X					X	X	
НЕПАРАЛЛЕЛЬНОСТЬ			X				X	X	
НЕСООСНОСТЬ				X			X	X	
НЕСИММЕТРИЧНОСТЬ					X		X	X	

б) продолжение соответствия «объекты-свойства», задаваемого объектно-признаковой моделью

Рисунок 7 – Объектно-признаковая модель геометрии поверхностей, используемых при базировании детали

Заключение

В статье показано применение метода онтологического анализа данных для автоматического вывода онтологии предметной области. Полигоном для эксперимента послужила задача базирования детали в машиностроении. Концептуальное описание одного из аспектов предметной области задача базирования детали ранее было получено экспертным путем, и, следовательно, имелся риск неадекватности построенной модели. Объективация концептуального моделирования предметной области на основе онтологического анализа показала не только результативность соответствующего метода, но и достоверность экспертного моделирования.

Благодарности

Авторы благодарны ведущему конструктору ИПУСС РАН Л.Н. Афанасьевой за помощь в оформлении материалов статьи.

Список литературы

- [1] Балакшин Б.С. Теория и практика технологии машиностроения: Кн. 2. Основы технологии машиностроения. - М.: Машиностроение, 1982.
- [2] Витих В.А., Смирнов С.В. Интеллектуальная система для построения рациональной схемы базирования соединяемых деталей // Труды III конф. по искусственному интеллекту (20-24 октября 1992 г. Тверь, Россия). Т. 2. - Тверь: Российская ассоциация ИИ, 1992. - С. 59-61.
- [3] Vitikh V.A., Smirnov S.V. Intelligent System for the Selection of Locating Chart // Proc. of the 8-th Int. Conf. on the Application of Artificial Intelligence in Engineering AIENG/93 (29 June - 2 July, 1993, Toulouse, France). Vol. 2: Application and Techniques. - London-N.Y.: CMP and Elsevier, 1993. - P. 827-834.
- [4] Будников Ю.М., Николаев В.А., Смирнов С.В. Моделирование деталей как элементов сборочных единиц на основе объектно-ориентированного подхода // Интеллектуальные системы в машиностроении: Материалы всесоюз. конф. (10-14 июня 1991 г., Самара). Ч. 1. - Самара: СамФ ИМАШ АН СССР, 1991. - С. 99-104.
- [5] Смирнов С.В. Онтологический анализ предметных областей моделирования // Известия Самарского научного центра РАН. 2001. Т. 3. № 1. - С. 66-71.
- [6] ГОСТ 21495-76. Базирование и базы в машиностроении. Термины и определения. - М.: Изд. стандартов, 1976.
- [7] ГОСТ 24642-81. Допуски формы и расположения поверхностей. Основные термины и определения. - М.: Изд. стандартов, 1981.
- [8] Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя. Т. 1. Изд. 5-е. - М.: Машиностроение, 1979.
- [9] Смирнов С.В. Открытая архитектура инструментальных средств моделирования сложных систем // Проблемы управления и моделирования в сложных системах: Труды международной конф. (15-17 июня 1999 г., Самара, Россия). - Самара: СамНЦ РАН, 1999. - С. 57-64.
- [10] Кузнецов С.О., Обьедков С.А. Алгоритмы построения множества всех понятий формального контекста и его диаграммы Хассе // Известия академии наук. Теория и системы управления. 2001. №1. - С. 120-129.
- [11] Смирнов С.В. Онтологическая спецификация отношений между объектами предметной области при автоматическом приобретении знаний // Системный анализ и семиотическое моделирование: Материалы первой всероссийской научной конф. с международным участием (SASM-2011) (24-28 февраля 2011 г., Казань, Россия). - Казань: Изд-во «Фэн» Академии наук РТ, 2011. - С. 56-62.

МЕТОДОЛОГИЯ И ТЕХНОЛОГИИ ФОРМИРОВАНИЯ И КЛАССИФИКАЦИИ ЗНАНИЙ О ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НАУЧНЫХ КОЛЛЕКТИВОВ

Н.В. Дилигенский¹, М.В. Цапенко¹, А.Н. Давыдов²

¹Институт проблем управления сложными системами РАН
443020, Самара, ул. Садовая, 61, Россия
cscmp@iccs.ru
тел/факс: +7 (846) 333-27-70

²Самарский государственный технический университет
443010, Самара, ул. Молодогвардейская, 244, Россия
nich@samgtu.ru
тел: +7 (846) 278-43-16

Ключевые слова: многокритериальная оценка эффективности научной деятельности, классификация знаний, *Data Envelopment Analysis*, *Balanced Scorecard*

Abstract

The problems of structuring and classification of knowledge about scientific researches' matter and significance are considered. The approaches for integrated estimation of system efficiency of scientific activity are suggested.

Введение

Проблема исследования эффективности и результативности научных исследований является актуальной, и ее значимость постоянно возрастает в современных условиях ввиду необходимости перехода общества на инновационный путь развития, который может быть обеспечен и достигнут только на основе парадигмы, основанной на знаниях.

1 Методология классификации знаний о сравнительной эффективности

Существует большое число работ, посвященных проблеме классификации знаний сравнительной эффективности, в которых предложены и реализованы разнообразные способы формализации проблемы, методы её решения и интерпретации результатов. Однако общепринятых подходов в настоящее время нет.

При решении проблемы формирования и классификации системы знаний и представлений о значимости научных результатов основными являются задачи определения состава частных показателей качества и свёртывания их в обобщенный глобальный критерий эффективности. На основе системного подхода оценивания текущих и стратегических аспектов в соответствии с широко распространенной методологией *Balanced Scorecard (BSC)* [1] определим три класса показателей, характеризующих, соответственно, вклад факторов перспектив развития, текущей результативности деятельности и экономической эффективности результатов.

Каждый блок определим далее следующими частными показателями: перспективность развития в будущем – количеством защит диссертаций, числом руководств защитами диссертаций, числом диссертационных советов, участниками которых являются члены научного коллектива и количеством проведенных научных мероприятий.

Результативность деятельности определим показателями: числом научных публикаций, количеством объектов интеллектуальной собственности (числом патентов и заявок на право регистрации интеллектуальной собственности), количеством наград за полученные результаты, числом внешних организационных связей с другими научными коллективами.

Экономическую эффективность охарактеризуем показателями: объемом выполненных научно-исследовательских работ, числом исследований, проводимых в рамках научно-технических программ, количеством побед в конкурсах грантов на научные исследования.

Таким образом, сформирован состав 11 частных показателей (локальных критериев) эффективности, в совокупности характеризующих обобщенную интегральную эффективность научных исследований. При этом показатели, структурированы в виде блочной структуры из двух блоков с четырьмя и одного с тремя показателями, отвечающей соответствующим укрупненным классам эффективности. Поставим далее задачу конструирования на основе определенных 11 разнородных частных показателей обобщенных оценок эффективности.

Большинство методов свертывания локальных критериев в глобальный основаны на экспертных суждениях разного сорта о рангах частных показателей. Такие экспертные значения весов и соответственно, результатов оценивания содержат значительный элемент субъективизма. В последние десятилетия в большей степени в мировой литературе [2-5], а также в российских работах [6],[7] широкое распространение для многокритериального оценивания обобщенной сравнительной эффективности многомерных сложных объектов получила методология *Data Envelopment Analysis (DEA)*. В ней субъективные экспертные оценки рангов, свертываемых разнородных критериев не используются.

Метод DEA можно рассматривать как обобщение на многомерный случай модели «вход-выход», как ранжирование модели «затраты-выпуск» Леонтьева, как конструктивную реализацию отыскания отношений доминирования между объектами и формированием Парето-оптимальных множеств. Сущность метода DEA заключается в том, что обобщенный сравнительный показатель эффективности n -го анализируемого объекта из множества N – объектов, формулируется как функционал, максимизирующий отношение взвешенной суммы частных показателей эффективности к взвешенной сумме затрат ресурсов на получение результата. На стадии конструирования функционала веса частных факторов считаются неизвестными, а они далее отыскиваются из условия, что обобщенные показатели эффективности для всех N объектов должны быть нормированы на конечном интервале $[0, 1]$.

Математическая постановка задачи свертывания частных показателей в обобщенный критерий эффективности для n -го объекта формулируется следующим образом: глобальный критерий эффективности

$$(1) \quad f_n = \max_{u_{in}, v_{jn} \in G} \frac{u_{1n} \cdot Y_{1n} + u_{2n} \cdot Y_{2n} + u_{3n} \cdot Y_{3n} + \dots + u_{kn} \cdot Y_{kn}}{v_{1n} \cdot X_{1n} + v_{2n} \cdot X_{2n} + v_{3n} \cdot X_{3n} + \dots + v_{mn} \cdot X_{mn}},$$

система ограничений, определяющих область значений G весовых коэффициентов u_{in} и v_{jn} :

$$(2) \quad \left\{ \begin{array}{l} \frac{u_{11} \cdot Y_{11} + u_{21} \cdot Y_{21} + u_{31} \cdot Y_{31} + \dots + u_{k1} \cdot Y_{k1}}{v_{11} \cdot X_{11} + v_{21} \cdot X_{21} + v_{31} \cdot X_{31} + \dots + v_{m1} \cdot X_{m1}} \leq 1, \\ \frac{u_{12} \cdot Y_{12} + u_{22} \cdot Y_{22} + u_{32} \cdot Y_{32} + \dots + u_{k2} \cdot Y_{k2}}{v_{12} \cdot X_{12} + v_{22} \cdot X_{22} + v_{32} \cdot X_{32} + \dots + v_{m2} \cdot X_{m2}} \leq 1, \\ \dots\dots\dots \\ \frac{u_{1n} \cdot Y_{1n} + u_{2n} \cdot Y_{2n} + u_{3n} \cdot Y_{3n} + \dots + u_{kn} \cdot Y_{kn}}{v_{1n} \cdot X_{1n} + v_{2n} \cdot X_{2n} + v_{3n} \cdot X_{3n} + \dots + v_{mn} \cdot X_{mn}} \leq 1, \\ u_{in} \geq 0; v_{jn} \geq 0, \end{array} \right.$$

$$i = \{1, 2 \dots k\}; j = \{1, 2 \dots m\}; n = \{1, 2 \dots N\}.$$

В (1), (2) $Y_1, Y_2, \dots, Y_k$ – i -ые частные показатели эффективности, X_1, X_2, X_m – затраты ресурсов j -го сорта, u_k и v_m – весовые коэффициенты соответствующих частных показателей эффективности и затрат ресурсов, принадлежащие области значений G .

Постановка (1), (2) является задачей нелинейного математического программирования. Совокупность постановок (1), (2) для $n = 1, 2 \dots N$ определяет N задач математического программирования, решениями которых являются обобщенные показатели эффективности f_n анализируемых N объектов и соответствующие им весовые коэффициенты u_k и v_m вкладов каждого из частных показателей и ресурсов.

Методам решения задач нелинейного математического программирования типа (1), (2) посвящено достаточно большое количество работ [8], [9], в которых выявлена специфика постановок (1), (2), исследована неединственность решений, как относительно значений функционалов f_n , так и весов u_k, v_m , а также разработаны конструктивные способы решений.

2 Технологии формирования обобщённых оценок эффективности деятельности научных коллективов

Применим методологию *DEA* для получения обобщенных оценок эффективности деятельности научных коллективов. В качестве локальных показателей Y_k возьмем 11 ранее сформулированных частных критериев эффективности научных исследований. Основными ресурсами, необходимыми для проведения научных работ, являются трудовые, финансовые и капитальные. Будем считать, что затраты трудовых ресурсов характеризуются числом научных работников коллектива. Положим далее, что финансовые и капитальные затраты пропорциональны числу научных сотрудников, и таким же, естественно, будут суммарные затраты ресурсов.

Тогда постановка (1), (2) для отыскания обобщенного критерия эффективности научного исследования примет вид:

функционал эффективности для n -го научного коллектива

$$(3) \quad f_n = \max_{u_{in} \in G} (u_{1n} y_{1n} + u_{2n} y_{2n} + \dots + u_{kn} y_{kn}),$$

система ограничений, определяющих область значений G весовых коэффициентов u_{in} :

$$(4) \quad \begin{cases} u_{11} \cdot y_{11} + u_{21} \cdot y_{21} + u_{31} \cdot y_{31} + \dots + u_{k1} \cdot y_{k1} \leq 1, \\ u_{12} \cdot y_{12} + u_{22} \cdot y_{22} + u_{32} \cdot y_{32} + \dots + u_{k2} \cdot y_{k2} \leq 1, \\ \dots\dots\dots \\ u_{1n} \cdot y_{1n} + u_{2n} \cdot y_{2n} + u_{3n} \cdot y_{3n} + \dots + u_{kn} \cdot y_{kn} \leq 1, \\ u_{in} \geq 0, \end{cases}$$

$$i = \{1, 2 \dots k\}; n = \{1, 2 \dots N\}.$$

В (3), (4) y_{kn} – удельные, относительно численности научных работников, частные показатели эффективности научных коллективов $n = 1, 2 \dots N$. Постановка (3), (4) является задачей линейного программирования, которая существенно более простая, чем нелинейная задача (1), (2).

Решим сформулированную задачу для получения обобщенных глобальных оценок эффективности деятельности 40 конкретных научных коллективов. Исходные данные по 11 частным показателям эффективности и по количеству сотрудников в них приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Исходные данные по локальным показателям эффективности научных коллективов

Номер НК	Публикации	Интел. собств.	Награды	Связи с организациями	Научные мероприятия	Защиты дисс.	НИР	Руководство защитой дисс.	Участие в НТП	Победы в конкурсах грантов	Участие в работе дисс. советов	Число членов НК	DEA оценка
l	Y_l	Y_2	Y_3	Y_4	Y_5	Y_6	Y_7	Y_8	Y_9	Y_{10}	Y_{11}	X_{12}	f_n
1	127	8	28	40	36	2	33.92	12	35	1	13	5	1
2	491.81	16	14	36	213	2	3.89	3	10	8	12	7	1
3	209.48	3	5	33	57	1	6.82	2	7	0	8.5	5	0,6555
4	89	1	12	35	55	1	0.3	0	0	0	0	6	0,3869
5	172.5	0	1	25.5	48	4	0	7	0	0	6.5	11	0,4754
6	239.42	28	5	96.5	33	0	201.2	5	68	10	27	8	1
7	168	10	62	31	68	4	69.11	5	43	16	4	9	1
8	85	6	7	55	26	3	22.84	4	24	5	7.5	5	0,7456
9	178.62	2	1	4.5	14	3	6.99	3	0	0	11	11	0,3968
10	188.15	4	7	14.5	42	1	3.3	2	3	2	11.5	13	0,2502
11	501.68	0	15	20.5	157	2	38.74	17	29	24	13.5	10	0,8626
12	98	11	3	0.5	26	1	8.78	1	0	0	0	4	0,4424
13	226.75	0	24	110	113	2	42.43	16	40	22	22.5	6	1
14	282.57	63	9	25	45	1	11.58	2	6	1	8.5	5	1
15	277.24	12	12	43	96	5	62.03	11	34	48	25	9	1
16	148.15	9	6	25	45	5	175.99	7	4	2	11	6	1
17	270.81	0	13	41	130	1	8.69	10	3	11	21.5	5	1
18	774.95	0	35	14.5	58	2	0.15	22	0	6	1	7	1
19	61	15	24	59.5	43	0	12.62	1	0	0	3	7	0,6828
20	453.27	10	16	51.5	110	2	8.21	26	0	19	22	7	1
21	316.74	33	15	36.5	53	5	242.62	5	115	4	9	6	1
22	103	6	5	19.5	40	1	4.65	1	4	1	18.5	6	0,7167
23	209.91	1	1	5	17	1	5.57	9	1	9	8	18	0,1748
24	175.9	2	3	21	8	2	26.18	3	1	0	9.5	5	0,6908
25	423.47	0	64	81	90	5	0.22	11	1	2	18	9	1
26	389.15	2	4	17	30	0	1.41	16	3	1	8	5	0,9432
27	225.9	18	2	5	16	6	47.72	9	33	12	7.5	10	0,7847
28	184	12	12	15.5	136	2	12.6	2	12	2	21.5	5	1
29	97	23	10	11.5	71	0	31.56	1	15	10	0	10	0,4364
30	440.03	4	8	24	20	1	15.39	11	0	1	27.5	8	0,9176
31	150.56	23	48	15	41	1	0.75	0	0	4	0	5	1
32	329.64	17	22	24	32	2	16.5	8	11	12	18	10	0,6211
33	469.39	0	56	6	110	2	1.71	3	4	3	5.5	7	1
34	160	1	2	44.5	42	2	6.5	1	12	1	15	8	0,5381
35	123.7	6	7	7.5	10	3	3.44	6	6	0	13	5	0,9399
36	197.25	8	3	20	36	2	33.75	9	7	0	34.5	8	1
37	198.11	38	6	37.5	160	0	3.48	0	4	1	8	5	1
38	162	6	1	8.5	27	2	16.11	1	12	0	0	11	0,2450
39	42	3	2	2.5	19	1	14.01	1	6	1	6	5	0,3581
40	136.49	11	2	0	31	1	51.43	2	1	2	6	7	0,3518

С этими численными значениями решены 40 задач линейного программирования (3), (4), и в качестве метода решения использован симплекс-метод. Результаты решения для обобщенных критериев f_n , $n = 1, 2 \dots N$ также представлены в таблице 1 и на диаграмме рисунка 1.

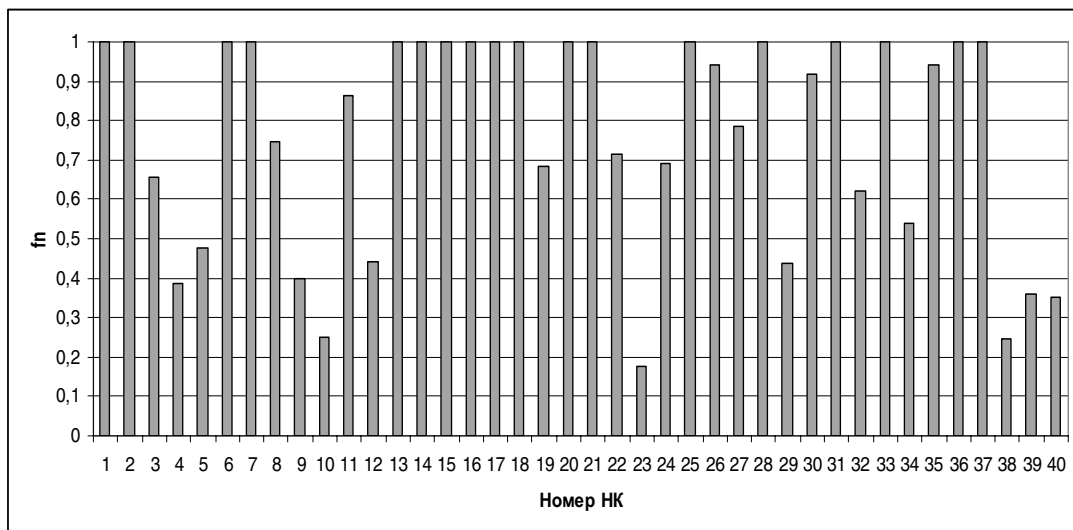


Рисунок 1 – Результаты DEA-оценки научных коллективов

Проведем анализ полученных значений обобщенных глобальных критериев эффективности научных коллективов f_n , $n = 1, 2 \dots N$. Результаты расчетов показывают, что 18 научных коллективов из 40 получили высшие одинаковые обобщенные оценки эффективности с $f_n=1$. Эти коллективы образуют эффективное множество объектов, оптимальных по Парето. Обобщенная эффективность остальных 22 научных коллективов лежит в диапазоне $(0,18\div 0,94)$. Таким образом, сформулированная задача обобщенного оценивания позволила выделить два класса научных коллективов – 18 неулучшаемых, оптимальных по Парето, и 22 менее эффективных с различной степенью отличия от них.

Эти оценки не отвечают достаточно дифференцированным знаниям об эффективности деятельности анализируемых научных коллективов. Опыт применения метода многокритериального оценивания DEA показывает, что для получения детальных дифференцированных обобщенных оценок эффективности число анализируемых объектов должно быть достаточно большим по отношению к числу учитываемых частных показателей [10, 11].

С учетом этого фактора для получения более дифференцированных оценок эффективности получим обобщённые оценки для трех групп показателей – «перспективного развития», «результативности» и «финансовых характеристик» – с меньшим числом частных показателей, сформулированных ранее.

В таблице 2 приведены результаты решений 120 задач линейного математического программирования для обобщенных критериев эффективности по этим трём группам факторов.

Таблица 2 – Результаты DEA-оценки по трём группам факторов эффективности

Номер НК	DEA оценка для группы перспективного раз- вития	DEA оценка для группы результативности	DEA оценка для группы финансовых характе- ристик
1	2	3	4
1	0.8842	0.7968	0,3652
2	1	0.8398	0,2433
3	0.4715	0.6121	0,0730

Номер НК	DEA оценка для группы перспективного раз- вития	DEA оценка для группы результативности	DEA оценка для группы финансовых характе- ристик
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>
4	0.3676	0.3878	0,0012
5	0.4749	0.2173	0
6	0.7827	0.8599	0,7547
7	0.6078	0.7617	0,4980
8	0.7474	0.6692	0,3790
9	0.3881	0.1555	0,0157
10	0.2074	0.1706	0,0345
11	0.7159	0.4947	0,5062
12	0.3872	0.3281	0,0543
13	1	1	0,8778
14	0.4424	1	0,0870
15	0.9344	0.4715	1
16	1	0.4022	0,7254
17	1	0.7578	0,4125
18	0.8867	1	0,1607
19	0.2054	0.6828	0,0446
20	1	0.8533	0,5089
21	1	0.8169	1
22	0.7165	0.2917	0,0569
23	0.1506	0.1053	0,0938
24	0.6404	0.4609	0,1295
25	0.8285	1	0,0417
26	0.8615	0.7865	0,0589
27	0.7319	0.2740	0,3397
28	1	0.5283	0,1741
29	0.2313	0.2362	0,2287
30	0.7987	0.5841	0,0624
31	0.3777	1	0,1500
32	0.4820	0.4502	0,2250
33	0.6452	1	0,0929
34	0.5015	0.3779	0,0895
35	0.9399	0.3112	0,0626
36	1	0.3261	0,1043
37	1	0.8478	0,0683
38	0.2301	0.1664	0,0569
39	0.3556	0.1072	0,0937
40	0.2607	0.2372	0,2079

Анализ данных показывает, что по блоку частных критериев - перспектив развития - в Парето - оптимальное множество с $f_n=1$ входит 9 научных коллективов, и значения обобщенных показателей эффективности для других научных проектов лежат в диапазоне 0,15 до 0,94. По блоку результативности выделяется эффективное множество из 6 научных коллективов, и значения обобщенных оценок для других научных исследований находятся в диапазоне

0,11-0,85. Для блока финансов Парето-множество состоит из 2 эффективных коллективов, и обобщенные оценки для других проектов изменяются от 0,0012 до 0,88.

Таким образом, построение обобщенных критериев эффективности по выделенным трем базовым спектрам деятельности позволило существенно дифференцировать знания об эффективности научных исследований и выделить большее количество классов научных коллективов с различными оценками разных аспектов научной деятельности.

Полученная совокупность обобщенных оценок (таблицы 1, 2) не определяет коллективы, эффективные по всем четырем классам, при этом два коллектива – №13 и №21 – эффективны по трём классам, тринадцать коллективов эффективны по двум классам, три – эффективны по одному системному показателю, и двадцать два коллектива находятся вне эффективных множеств.

На основе найденных оценок построим универсальную шкалу рангов научных коллективов. Для каждого научного коллектива просуммируем четыре найденных обобщенных показателя эффективности и пронормируем их на единичном интервале. Результаты такого комплексного обобщенного оценивания эффективности деятельности научных коллективов приведены в таблице 3 и на диаграмме рисунка 2.

Таблица 3 – Универсальная шкала рангов научных коллективов

Номер НК	Суммарная DEA оценка по четырём группам	Нормированное значение системной эффективности (в процентном выражении)	Порядковое место
1	2	3	4
13	3,8778	100,00%	1.
21	3,8169	98,43%	2.
15	3,4059	87,83%	3.
6	3,3973	87,61%	4.
20	3,3622	86,70%	5.
17	3,1703	81,76%	6.
16	3,1276	80,65%	7.
2	3,0831	79,51%	8.
18	3,0474	78,59%	9.
1	3,0462	78,55%	10.
37	2,9161	75,20%	11.
25	2,8702	74,02%	12.
7	2,8675	73,95%	13.
33	2,7381	70,61%	14.
28	2,7024	69,69%	15.
26	2,6501	68,34%	16.
11	2,5794	66,52%	17.
8	2,5412	65,53%	18.
14	2,5294	65,23%	19.
31	2,5277	65,18%	20.
36	2,4304	62,67%	21.
30	2,3628	60,93%	22.
35	2,2536	58,12%	23.
27	2,1303	54,94%	24.
24	1,9216	49,55%	25.

Номер НК	Суммарная DEA оценка по четырём группам	Нормированное значение системной эффективности (в процентном выражении)	Порядковое место
1	2	3	4
3	1,8121	46,73%	26.
22	1,7818	45,95%	27.
32	1,7783	45,86%	28.
19	1,6156	41,66%	29.
34	1,507	38,86%	30.
12	1,212	31,25%	31.
5	1,1676	30,11%	32.
4	1,1435	29,49%	33.
29	1,1326	29,21%	34.
40	1,0576	27,27%	35.
9	0,9561	24,66%	36.
39	0,9146	23,59%	37.
38	0,6984	18,01%	38.
10	0,6627	17,09%	39.
23	0,5245	13,53%	40.

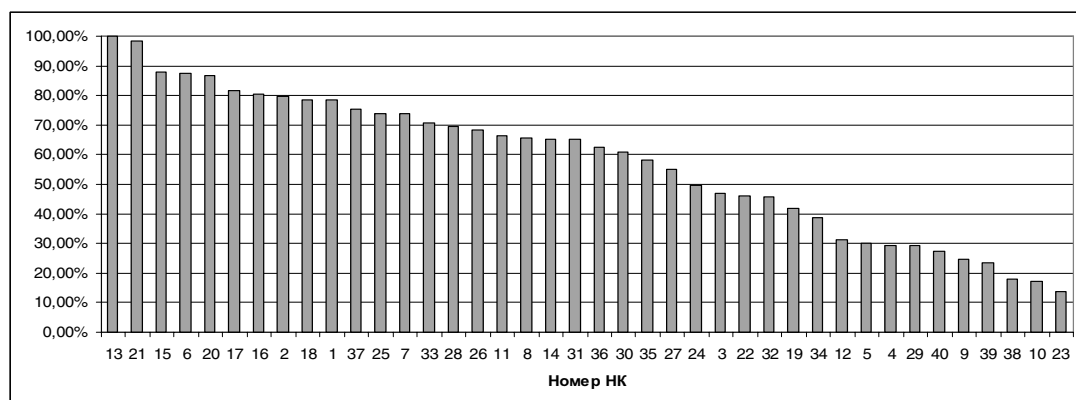


Рисунок 2 – Системные ранги научных коллективов

Видно, что реализованная методология позволила в соответствии с изложенным подходом получить дифференцированные индивидуальные оценки для всего состава научных коллективов, не привлекая экспертные суждения о значимости частных показателей.

Выводы

Полученные результаты иллюстрируют возможность применения формального метода многокритериального оценивания DEA к формированию и классификации знаний о деятельности научных коллективов.

Метод Data Envelopment Analysis позволил получить системные оценки эффективности, провести ранжировку и выделить группы совершенства научных коллективов.

Список литературы

- [1] Каплан Роберт С., Нортон Дейвид П. Сбалансированная система показателей. От стратегии к действию. – М.: ЗАО «Олимп-Бизнес», 2003. – 304 с.
- [2] HANDBOOK ON DATA ENVELOPMENT ANALYSIS edited by: William W. Cooper, Lawrence M. Seiford, Joe Zhu // Kluwer Academic Publishers, 2004 – 593 p.
- [3] Farrel M.J. The Measurement of Productive Efficiency // Journal of the Royal Statistical Society, Series A (General), Vol. 120, Part III, 1957, 253 – 281 p.
- [4] Charnes A., Cooper W.W., Rhodes E. Measuring the Efficiency of Decision Making Units // European Journal of Operational Research, Vol. 2, 1978, pp. 429 – 444.
- [5] Banker R.D., Charnes A, Cooper W.W. Some Models for Estimating Technical and Scale Efficiency in Data Envelopment Analysis // Management Science, Vol. 30, No. 9, 1984, pp. 1078 –1092.
- [6] Выгон Г.В., Поманский А.Б. Анализ связи технологической эффективности и рыночной капитализации компаний // Экономика и математические методы, № 2, том 36, 2000, с. 79-87.
- [7] Кривоножко В.Е., Пропой А.И., Сеньков Р.В., Родченков И.В., Анохин П.М. Анализ эффективности функционирования сложных систем. // Автоматизация проектирования, №1, 1999. < <http://www.osp.ru/ap/1999/01/02.htm> >
- [8] Хедли Дж. Нелинейное и динамическое программирование. – М.: Мир, 1967. – 508 с.
- [9] Химмельблау Д. Прикладное нелинейное программирование. – М.: Мир, 1975. – 534 с.
- [10] Дилигенский Н.В., Цапенко М.В. Математическое моделирование и обобщённое оценивание эффективности производственно-экономических систем / Труды VI Международной конференции «Проблемы управления и моделирования в сложных системах». Самара, СНЦ РАН.–2004.–с.96–106.
- [11] Дилигенский Н.В., Цапенко М.В. Методология DEA: оценка эффективности экономических объектов, анализ метода и свойств решений / Межвузовский сборник научных трудов «Высшее образование, бизнес, предпринимательство 2001». Самара, СамГТУ, Поволжский институт бизнеса. – 2001. – с. 149–159.

О МНИМЫХ ПРЕВОСХОДСТВАХ АЛГОРИТМОВ НЕЧЕТКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

А.Б. Филимонов¹, Н.Б. Филимонов²

¹Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН
101990, Москва, Малый Харитоньевский пер., 4, Россия
filimon_ab@yandex.ru

тел: +7 (499) 135-35-34, факс: +7 (499) 135-32-56

²Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН
117997, Москва, ул. Профсоюзная, 65, Россия
nbfilimonov@mail.ru
тел/факс: +7 (495) 334-92-40

Ключевые слова: ПИД-регуляторы, нечеткая логика, алгоритм нечеткого вывода Мамдани, моделирование процессов регулирования, эффективность алгоритмов

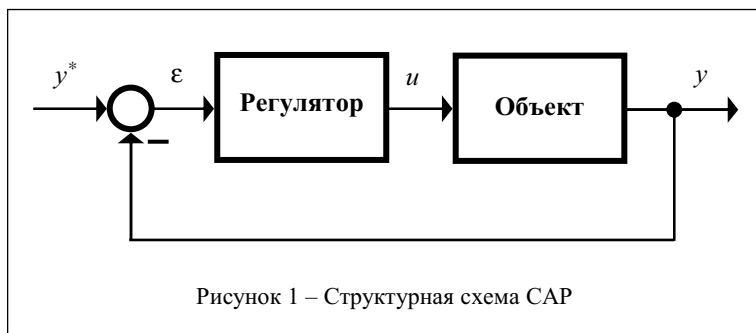
Abstract

The problems of fuzzy regulation of dynamic processes is investigated. The structure and properties of fuzzy PID-regulators are analyzed. Solution of the basis of fuzzy logic are compared with solutions of classical theory of regulation. The problem aspects of methodology of fuzzy regulation are distinguished.

Весьма популярна точка зрения, что алгоритмы регулирования, базирующиеся на нечеткой логике, обеспечивают более эффективное регулирование по сравнению с алгоритмическими решениями классической теории регулирования. При этом обычно ссылаются на известный контроллер Мамдани [1]. Целью настоящего доклада является попытка непредвзятой оценки обоснованности этой точки зрения.

Анализируемая схема автоматического регулирования (САР) представлена на рисунке 1. Здесь u - управляющий вход, y - управляемый выход, y^* - уставка, ε - ошибка регулирования (рассогласование):

$$\varepsilon = y^* - y.$$



Для апробирования алгоритмов регулирования выбран линейный стационарный объект регулирования второго порядка с передаточной функцией:

$$W_0(s) = \frac{K_0}{(T_1 s + 1)(T_2 s + 1)}$$

и параметрами $K_0 = 1$, $T_1 = T_2 = 3$.

ПИД-регулятор: классическое решение

Классический закон ПИД-регулирования можно представить уравнениями:

- (1) $u = u_p + u_i + u_D$;
- (2) $u_p = K_p x_p$, $x_p = \varepsilon$;
- (3) $u_i = K_I x_I$, $x_I = \int_0^t \varepsilon(\tau) d\tau$;
- (4) $u_D = K_D \dot{x}_D$, $x_D = \dot{\varepsilon}$.

Здесь явно выделены пропорциональная, интегральная и дифференциальная составляющие регулирующего воздействия.

Передаточная функция замкнутой САР равна

$$W(s) = \frac{M(s)}{D(s)},$$

где

$$M(s) = \frac{K_0}{T_1 T_2} (K_D s^2 + K_p s + K_I),$$

$$D(s) = s^3 + \frac{T_1 + T_2 + K_0 K_D}{T_1 T_2} s^2 + \frac{1 + K_0 K_p}{T_1 T_2} s + \frac{K_0 K_I}{T_1 T_2}.$$

Для объектов второго порядка ПИД-регуляторы обеспечивают возможность модальной настройки САР. Пусть $D^*(s)$ - желаемый характеристический многочлен замкнутой системы:

$$D^*(s) = s^3 + \alpha_2 s^2 + \alpha_1 s + \alpha_0.$$

Для частного случая кратных корней

$$(5) \quad D^*(s) = (s + (1/T))^3,$$

так что

$$\alpha_0 = (1/T)^3, \quad \alpha_1 = 3/T^2, \quad \alpha_2 = 3/T.$$

Данный результат обеспечивается следующими параметрами регулятора:

$$K_p = (1/K_0)(\alpha_1 T_1 T_2 - 1),$$

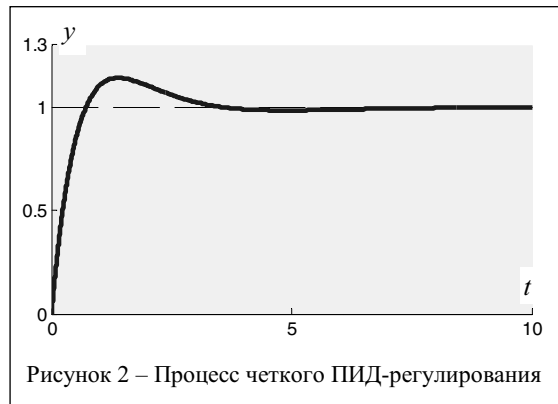
$$K_I = (1/K_0)\alpha_0 T_1 T_2,$$

$$K_D = (1/K_0)(\alpha_2 T_1 T_2 - T_1 - T_2).$$

Выберем вариант кратных корней (5), причем положим $T = 1$. Тогда

$$(6) \quad K_p = 26, \quad K_I = 9, \quad K_D = 21.$$

На рисунке 2 показана переходная характеристика синтезированной САР.



Системы нечеткого логического вывода

Процессы нечеткого регулирования реализуются на базе систем нечеткого логического вывода (FIS, Fuzzy Interference System). Такие FIS-системы состоят из четырех компонентов: базы знаний, фазификатора, механизма логического вывода и дефазификатора (см. рисунок 3).

Известны алгоритмы нечеткого вывода Мамдани, Сугено, Ларсена, Цукамото [2]. Далее мы ограничимся рассмотрением алгоритма нечеткого вывода Мамдани.

База знаний включает следующие компоненты:

- описание лингвистических переменных;
- базу данных, содержащих описание функций принадлежности;
- набор нечетких высказываний (продукций) в форме «ЕСЛИ-ТО»; левая часть каждого высказывания - конъюнкция элементарных перцепционных условий, а правая часть - множество элементарных действий.

Фазификатор вычисляет степени истинности предпосылок каждой продукции исходя из значения входных величин.

Механизм логического вывода выполняет следующие две операции. Во-первых, для каждой продукции вычисленное значение истинности предпосылок применяется к заключению посредством использования нечеткой логики «И». Во-вторых, выполняется операция композиции: объединяются вместе нечеткие подмножества заключений для формирования одного нечеткого подмножества для каждой переменной вывода. С этой целью используется нечеткая логика «ИЛИ».

Дефазификатор трансформирует нечеткие результаты для переменных вывода в четкие значения.

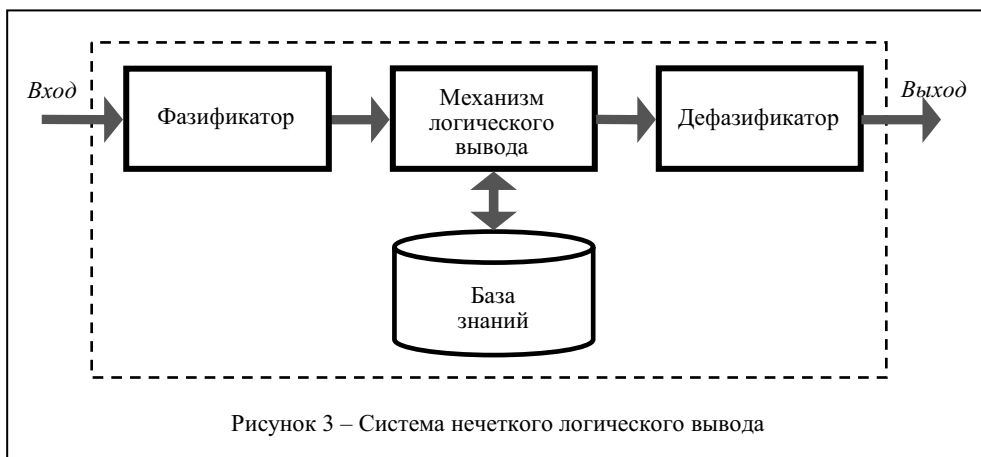


Рисунок 3 – Система нечеткого логического вывода

Лингвистические переменные нечеткого регулятора

Переход от схемы регулирования (1)-(4) к алгоритмам нечеткого регулирования основан на замене динамических переменных лингвистическими.

Состав входных лингвистических переменных алгоритма нечеткого регулирования очевиден – x_p , x_I , x_D . При разработке алгоритмов нечеткого вывода возможно применение как лингвистической переменной u , так и лингвистических переменных u_p , u_I , u_D .

Далее условимся считать, что все рассматриваемые лингвистические переменные имеют одно и то же базовое терм-множество наименований:

$$(7) \quad T^* = \{NB, NM, NS, Z, PS, PM, PB\},$$

где

- NB (Negative Big) - отрицательное большое;
- NM (Negative Middle) - отрицательное среднее;
- NS (Negative Small) - отрицательное малое;
- ZN (Zero Negative) - отрицательное близкое к нулю
- Z (Zero) - нуль (близкое к нулю);
- ZP (Zero Positive) - положительное близкое к нулю;
- PS (Positive Small) - положительное малое;
- PM (Positive Middle) - положительное среднее;
- PB (Positive Big) - положительное большое.

В качестве функций принадлежности данных термов примем кусочно-линейные функции принадлежности [3], причем для крайних термов NB и PB они будут иметь трапецевидную форму, а для внутренних (т.е. остальных) - треугольную.

Традиционный подход к построению нечеткого регулятора заключается в построении его как целостной FIS-системы, формирующей регулируемую переменную u . В этом случае база продукций будет состоять из нечетких высказываний вида:

$$\text{ЕСЛИ } x_p = \tilde{x}_p \text{ И } x_I = \tilde{x}_I \text{ И } x_D = \tilde{x}_D, \text{ ТО } u = \tilde{u},$$

где $\tilde{x}_p \in T(x_p)$, $\tilde{x}_I \in T(x_I)$, $\tilde{x}_D \in T(x_D)$, $\tilde{u} \in T(u)$ - лингвистические термы переменных, а $T(x_p)$, $T(x_I)$, $T(x_D)$, $T(u)$ - терм-множества.

Поскольку

$$T(x_p) = T(x_I) = T(x_D) = T(u) = T^*,$$

то соответствующая база знаний будет содержать $N_1 = 7^3 = 343$ нечетких продукций. Ясно, что безошибочное и обоснованное составление такого количества продукций довольно проблематично.

Существенного упрощения алгоритма нечеткого регулирования удастся достигнуть посредством декомпозиции управления (1) и параллельного формирования переменных u_p , u_I , u_D посредством сепаратных FIS-блоков. Для описания лингвистических значений этих переменных снова воспользуемся терм-множеством (7):

$$T(u_p) = T(u_I) = T(u_D) = T^*.$$

В этом случае потребуется всего лишь $N_1 = 3 \times 7^3 = 21$ продукций вида

(8) ЕСЛИ $x_p = \tilde{x}_p$, ТО $u_p = \tilde{u}_p$;

(9) ЕСЛИ $x_I = \tilde{x}_I$, ТО $u_I = \tilde{u}_I$;

(10) ЕСЛИ $x_D = \tilde{x}_D$, ТО $u_D = \tilde{u}_D$.

Может создаться ложное мнение, что именно в данных продукциях должна воплощаться вариативность формируемых алгоритмов регулирования. На самом деле структура этих продукций предопределена свойством функциональной *монотонности* регулирующих обратных связей: чем больше рассогласование, тем больше управляющее воздействие (разумеется, вне режима насыщения). Заметим, что в структуре обычного ПИД-регулятора (1)-(4) данное свойство отражают положительные коэффициенты усиления K_p , K_I и K_D .

Требованию функциональной монотонности действий нечеткого регулятора отвечают лишь следующие варианты продукций (8)-(10):

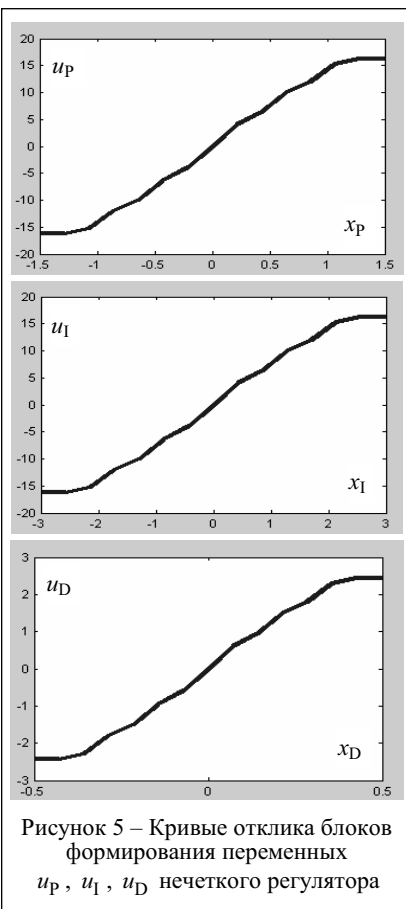
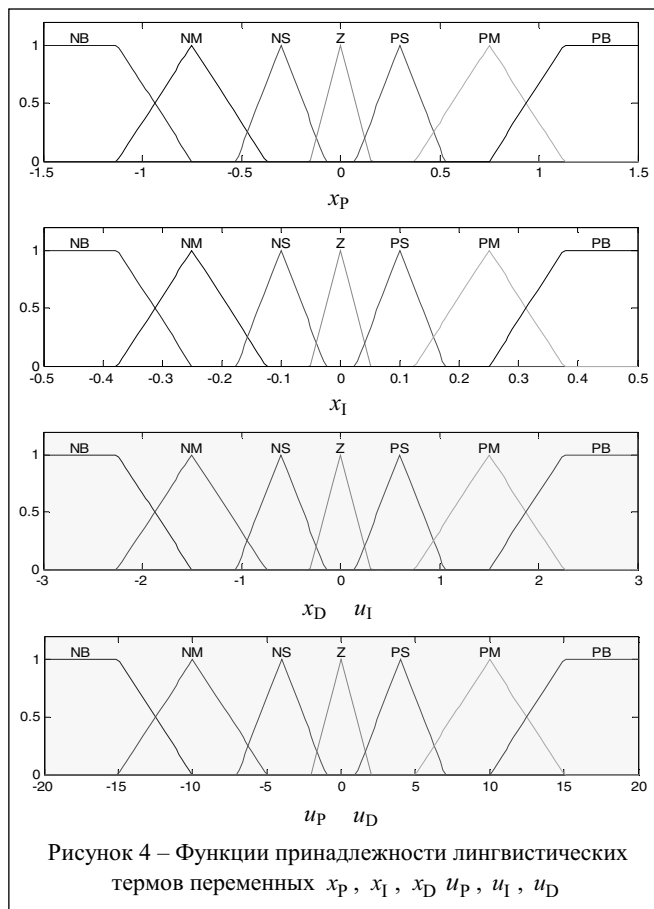
$$\text{ЕСЛИ } x_* = \tilde{t}, \text{ ТО } u_* = \tilde{t} \quad (t \in T^*),$$

т.е. лингвистические значения выхода и входа должны совпадать.

Функции принадлежности лингвистических термов

Итак, настраиваемыми элементами FIS-блоков нечеткого регулятора являются функции принадлежности лингвистических термов переменных x_p , x_I , x_D , u_p , u_I , u_D , число которых равно $N_2 = 6 \times 7 = 42$, и задача синтеза нечеткого ПИД-регулятора сводится к построению этих функций принадлежности.

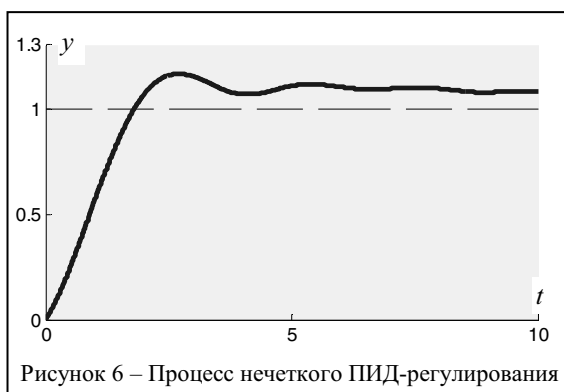
Процессы четкого и нечеткого регулирования имеет смысл сравнивать лишь в условиях сопоставимых *режимов* регулирования. Если исходить из настройки четкого ПИД-регулятора (6), то схожий режим нечеткого регулирования будет реализован посредством продукций с нечеткими множествами, представленными на рисунке 4. Поскольку в FIS-алгоритмах допустимые значения входных переменных x_p , x_I , x_D ограничены (см. рисунок 4), то в процедурах их обработки предусмотрено применение насыщающих ограничений сверху и снизу.



На рисунке 5 приведены кривые отклика FIS-блоков формирования переменных u_p , u_I , u_D нечеткого регулятора. Представленные данные отражают общее свойство FIS-блоков в системах регулирования: они осуществляют нелинейное преобразование входных сигналов в выходные и с этой точки зрения *эквивалентны* обычным нелинейным статическим блокам. Этот факт как раз и иллюстрирует рисунок 5: видно, что кривые откликов построенных FIS-блоков близки по форме к т.н. линейным характеристикам с насыщением.

Моделирование нечеткого регулятора в среде MATLAB

Моделирование процессов нечеткого регулирования производилось в среде MATLAB. Для этой цели использовались средства специального пакета расширения Fuzzy Logic Toolbox [3]. На рисунке 6 показан переходный процесс отработки единичной уставки в синтезированной системе нечеткого регулирования. Видно, что здесь качество регулирования ниже, чем у процесса четкого регулирования, отображенного на рисунке 2. В частности, у САР отсутствует свойство астатизма.



Выводы

Проведенные авторами анализ решений задач регулирования на базе нечеткой логики не выявил каких-либо их реальных преимуществ по сравнению с известными классическими решениями. Подытоживая выполненные исследования, выделим ряд проблемных аспектов методологии нечеткого регулирования:

- 1) Алгоритмы нечеткого регулирования существенно сложнее традиционных четких алгоритмов регулирования.
- 2) Тезис о преимуществах нечетких регуляторов представляется сомнительным, поскольку каждый такой регулятор возможно заменить более эффективным и структурно менее сложным четким регулятором.
- 3) Спорным является тезис о том, что на основе нечеткого подхода удастся синтезировать работоспособные САР без априорных знаний и предпроектного обследования динамических свойств объектов регулирования.
- 4) Нечеткий подход является сугубо эмпирическим и не позволяет на теоретическом уровне решать вопросы устойчивости, динамического качества и робастности синтезируемых САР.
- 5) Алгоритмы нечеткого регулирования не применимы к сложным динамическим объектам. В частности, это касается многосвязных объектов регулирования и объектов с запаздыванием.
- 6) Методология нечеткого регулирования не позволяет решать важные для инженерной практики вопросы оптимизации процессов регулирования.
- 7) В рамках нечеткой методологии эмпирический опыт действий человека-оператора (ЧО) в контуре ручного управления формализуется посредством нечетких продукций, однако при этом не учитывается дискретно-динамический механизм реакций самого ЧО.

Список литературы

- [1] Mamdani E.H. Application of fuzzy algorithm for simple dynamic plant // Proc. IEEE. - 1974. - № 12. - P. 1585-1588.
- [2] Круглов В.В., Дли М.И. Интеллектуальные информационные системы: компьютерная поддержка систем нечеткой логики и нечеткого вывода. - М.: Физматлит, 2002. - 256 с.
- [3] Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. - СПб.: БХВ-Петербург, 2003. - 736 с.

ЧЕТЫРЕ ТИПА СВЯЗЕЙ В МОДЕЛИРОВАНИИ РЕАЛЬНОСТИ

Ф.П. Тарасенко

Национальный исследовательский Томский государственный университет
634041, Томск, пр. Ленина, 36, Россия
ftara@sibmail.com
тел: (3822) 25-95-46, (3822) 43-31-15

Ключевые слова: система, объект, существенная информация, модель, причинно-следственная связь, необходимая связь, достаточная связь

Abstract

Along with the causal effect that is necessary and sufficient for the explanation of the phenomena, three more types of relations are offered. They are necessary, but insufficient; sufficient, but not necessary; not necessary and not the sufficient

Любое действие человека основано на информации об объекте, на который направлено действие, об окружающей его среде и о целях, на достижение которых направлено планируемое действие. Любая информация воплощена в виде некоторой модели, материального носителя информации. Естественное стремление к тому, чтобы наши модели как можно более адекватно отображали реальность (от этого зависит степень успешности достижения цели), привело к осознанию системности мира, в котором нам довелось жить. Понятие системы позволяет рассматривать реальность как бесконечную совокупность взаимосвязанных систем разных субстратных, пространственных и временных особенностей и масштабов.

Оказалось, что всю необходимую информацию о любой системе достаточно упаковать в виде всего трёх моделей: модели состава системы (перечня существенных частей системы), модели структуры системы (перечня существенных связей между её частями), и модели чёрного ящика системы (перечня существенных связей системы с окружающей её средой). Каждая из моделей, в зависимости от наших надобностей, может быть представлена в статическом варианте (отображение состояния оригинала в фиксированный момент времени), либо в варианте динамическом (отображение процесса изменения состояний со временем).

При этом выяснилась основная особенность системной организации Вселенной – факт, что свойства системы не сводятся к сумме свойств её частей, и не выводятся из их свойств. Система обладает свойствами, присущими только системе в целом, не присущими ни одной из её частей (например, ни одна из частей самолёта не летает, только самолёт летает). Такие свойства получили название эмерджентных (в статическом моделировании), или синергетических (при динамическом моделировании). Система есть нечто большее (или меньшее), чем просто несвязанное множество её частей.

Стало очевидным, что эмерджентные свойства системы определяются не столько тем, как действует каждая часть сама по себе, сколько тем, как они взаимодействуют. Улучшение работы какой-то части вовсе не обязательно приведёт к улучшению работы системы (например, увеличение объёма производства гаек при сохранении объёма производства винтов только ухудшит экономическую эффективность предприятия, производящего болты). Для улучшения работы системы иногда даже надо ухудшить работу какой-то части (например, убыточное производство определённого товара часто осуществляется ради поддержания спроса на комплектно сопровождающий прибыльный товар).

Таким образом, описание *связей* внутри и вне системы является чрезвычайно критическим этапом в построении любых моделей любых систем. Этот момент отражён в определениях трёх типов моделей присутствием термина *существенный*.

Системная картина мира основана на его представлении как гигантской системы систем, а всякая информация о любой системе представляется посредством подходящей комбинации трёх её моделей – чёрного ящика, состава и структуры. Бросается в глаза, что всё сводится к описанию всего двух сущностей – объектов (систем, частей, элементов) и связей между ними. Причём и описание самого объекта сводится к описанию его *свойств*, – особенностей его проявлений в окружающей среде при взаимодействиях с нею, т.е. опять-таки через *связи* объекта с другими объектами. Необходимость достигать максимальной адекватности моделей, решающая роль в этом правильности отображения связей в моделях при колоссальном разнообразии реальных связей, – требуют тщательного учёта различий между разными типами связей и способами отображения этих различий в моделях.

По сути, *любые* сведения о реальности есть информация о *связях* объекта рассмотрения с его окружением. Даже такое понятие как *свойство* объекта является не унарным отношением, атрибутом объекта, а свёрнутым многоместным отношением объекта с окружающей средой. Например, мы говорим, что «стекло прозрачное». Это сжато обозначает, что «если с одной стороны стекла поместить источник света, а с другой – приёмник света, то приёмник зарегистрирует прохождение световой энергии сквозь стекло», и даже можно измерить степень «прозрачности» стекла. Или мы говорим, что «этот объект зелёный». Эта фраза кратко выражает тот факт, что «при освещении данного предмета белым светом, анализатор света, чувствительный к цветам, обнаружит, что данный объект отражает только зелёную спектральную линию из всего спектра частот белого света». И такое понимание «свойства» относится ко *всем свойствам всех объектов*. Вот почему «объяснение» объектов и в анализе, и в синтезе сводится к перечислению их свойств, т.е. к построению их *моделей чёрного ящика*.

Особое значение для адекватности модели приобретает конкретный смысл того, что и почему считается *существенной связью* при решении вопроса, включать ли её в создаваемую модель.

Главная сложность моделирования реальности состоит в том, что всё в мире взаимосвязано и взаимозависимо (это один из четырёх законов диалектики). Эта особенность реальности вытекает из факта *открытости* всех систем (т.е. факта взаимодействия любой системы с окружающей средой). В результате любые два объекта оказываются связанными многочисленными цепочками взаимодействующих пар объектов – через множество длинных или коротких их последовательностей. При этом прямая и обратная цепочки могут различаться, что приводит к разной «силе» прямого и обратного взаимодействий между ними. Так возникает понятие о направленных, сильных или слабых, существенных или несущественных связях.

Естественно, при моделировании реальности мы стремимся включить в её модель только то, что позволит нам успешно достичь нашу цель, т.е. *существенное* для нас, оставив без внимания то, что для нашей цели «*несущественно*», хотя и присутствует. Например, при конструировании и эксплуатации подъёмного крана учитывается вес грузов, подлежащих перемещению, вес деталей самого крана, но не учитываются силы притяжения между самими частями и грузами, хотя все они есть проявления единого закона всемирного тяготения. Просто потому, что вес тела есть сила его притяжения к Земле, масса которой на много порядков больше масс остальных деталей крана и груза. В данном случае силы взаимодействия частей с Землёй существенны, а частей между собой – нет, хотя они и существуют!

При построении моделей важно обеспечить их *адекватность*, т.е. содержание всей информации, необходимой для достижения нашей цели, – *существенной* информации. Вот

тут-то и выходит на первый план вопрос о том, а какие связи (из их бесконечного множества!) существенны, а какие – нет.

В физике, строящей модели Вселенной, при попытках описать взаимодействия между физическими объектами, сфокусировали внимание на взаимодействиях между отдельными *парами* объектов. При этом понятие *существенности* связи между ними свелось к понятию очень сильной, *причинно-следственной* связи, установление которой становилось открытием очередного *закона природы*. Яркими примерами служат закон Ньютона всемирного тяготения и закон Фарадея о взаимодействии двух электрических зарядов (замечательно, что оба закона имеют тождественную структуру – произведение двух сущностей, делённое на квадрат расстояния между ними, что сигнализирует нам о единообразии устройства природы).

Важно подчеркнуть, что понятие причины и следствия является результатом абстракции от всеобщей взаимосвязанности в природе и рассмотрения взаимодействия только между двумя сущностями. Для причины и следствия не нужны никакие третьи сущности, для них окружающая среда как бы не существует: если причина состоялась, следствие обязательно наступит; если произошло следствие, то этому обязательно предшествовала причина. *Причинно-следственная связь является **необходимой и достаточной** для объяснения (адекватного моделирования) явления.*

Однако, такое упрощение, не учитывающее наличия окружающей среды, лишь приблизительно описывает реальность, в которой два рассматриваемых объекта на самом деле не только «сильно» (и односторонне!) взаимодействуют между собой, но и «слабо» – с другими. Например, следствием закона тяготения является *одинаковость* ускорения свободного падения тел, независимо от их массы. Но если вы одновременно отпустите перышко и дробинку, они полетят к земле с *разными* скоростями – из-за наличия атмосферы. Упрощённость «законов природы» сказывается и в том, что при ближайшем рассмотрении они оказываются не столь уж и универсальными. Например, законы Ньютона и Фарадея описывают силы взаимодействий между массами или зарядами как обратно пропорциональные квадратам расстояний между ними. При обращении этого расстояния в нуль, силы должны стать бесконечными, чего в реальности не происходит. Тем не менее, отыскание очень сильных, «причинно-следственных», связей, – законов природы, – остаётся одной из основных задач науки, поскольку установление таких законов позволяет с высокой точностью предсказывать последствия нашего вмешательства в реальность.

В реальности же нам приходится действовать и тогда, когда объекты нашего воздействия связаны не в столь сильной степени, какая отображается понятием «причина – следствие». В стремлении упростить описание, мы стараемся свести его к совокупности попарных связей между всеми объектами нашего внимания. Сложность природы при этом выражается в том, что каждый объект оказывается связанным не с одним другим объектом, а ещё и с многими другими. В результате попарную связь приходится адекватно описывать и другими типами связи, нежели причинно-следственная. Можно усмотреть ещё три типа связей, отличающихся от *необходимой и достаточной*.

Связь может быть *необходимой, но не достаточной*. Примером может служить связь между жёлудем и дубом: для появления дуба жёлудь необходим, но для появления дуба нужны также соответствующие почва, влага, тепло, свет, воздух... Терминология для такой связи пока не установилась: иногда её называют «основной причиной», но, пожалуй, наибольшей чёткостью обладает предложенный Р.Акоффом [1] термин «продуцент – продукт».

Связь может быть *достаточной, но не необходимой*. Например, употребление водки вызывает опьянение, но опьянение может наступить и от вина или пива. Подходящим термином для такого типа связи представляется «направленная связь».

Связь может быть *существенной, но не необходимой и не достаточной*. Такие связи называются «стохастическими», «вероятностными», «статистическими», «ассоциативными».

Например, не все курящие заболевают раком лёгких, и не все больные раком лёгких когда-нибудь курили. А ассоциативность связи проявляется в том, что процент заболевших среди курящих выше, чем среди некурящих.

Различение типов связей важно потому, что их степень существенности может быть разной, и разные типы связей требуют по-разному взаимодействовать с моделируемым объектом. Особенно наглядно это проявляется в случаях, когда одна связь ошибочно принимается за другую, например, «после значит вследствие», или когда сильная стохастическая связь принимается за причинно-следственную.

Примером такой ошибки является попытка решить проблему высокой заболеваемости туберкулёзом жителей промышленного района в Чикаго. Было установлено высокое загрязнение атмосферы выбросами из труб заводов и фабрик, сосредоточенных в этом районе, что, несомненно, отрицательно сказывалось на состоянии лёгких людей. После реализации занявшей несколько лет дорогостоящей программы, содержание сажи и вредных газов в воздухе было снижено до санитарных норм, но это практически не повлияло на заболеваемость туберкулёзом лёгких в этом районе. Оказалось, что основной причиной болезни была дешевизна жилья в непрестижном районе, привлекавшая туда малоимущие и малокультурные семьи, которые вообще не в состоянии обеспечить себе полноценные условия для здорового образа жизни.

Другой пример принятия ассоциативной связи за причинно-следственную привёл Р.Акофф [1]. Исследование, проведённое Министерством здравоохранения США, обнаружило высокую корреляцию между потреблением табака на душу населения в двадцати одной стране и числом заболеваний раком лёгких в этих странах. Из этого было сделано заключение, что курение является причиной рака лёгких. Акофф использовал те же данные о курении в тех же странах и вычислил их корреляцию с данными о заболеваниях холерой. Она оказалась ещё более сильной, но отрицательной. Поэтому, следуя той же логике, можно считать доказанным, что курение предохраняет от холеры. Ясно, что этот вывод неверен, но и вывод о курении как причине рака столь же ошибочен.

Ещё один яркий пример разницы между различными типами связей приведён в Интернете. Вот он:

2 непростых вопроса.

Первый вопрос:

Если бы вы встретили беременную женщину, у которой уже 8 детей, из них трое глухих, двое слепых, один умственно отсталый, а сама женщина больна сифилисом, - вы бы посоветовали ей сделать аборт?

Прежде чем ответить на этот вопрос, прочитайте второй вопрос.

Второй вопрос:

Нужно выбрать нового мирового лидера, и ваш голос – решающий. Вот информация о трех кандидатах:

- *Кандидат 1:* общается с нечистыми на руку политиками, советуется с астрологами, у него две жены, курит без остановки и выпивает 8-10 бокалов martin в день.
- *Кандидат 2:* дважды изгонялся с должности, спит до полудня, баловался опиумом в колледже, выпивает около литра виски каждый вечер
- *Кандидат 3:* имеет воинские награды, вегетарианец, не курит, изредка пьёт пиво, и никогда не изменял жене

Кого из троих вы выберете?

Первый кандидат: Франклин Д. Рузвельт.

Второй кандидат: Уинстон Черчилль.

Третий кандидат: Адольф Гитлер

И, кстати, насчет аборта: если ваш ответ «да», то вы только что убили Бетховена.

Список литературы

- [1] Р.Л. Акофф. Менеджмент в 21-м веке. Преобразование корпорации. Пер. с английского. Изд-во Томского университета, 2004, 417 с.

УПРАВЛЕНИЕ ОБЪЕКТАМИ С РАСПРЕДЕЛЁННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АППАРАТА НЕЧЁТКОЙ ЛОГИКИ

И.А. Данилушкин, С.А. Колпащиков

Самарский государственный технический университет
443100, Самара, ул. Молодогвардейская, 244, Россия
idanilushkin@mail.ru
тел: +7 (846) 337-07-00

Ключевые слова: объект с распределёнными параметрами, модальное представление, уравнение теплопроводности, нечёткая логика, нечёткий регулятор, нечёткая база правил, система автоматического управления

Abstract

The problem of synthesis of fuzzy control system at a plant with distributed parameters is discussed. An approach to the construction of a fuzzy controller based on a modal representation of the plant with distributed parameters is proposed. Time modes of spatially distributed signal of mismatch are considered as the linguistic variables. Defuzzification of fuzzy inference allows taking into account restrictions to spatial distribution of control signal.

Введение

Для целого класса объектов управления необходимо учитывать зависимость контролируемого параметра от пространственной координаты. Большинство подобных объектов могут быть описаны уравнениями в частных производных математической физики [1]. Вопросами исследования и синтеза систем автоматического управления объектами с распределёнными параметрами (ОРП) занимается структурная теория распределённых систем [2–5].

Один из используемых подходов к синтезу систем с распределёнными параметрами связан с модальным представлением объекта [4–6], благодаря которому ОРП представляется в виде бесконечной системы обыкновенных дифференциальных уравнений, каждое из которых может рассматриваться как независимый сосредоточенный объект управления. Вопросы синтеза сосредоточенных регуляторов для отдельных временных мод модального представления ОРП решаются различными способами: с помощью инженерных методик [7], методов аналитического конструирования агрегированных регуляторов [8], аппарата нейронных сетей [9]. Спектральный метод анализа и синтеза распределённых систем [10] позволяет использовать хорошо проработанный аппарат синтеза алгоритмов управления в пространстве состояний. В то же время, любой из описанных способов имеет свою область применения и не позволяет решать задачи управления ОРП в общем случае.

В данной работе предлагается подход к синтезу систем автоматического управления ОРП с применением аппарата нечёткой логики. Системы регулирования на базе нечёткой логики хорошо зарекомендовали себя при построении систем управления сосредоточенными объектами [11, 12]. Интуитивно понятный подход к составлению базы правил функционирования нечёткого регулятора позволяет говорить об удобстве применения нечёткой логики в качестве инженерного подхода к построению автоматических систем. Поэтому распространение аппарата нечёткой логики на разработку регуляторов для систем с распределёнными параметрами может представлять определённый интерес.

1 Построение системы нечёткого управления на базе представления ОРП в виде многосвязной сосредоточенной системы

В достаточно общем случае, задача управления ОРП может быть сформулирована в следующем виде: обеспечить пространственное распределение управляемой величины $Q(x, t)$ с минимально допустимым отклонением от заданного $Q^*(x, t)$,

$$(1) \quad J = \int_0^t \int_{x_0}^{x_1} |Q^*(x, t) - Q(x, t)| dx dt \rightarrow \min_{U(x, t)},$$

за счёт пространственно распределённого управляющего воздействия $U(x, t)$. $[x_0, x_1]$ – область определения распределённой величины в пространстве. Зависимость контролируемой величины от управляющего воздействия может быть задана через функцию Грина ОРП $G_P(x, \xi, t)$, следующим образом [2]:

$$(2) \quad Q(x, t) = \int_0^t \int_{x_0}^{x_1} G_P(x, \xi, t - \tau) \cdot U(\xi, \tau) d\xi d\tau.$$

Следует отметить, что для широкого круга технологических установок, представляющих собой ОРП, распределённое управляющее воздействие имеет ограниченную пространственную конфигурацию вида

$$(3) \quad U(x, t) = \sum_{i=1}^M \mathbf{1}(x - \xi_{j-1}) \cdot \mathbf{1}(\xi_j - x) \cdot u_i(t), \quad \mathbf{1}(x) = \begin{cases} 1, & \text{при } x \geq 0; \\ 0, & \text{при } x < 0, \end{cases}$$

где ξ_j – упорядоченные по возрастанию координаты границ интервалов постоянства управляющих воздействий $u_j(t)$ в пространстве, ξ_0 – левая граница первого интервала, M – количество интервалов постоянства. В этом случае ОРП может быть представлен в виде многосвязной системы, с входами по числу участков постоянства управляющих воздействий и выходами по числу датчиков измерения контролируемой величины в различных координатах. Такое представление может быть использовано при построении системы с нечётким регулятором (рис. 1).

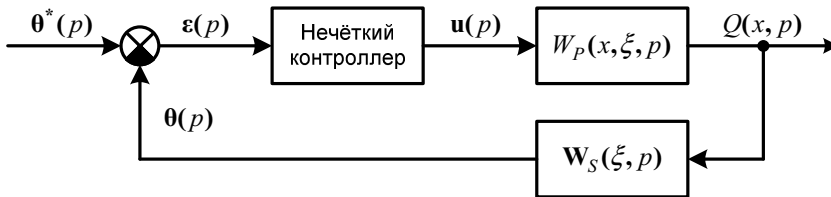


Рисунок 1 – Структурная схема системы управления ОРП, с помощью нечеткого регулятора, основанная на представлении ОРП как многосвязного сосредоточенного объекта управления

На рис. 1 $W_P(x, \xi, p)$ – передаточная функция ОРП, $W_P(x, \xi, p) = \mathbf{L}\{G_P(x, \xi, t)\}$, p – оператор преобразования Лапласа; $Q(x, p)$ – распределённый выходной сигнал; $\mathbf{W}_S(\xi, p) = [\delta(\xi - x_i)]_N$, вектор переходных ξ -блоков [2], на выходе которого формируется вектор измерений контролируемой величины $\theta(p) = [\theta_i(p)]_N$ в точках x_i , N – количество то-

чек измерения контролируемой величины, $\theta_i(p) = \int_{x_0}^{x_i} \delta(\xi - x_i) \cdot Q(\xi, p) d\xi$; $\theta^*(p) = [\theta_i^*(p)]_N$ – вектор заданных значений в точках x_i ; $\varepsilon(p) = [\varepsilon_i(p)]_N$ – вектор рассогласований заданных и текущих значений в точках контроля, $\varepsilon(p) = \theta^*(p) - \theta(p)$; $u(p) = [u_j(p)]_M$ – вектор управляющих воздействий.

Принцип действия системы управления, представленной на рис. 1, следующий. Желаемое распределение контролируемой величины задаётся в виде вектора значений температуры в точках измерения. Величина отклонения в каждой точке контроля становится одноимённой лингвистической переменной, для которой определяются термы (например, «перегрев», «норма», «недогрев»), а также функции принадлежности. Далее, для каждого из управляющих воздействий $u_j(p)$ формируется нечёткий вывод [13]. Значения элементов вектора управления $u(p)$ рассчитываются с помощью процедуры дефазификации нечётких выводов, независимо для каждого элемента.

Нечёткий вывод для каждого $u_i(p)$ формируется с помощью отдельной базы правил, которая позволяет учесть состояние каждой лингвистической переменной. Разумеется, исходя из логики поведения объекта, влияние i -того измерения на формирование управления j -тым исполнительным устройством, должно зависеть от степени удалённости в пространстве точки контроля x_i от зоны расположения j -того исполнительного устройства (ξ_{j-1}, ξ_j) .

2 Использование модального представления ОРП

Повысить качество работы системы, представленной на рис. 1 можно, как и для любой многосвязной системы, за счёт развязывания контуров управления. В данном случае, для развязывания контуров предлагается использовать модальное представление объекта. Такой подход, в первую очередь накладывает ряд ограничений на класс объектов управления, к которым он может быть применён. В случае, когда в качестве модели объекта используется пространственно-одномерное уравнение в частных производных параболического типа [8]

$$(4) \quad \frac{\partial Q(x, t)}{\partial t} = a \frac{\partial^2 Q(x, t)}{\partial x^2} + v \frac{\partial Q(x, t)}{\partial x} + \beta \cdot Q(x, t) + U(x, t), \quad x_0 < x < x_1, \quad t > 0, \quad a, v, \beta = \text{const}$$

относительно распределённой управляемой величины $Q(x, t)$, с начальными и граничными условиями

$$(5) \quad Q(x, t) = Q_0(x);$$

$$(6) \quad \frac{\partial Q(x_0, t)}{\partial x} - b_0 Q(x_0, t) = g_0(t);$$

$$(7) \quad \frac{\partial Q(x_1, t)}{\partial x} + b_1 Q(x_1, t) = g_1(t),$$

и внутренним распределённым управляющим воздействием $U(x, t)$, решение задачи (4)–(7) может быть представлено в виде

$$(8) \quad Q(x, t) = \sum_{n=1}^{\infty} \varphi_n(\lambda_n, x) \cdot z_n(\lambda_n, t); \quad z_n(\lambda_n, t) = \int_{x_0}^{x_1} Q(x, t) \cdot \varphi_n(\lambda_n, x) dx.$$

Здесь $z_n(\lambda_n, t)$ – временные моды разложения решения в ряд по собственным функциям $\varphi_n(\lambda_n, x)$ задачи (4)–(7), $n = 1, 2, \dots$, λ_n – собственные числа,

$$(9) \int_{x_0}^{x_1} \varphi_i(\lambda_i, x) \varphi_j(\lambda_j, x) dx = \begin{cases} 1, & \text{при } i = j; \\ 0, & \text{при } i \neq j. \end{cases}$$

Поскольку каждая мода $z_n(\lambda_n, t)$ независима от других, что следует из (9), то получаем бесконечное множество независимых контуров управления. Ограничившись учётом K первых мод, и используя в качестве лингвистических переменных значения мод рассогласования заданного распределения и управляемой величины, можно построить систему автоматического управления со следующей структурой (рис. 2). Распределённый сигнал рассогласования $e(x, p) = Q^*(x, p) - Q(x, p)$ поступает на вход модального анализатора, который формирует вектор мод сигнала рассогласования $\mathbf{e}(p) = [e_i(p)]_K$,

$$(10) e_i(p) = \int_{x_0}^{x_1} e(x, p) \cdot \varphi_i(\lambda_i, x) dx.$$

Теперь уже элементы вектора $\mathbf{e}(p)$ рассматриваются в качестве входных лингвистических переменных нечёткого контроллера.

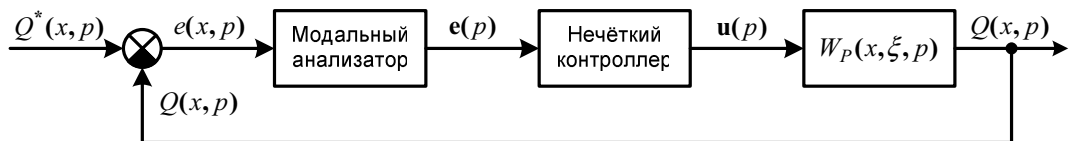


Рисунок 2 – Структурная схема системы управления ОРП, с помощью нечеткого регулятора, основанная на модальном представлении ОРП

Поскольку существенным преимуществом использования нечёткой логики при синтезе систем автоматического управления является удобное для человека описание состояния объекта и формирования базы правил, то для упрощения настройки регулятора модам – лингвистическим переменным можно ввести имеющий для человеческого восприятия смысл. Например, для задачи нагрева неподвижного стального стержня с нулевыми граничными условиями второго рода (в постановке задачи (4)–(7) $v, b_0, b_1 = 0$, $g_0(t), g_1(t) = 0$) можно определить следующие лингвистические переменные и соответствующие им термы:

- $e_1(p)$ – средняя температура стержня («перегрев», «норма», «недогрев»);
- $e_2(p)$ – перепад температуры между левым и правым концами стержня («левый холоднее правого», «норма», «левый горячее правого»);
- $e_3(p)$ – перепад температуры между серединой и концами стержня («концы холоднее середины», «норма», «концы горячее середины»);
- и т.д.

3 Формирование распределённого управления без процедуры дефазификации

В тех случаях, когда существует возможность реализовать распределённое управляющее воздействие произвольной формы, можно вообще отказаться от процедуры дефазификации, используя в качестве функции пространственного распределения управляющих воздействий значение функции принадлежности общего нечёткого вывода (рис. 3).

Один из возможных вариантов реализации такого подхода заключается в следующем. Для каждого элемента вектора мод сигнала рассогласования $e_i(p)$ определяется набор терм (A_{ij} , $j = 1, 2, \dots, P_i$, P_i – количество терм i -того элемента) и функции принадлежности к ним – $\mu_{A_{ij}}(e_i)$. Затем для выходной лингвистической переменной x нечёткого регулятора выбирается набор из S терм B_k , $k = 1, 2, \dots, S$. Функции принадлежности $\mu_{B_k}(x)$ определяются на диапазоне $[x_0, x_1]$, таким образом, чтобы выполнялось условие нормировки [13]

$$(11) \quad \sum_{k=1}^S \mu_{B_k}(x) = 1 \quad \forall x \in [x_0, x_1].$$

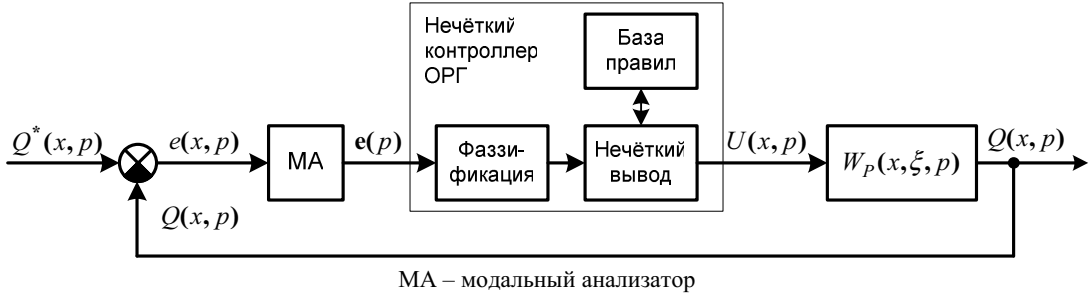


Рисунок 3 – Нечёткий контроллер, формирующий распределённое управляющее воздействие

Далее формулируются лингвистические правила управления распределённой управляемой величиной $Q(x, p)$ вида:

$$(12) \quad \begin{cases} R_1: & \text{if } e_1 = A_{11} \text{ and } e_2 = A_{21} \text{ and } e_3 = A_{31} \text{ then } x = B_1; \\ R_2: & \text{if } e_1 = A_{12} \text{ and } e_2 = A_{21} \text{ and } e_3 = A_{31} \text{ then } x = B_1; \\ R_3: & \text{if } e_1 = A_{11} \text{ and } e_2 = A_{22} \text{ and } e_3 = A_{31} \text{ then } x = B_2; \\ \dots & \\ R_n: & \text{if } e_1 = A_{13} \text{ and } e_2 = A_{21} \text{ and } e_3 = A_{33} \text{ then } x = B_4; \\ \dots & \end{cases}$$

Количество правил в (12) в общем случае пропорционально количеству функций принадлежности, определённых для всех входных лингвистических переменных. По правилам (12) выполняются локальные нечёткие выводы C_i , функции принадлежности которых определяются как [13]:

$$(13) \quad \begin{aligned} \mu_{C_1}(x) &= \max\{\mu_{B_1}(x), \min(\mu_{A_{11}}(e_1), \mu_{A_{21}}(e_2), \mu_{A_{31}}(e_3))\}; \\ \mu_{C_2}(x) &= \max\{\mu_{B_1}(x), \min(\mu_{A_{12}}(e_1), \mu_{A_{21}}(e_2), \mu_{A_{31}}(e_3))\}; \\ \mu_{C_3}(x) &= \max\{\mu_{B_2}(x), \min(\mu_{A_{11}}(e_1), \mu_{A_{22}}(e_2), \mu_{A_{31}}(e_3))\}; \\ &\dots \\ \mu_{C_n}(x) &= \max\{\mu_{B_4}(x), \min(\mu_{A_{13}}(e_1), \mu_{A_{21}}(e_2), \mu_{A_{33}}(e_3))\}; \\ &\dots \end{aligned}$$

Функция принадлежности общего вывода C вычисляется как

$$(14) \quad \mu_C(x) = \sum_n \mu_{C_n}(x).$$

Полученная функция принадлежности (14) может рассматриваться как нормированный сигнал распределённого управляющего воздействия, тогда

$$(15) \quad U(x, p) = U_{\max} \cdot \mu_C(x).$$

Заключение

Предложен подход к построению систем автоматического управления объектами с рас-
пределёнными параметрами с использованием аппарата нечёткой логики. Подход позволяет
решать задачи, связанные с настройкой регуляторов автоматических систем, с учётом модаль-
ного представления ОРП и ограничений на пространственное распределение управляющего
сигнала.

Благодарности

Авторы признательны Дилигенской Анне Николаевне за участие в обсуждении предло-
женного подхода.

Работа выполнена при финансовой поддержке грантов РФФИ №09-08-00297-а,
№10-08-00754-а; ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на
2009–2013 годы», заявка НК-66П/11, заявка 2010-1.3.1-230-009/8; АВЦП «Развитие научного
потенциала высшей школы», проект №2.1.2/4236.

Список литературы

- [1] Кошляков Н.С., Глинер Э.Б., Смирнов М.М. Уравнения в частных производных математической физики. Учеб. пособие для мех.-мат. фак. ун-тов. М.: Высшая школа, 1970.
- [2] Бутковский А.Г. Структурная теория распределённых систем. – М., Наука, 1977.
- [3] Бутковский А.Г. Характеристики систем с распределёнными параметрами (справочное пособие). Глав. ред. физ.-мат. литературы изд-ва «Наука», М.: 1979.
- [4] Рапопорт Э.Я. Структурное моделирование объектов и систем управления с распределёнными па-
раметрами: Учеб. пособие. М.: Высш. шк., 2003.
- [5] Рапопорт Э.Я. Анализ и синтез систем автоматического управления с распределёнными параметра-
ми: Учеб. пособие. М.: Высш. шк., 2005.
- [6] Рей У. Методы управления технологическими процессами: Пер. с англ.– М.: Мир, 1983.
- [7] Данилушкин И.А. Распределённая система управления термоциклическими испытаниями элементов
газотурбинных двигателей на специализированных стендах// Вестник Самарского государственного
технического университета. Серия «Технические науки». Выпуск 13: Самара, 2001. С. 50–57.
- [8] Рапопорт Э.Я. Элементы синергетической теории управления динамическими системами с распе-
ределёнными параметрами// Проблемы управления и моделирования в сложных системах: Труды XII
Международной конференции (21-23 июня 2010 г. Самара, Россия)/ Под ред.: акад. Е.А. Федосова,
акад. Н.А. Кузнецова, проф. В.А. Виттиха. – Самара: Самарский научный центр РАН, 2010. –
С. 110–119.
- [9] Aggelogiannaki E., Sarimveis H., Koubogiannis D. Model predictive temperature control in long ducts by
means of a neural network approximation tool// Applied Thermal Engineering, Volume 27, Issues 14-15,
October 2007.– Pages 2363-2369.
- [10] Коваль В.А. Спектральный метод анализа и синтеза распределённых управляемых систем. – Сара-
тов: СГТУ, 1997.
- [11] Прикладные нечёткие системы: Пер. с япон./ К. Асаи, Д. Ватада, С. Иваи и др.: под редакцией
Т. Тэрано, К. Асаи, М. Сугэно.– М.: Мир, 1993.
- [12] Васильев С.Н., Жерлов А.К., Федосов Е.А., Федунев Б.Е. Интеллектуальное управление динамическими
системами. – М.: Физико-математическая литература, 2000.
- [13] Методы робастного, нейро-нечёткого и адаптивного управления: Учебник / Под ред. Н.Д. Егупова.–
М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002.

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ДЕТЕРМИНИРОВАННЫХ ХАОТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БАЗИСА НЕРЕГУЛЯРНЫХ ФУНКЦИЙ

А.Н. Дилигенская

Самарский государственный технический университет
443100, Самара, ул. Молодогвардейская, 244, Россия
ADiligenskaya@mail.ru
тел: +7 (846) 337-07-00

Ключевые слова: хаотический процесс, нелинейные нерегулярные колебания, разложение временного ряда, ортогональный базис, алгоритм идентификации, рекуррентный алгоритм оценивания

Abstract

The problem of identification of one-dimensional observed time series with nonlinear irregular oscillations is discussed. The model based on a linear combination of orthogonal functions is proposed. This model describes the random processes. The resulting accuracy of identification allows the use of the proposed approach in the construction of prediction algorithm.

Введение

Многие реальные сложные динамические системы при функционировании обнаруживают в своем поведении нелинейное нерегулярное движение, не связанное с влиянием каких-либо случайных факторов. Полностью детерминированные системы приобретают хаотические свойства при определенном сочетании значений своих параметров, вызывающих переход от устойчивых процессов к неустойчивым.

Фактически большинство технологических процессов, традиционно считающихся детерминированными, проявляют более сложные внутренние свойства, обусловленные нелинейными эффектами, разнообразными внутренними обратными связями, для описания которых используется математический аппарат исследования хаотических явлений, заложенный, в частности, отечественными научными школами Колмогорова А.Н., Арнольда В.И., Синая Я.Г. и другими. Хаотическое поведение в последние десятилетия обнаруживается в огромном числе различных информационных, механических, физических, химических, биологических, экономических и других реальных систем [1]. Проблеме проявления хаотических свойств детерминированными системами в последнее время уделяется много внимания, и исследование стохастичности и хаотичности динамических процессов производится на основе различных концептуальных подходов [2, 3].

Возникают конкретные инженерные прикладные задачи, где для управления системой используется изменение (уменьшение или увеличение) степени ее хаотичности, что обуславливает актуальность получения адекватного математического описания детерминированного хаотического процесса [4].

В работе решается задача идентификации одномерного наблюдаемого временного ряда со сложными нерегулярными колебаниями с помощью разложения по базису функций, задающих хаотические структуры.

1 Предлагаемый подход

Рассматривается одномерный временной ряд выборочных экспериментальных значений $y(k)$, $k = 1, 2, \dots, N$ среднесуточного теплотребления на отопление крупного муниципального

образования при качественном энергосберегающем регулировании теплоснабжения в зависимости от температуры наружного воздуха. Отпуск тепловой энергии потребителям производится по расчетному графику на основании контролируемой температуры внешней среды, имеющей явно выраженные нерегулярные колебания, соответственно влияющие и на характер графика теплопотребления (рис.1).

Реальный производственный процесс можно представить совокупностью траекторий в медленном и быстром времени. Для построения адекватных моделей целесообразно применять методы разделения движений и выделять регулярную, медленную составляющую и быстроменяющуюся, сингулярную составляющую. После выделения регулярной трендовой составляющей получен ряд остатков, подлежащий идентификации (рис.2).

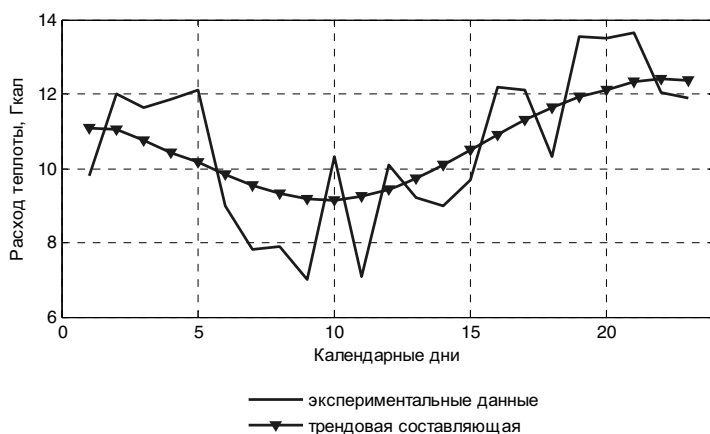


Рисунок 1 – Среднесуточное теплопотребление при регулировании в зависимости от температуры наружного воздуха

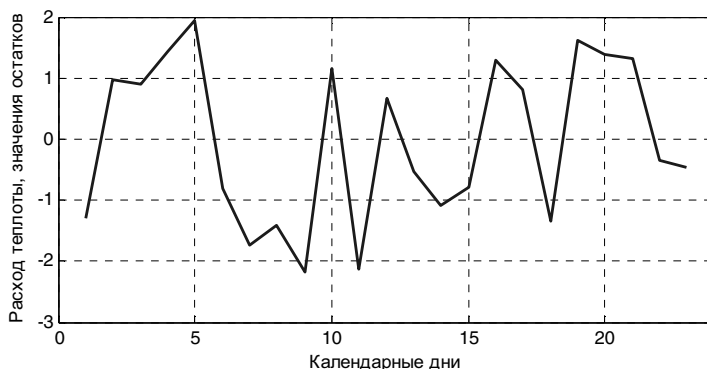


Рисунок 2 – Временной ряд значений остатков после выделения трендовой составляющей

Наиболее распространенный подход - рассматривать остатки как случайный, нормально распределенный процесс, что не всегда соответствует действительности. Корреляционная функция таких рядов зачастую нехарактерна для нормально распределенных процессов, спектральная плотность ряда имеет значительные пики.

Анализ идентифицируемого временного ряда осуществляется на основании основных показателей хаотических процессов [5] и показывает на присутствие в нем т.н. антиперсистентных составляющих - составляющих, содержащих хаотические компоненты, в которых отсут-

ствуют долговременные корреляции между событиями в прошлом и будущем. В соответствии с этим, для качественной идентификации рассматриваемого процесса необходимо использовать модельное описание, учитывающее специфику нерегулярного поведения объектов.

Модель хаотического процесса $y_M(k) = F(x, k)$ задается в виде разложения

$$(1) \quad F(x, k) = C(k) \cdot \Phi(x) = \sum_{i=0}^m c_i(k) \varphi_i(x, k)$$

по определенной системе функций $\Phi(x) = [1 \quad \varphi_1(x) \quad \dots \quad \varphi_m(x)]^T$, удовлетворяющих условиям ортогональности.

Соответственно, задача идентификации процесса с нерегулярной динамикой сводится к этапу структурной идентификации - определению системы базисных функций $\Phi(x)$ и их количества m - и этапу параметрической идентификации - определению коэффициентов разложения $C = [c_0(k) \quad c_1(k) \quad \dots \quad c_m(k)]$, минимизирующих среднеквадратичную ошибку аппроксимации исходных данных линейной комбинацией выбранных базисных функций $\Phi(x)$. На этом этапе решается задача оптимизации:

$$(2) \quad \sum_{k=1}^N [y(k) - C(k) \cdot \Phi(k)]^2 \rightarrow \min_C.$$

2 Выбор базиса системы

Для создания эффекта детерминированного хаоса нужно получить разложение наблюдаемого сигнала $y(k)$ по базису $\Phi(k) \in R^m$ функций, обладающих требуемым поведением, характеризующимся ограниченными непериодическими колебаниями. Такими свойствами обладают разные типы моделей известных хаотических процессов, например, класс функций, заданных неявно [6, 7]

$$(3) \quad x(k+1) = \Phi(x(k)), \quad k = 0, 1, 2, \dots, N-1.$$

В качестве базисных функций были использованы уравнения, относящиеся к типу логистических отображений [1, 8] (уравнения на базе модели Ферхюльста в дискретном времени k), описывающие как периодические, так и хаотические колебания в зависимости от значений управляющих параметров α и β :

$$(4) \quad x(k+1) = \alpha x(k) \cdot \left(1 - \frac{1}{\beta} \cdot x(k)\right), \quad k = 0, 1, 2, \dots, N-1.$$

Данная модель (4) представляет сочетание двух конкурирующих процессов, один из которых определяет бурный рост выходной величины, вызывающий образование принципиально новых структур, увеличение их сложности, в итоге приводящий к росту многообразия и, соответственно, влекущий нестабильность, неустойчивость процессов, и, второй, наоборот, задает спад, уменьшение скорости роста из-за ограничений на поведение, вызывающий распад структур системы и влекущий упорядочивание протекающих процессов. На интервале изменения $3.570 \leq \alpha < 4$ при $\beta = 1$ наблюдается хаотическое поведение системы [1], обладающее сверхчувствительностью к малым изменениям параметров, а также начальных условий $x(0)$, и приводящее к существенным отличиям во временных траекториях системы, в соответствии с чем, различные варианты сочетания α, β и $x(0)$ позволяют использовать широкие возможности для поиска базисных функций, максимально удовлетворяющих требуемым условиям среди возможных многообразий.

Параметры уравнений и начальные условия выбираются из условия ортогональности функций [9], исходя из которого, в случае линейной независимости векторов, корреляция между ними отсутствует:

$$(5) \quad |R(x_i(k), x_j(k))| < \delta, \quad i, j = 1, \dots, m, \quad \forall i \neq j; \quad k = 1, 2, \dots, N,$$

где $R(x_i(k), x_j(k))$ – коэффициент взаимной корреляции исследуемых процессов, а $\delta = 0.1$ рассматривается как допустимая погрешность вычисления коэффициента корреляции на ограниченном временном интервале.

Другим необходимым условием является максимальная коррелированность базисных функций с исходным временным рядом $y(k)$:

$$(6) \quad |R(x_i(k), y(k))| \rightarrow \max_{\alpha_i, \beta_i, x_i(0)}, \quad i = 1, \dots, m; \quad k = 1, 2, \dots, N.$$

В соответствии с этим, для разложения наблюдаемого временного ряда был создан базис из $m = 2$ функций

$$(7) \quad \Phi = [1 \quad x_1(k) \quad x_2(k)]^T,$$

где $x_i(k)$, $i = 1, 2$ определяются согласно (4), а их параметры и начальные условия максимально удовлетворяют заданным требованиям (5), (6). Вследствие нелинейной зависимости выходной величины от управляющих параметров и начальных условий, поиск конкретных значений $\alpha_i, \beta_i, x_i(0)$, $i = 1 \dots m$ осуществляется численными методами и является самостоятельной задачей.

3 Реализация адаптивного алгоритма оценивания

Так как наблюдаемая выходная величина характеризуется нерегулярным поведением, то для достижения максимальной адекватности наблюдаемому процессу решено идентифицировать экспериментальные данные моделью в виде линейной комбинации базисных функций с нестационарными параметрами $C(k)$. Кроме того, оценивание параметров разложения сигнала по базисным функциям (7) происходит в условиях действия аддитивной помехи

$$(8) \quad y(k) = C(k) \cdot \Phi(k) + \eta(k),$$

в соответствии с чем, для идентификации меняющихся коэффициентов необходимо использовать рекуррентную процедуру адаптивного алгоритма оценивания, где оценки параметров на каждом последующем шаге корректируются с учетом ошибки оценивания, рассматриваемой как разность между фактическим значением и основанным на предыдущих наблюдениях предсказанием

$$(9) \quad e(k) = y(k) - C(k) \cdot \Phi(k).$$

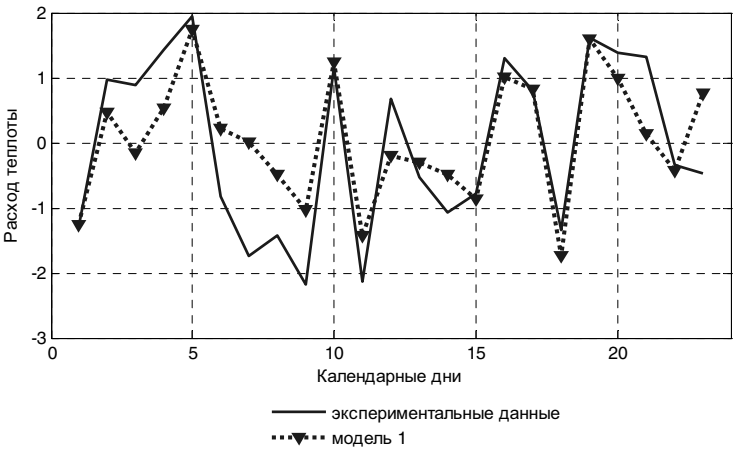
В случае выбранной линейной по параметрам модели (8) такая процедура параметрической идентификации не вызывает трудностей.

4 Результаты реализации

Предложенный алгоритм был апробирован на реальных экспериментальных данных среднесуточного теплопотребления муниципального предприятия на интервале из $N=24$ фактических значений. Разложение наблюдаемого процесса проведено по базису из двух функций класса (4), для них найдены значения параметров отображений и начальных условий $\alpha_i, \beta_i, x_i(0)$, $i = 1, 2$, при которых коэффициент взаимной корреляции между базисными функ-

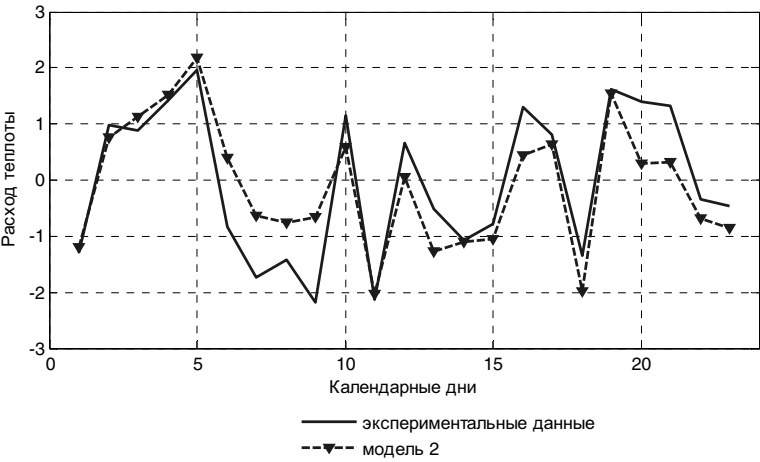
циями $\left| R(x_1(k), x_2(k)) \right| \approx 0.055$, при максимально достижимой корреляции самих функций с наблюдаемым временным рядом $\left| R(x_1(k), y(k)) \right| \approx 0.42$ и $\left| R(x_2(k), y(k)) \right| \approx 0.53$.

Реализован алгоритм оценки нестационарных коэффициентов разложения, на основании которых проведена аппроксимация экспериментальных значений.



$$\alpha_1 = 3.825...; \alpha_2 = 3.94...; \beta_1 = 1; \beta_2 = 1; x_1(0) = 0.43...; x_2(0) = 0.698...$$

а



$$\alpha_1 = 3.825...; \alpha_2 = 3.94...; \beta_1 = 100...; \beta_2 = 1; x_1(0) = 0.43...; x_2(0) = 0.698...$$

б

Рисунок 3 – Наблюдаемый временной ряд и его аппроксимация

Решение модельных примеров показывает достаточно высокое качество идентификации на временных интервалах небольшой длительности.

Анализ результатов показывает огромное многообразие и большие возможности для построения моделей хаотических процессов в рамках предложенного класса базисных функций. Надлежащий выбор параметров и начальных условий базисных уравнений во многом определяет результат идентификации. Например, изменением только параметра β_1 одного из логи-

стических отображений при прочих равных параметрах и начальных условиях, в обоих случаях удовлетворяющих заданным требованиям (5), (6) (рис.3), возможно получить различные формы аппроксимирующей кривой при приблизительно одинаковой точности идентификации 83% и 86% соответственно для модели 1 (рис.3,а) и модели 2 (рис.3,б).

Повысить точность аппроксимации можно включением в базис разложения дополнительной функции, решение о такой возможности принимается на основании анализа показателей хаотических процессов [5].

Заключение

Полученные результаты показывают достаточно высокую точность оценивания процессов, содержащих нелинейные нерегулярные составляющие.

Предложенный подход может быть использован для прогнозирования хаотической составляющей реальных производственных процессов с высоким уровнем шума с целью уменьшения ошибки прогнозирования.

Список литературы

- [1] Неймарк Ю.И., Ланда П.С. Стохастические и хаотические колебания. - М.: Наука, 1987.
- [2] Fradkov A.L., Evans R.J. Control of Chaos: Survey 1997-2000/ Preprints of 15th Triennial World Congress IFAC. Plenary papers, Survey papers, Milestones. Barcelona. 2002. P.143-154.
- [3] Синай Я.Г. Современные проблемы эргодической теории. – М.: Наука, 1995.
- [4] Андриевский Б.Р., Фрадков А.Л. Управление хаосом: Методы и приложения. Часть II. Приложения. - АиТ. 2004 (4), с.3-34.
- [5] Дубовиков М.М., Крянев А.В., Старченко Н.В. Размерность минимального покрытия и локальный анализ фрактальных временных рядов. – Вестник РУДН, 2004. Т.3 №1. С.81-95.
- [6] Чернов В.М. Арифметические методы синтеза быстрых алгоритмов дискретных ортогональных преобразований. –М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007.
- [7] Ширяев В.И. Финансовые рынки: Нейронные сети, хаос и нелинейная динамика. – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2009.
- [8] Малинецкий Г.Г. Хаос. Структура. Вычислительный эксперимент. – М.: Наука, 1997.
- [9] Шелудько А.С., Ширяев В.И. Прогнозирование временных рядов с помощью разложения по базису из хаотических процессов. Материалы XI всероссийского симпозиума «Стратегическое планирование и развитие предприятий». М.: ЦЭМИ РАН, 2010, №2.С.103-104.

АНАЛИЗ МНОГОСВЯЗНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ С НЕЛИНЕЙНОЙ КОРРЕКЦИЕЙ ПОДСИСТЕМ

Б.Г. Ильясов, Г.А. Сaitова, И.И. Сабитов

Уфимский государственный авиационный технический университет

450000, 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: нелинейные корректирующие устройства, логический закон, перерегулирование, время регулирования, МСАУ

Abstract

This paper describes the analysis MSAU using nonlinear corrective devices and application of nonlinear logical laws to improve the quality of transients.

1 Актуальность

Во многих практических случаях возникает необходимость автоматизировать не только отдельные объекты, процессы и операции, но и большие сложные комплексы, включающие в себя несколько подсистем, взаимодействующих друг с другом. Характерными свойствами таких систем являются нелинейность, многомерность, многосвязность и многофункциональность, т.е. в процессе нормальной работы возможность изменения как компоновки системы, так и динамических свойств самих сепаратных подсистем [1]. Примерами таких современных сложных систем являются САУ ГТД, энергетические комплексы, системы регулирования напряжения и частоты синхронных генераторов и так далее. Основная трудность при этом заключается в обеспечении устойчивости и желаемого качества функционирования как МСАУ в целом, так и её сепаратных подсистем на различных рабочих режимах. Поэтому достижение желаемого качества функционирования многосвязной системы является актуальной. В статье для решения данной проблемы предлагается использовать нелинейное логическое корректирующее устройство с переменной структурой.

Постановка задачи

Рассмотрим многосвязную систему (рис.1.), которая описывается уравнением:

$$(1) \quad \begin{aligned} Y(s) &= U(s)W_{об}(s) \\ U(s) &= R_{нл} [X(s) - Y(s)] \end{aligned}$$

где $U(s), X(s), Y(s)$ – соответственно векторы управляющих, задающих и управляемых координат, $R_{нл}(s) = \text{diag}\{R_{нл1}(s), R_{нл2}(s), \dots, R_{нлn}(s)\}$ – нелинейное логическое корректирующее устройство, $W_{об}(s)$ – $(n \times n)$ -матричная передаточная функция объекта управления.

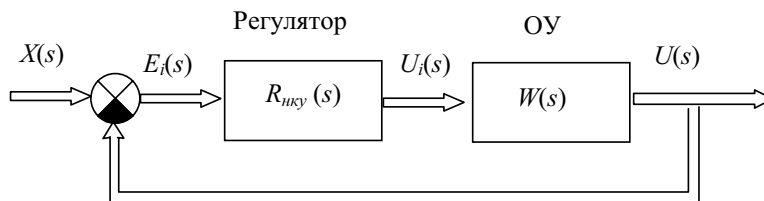


Рисунок 1 – Структурная схема МСАУ

Требуется получить нелинейный логический алгоритм управления, обеспечивающий желаемое качество функционирования многосвязной системы.

2 Нелинейное корректирующее устройство с переменной структурой

Схема корректирующего устройства с переменной структурой, реализующего пропорциональный алгоритм: $u(t) = K\varepsilon(t)$, представлена на рис. 2. Здесь z_1 и z_2 – выходные сигналы с логического устройства (ЛУ), K_1 – коэффициент ускорения сигнала, K_2 – коэффициент замедления сигнала, причем $K_1 > K_2$, ε – ошибка системы, а ε' – производная от ошибки.

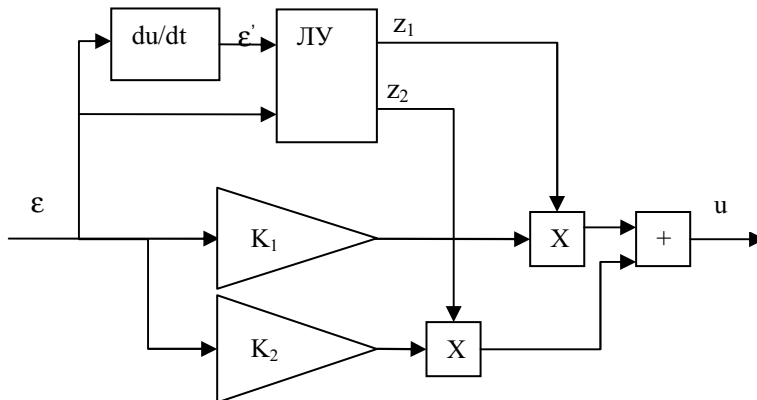


Рисунок 2 – Нелинейного корректирующего устройства с переменной структурой

Соответствующим подбором коэффициентов K_1 и K_2 можно достичь высокого быстродействия при достаточно малом перегулировании. Переключения коэффициентов K_1 и K_2 происходят при определенных соотношениях ошибки ε и ее производной ε' , а не при их фиксированных значениях. Эти соотношения задаются логическим алгоритмом управления:

$$(2) \quad f(\varepsilon, \varepsilon') = \begin{cases} K_1, & \text{если } (|\varepsilon'| \geq |\varepsilon| \cup |\varepsilon| < A) \cap |\varepsilon| > B \cap (\varepsilon\varepsilon' < 0) \\ K_2, & \text{если } (|\varepsilon'| < |\varepsilon| \cup |\varepsilon| \geq A) \cap |\varepsilon| \leq B \cap (\varepsilon\varepsilon' > B) \cup (\varepsilon\varepsilon' \geq 0) \end{cases}$$

Сигнал z_1 равный единице включает ускоряющее звено с коэффициентом K_1 , а сигнал z_2 равный единицы включает замедляющее звено с коэффициентом K_2 . Реализованный закон управления основан на логическом законе, предложенном в работе [2] М.В. Стариковой. Но логический закон М.В. Стариковой не учитывает условия, когда производная от ошибки ε' изменяется очень медленно, а также ситуации, когда логический закон срабатывает в трубку точности и приводит к возрастанию перегулирования. Параметры A и B представляют собой

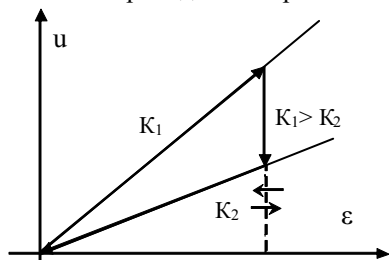


Рисунок 3

регуляционные параметры, которые позволяют избежать данные проблемы, они изменяются в пределах от 0 до $\max(\varepsilon)$ и удовлетворяют условиям $A+B=\max(\varepsilon)$ и $A>B$. Значение параметра A наиболее эффективно в пределах $[0,95 \cdot \max(\varepsilon); \max(\varepsilon)]$ при допустимой ошибке 5%, а значение параметра B соответственно в пределах $[0; 0,05 \cdot \max(\varepsilon)]$. Таким образом, с помощью параметра B задается начальное значение ошибки ε , при которой сработает логический закон и подключается ускоряющее звено с коэффициентом K_1 , а с помощью параметра A задается значение ошибки, при которой сработает логи-

ческий закон и подключается замедляющее звено с коэффициентом K_2 , что позволяет исключить перерегулирование. Характеристика нелинейного корректирующего устройства представлена на рис. 3.

Рассмотрим в качестве примера трехсвязную систему управления, которая описывается уравнением (1), где

$$W_{06}(s)=\frac{1}{s(T_1s+1)}\begin{bmatrix}h_{11}&h_{21}&h_{31}\\h_{12}&h_{22}&0\\h_{13}&0&h_{33}\end{bmatrix}=\frac{1}{s(0.1s+s)}\begin{bmatrix}2&1&1\\-1&2&0\\-1&0&2\end{bmatrix}$$

Требуемые показатели качества: время регулирования $t_p \leq 0,5с$, перерегулирование $\sigma \leq 5\%$, первое достижение нулевого значения ошибки $t_{ош} \leq 0,5-1с$.

Рассмотрим переходные процессы в системе по каждому каналу без корректировки и с корректировкой рис. 4(а,б).

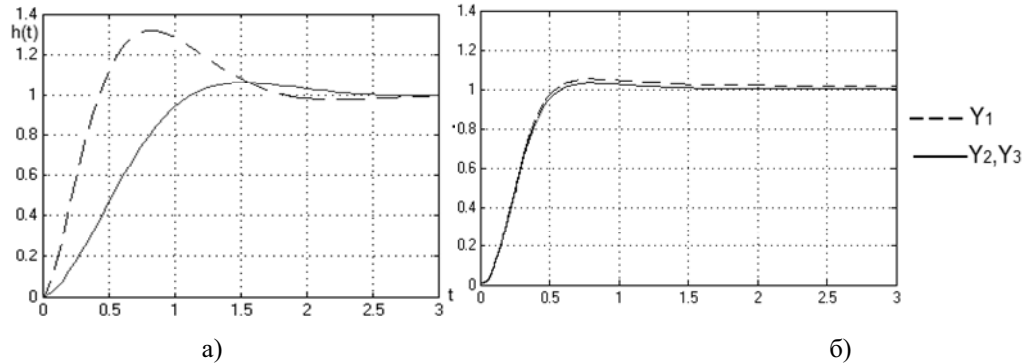


Рисунок 4 – Переходные процессы нескорректированной системы (а) и скорректированной системы (б)

На рис. 4(а) переходный процесс на выходе первой подсистемы Y_1 имеет показатели качества: $t_p \approx 1.6 с.$, $\sigma \approx 32\%$, $t_{ош} \approx 0.43с$; на выходах второй и третьей подсистем Y_2 и Y_3 : $t_p \approx 1 с.$, $\sigma \approx 5\%$, $t_{ош} \approx 1.13 с$. Как видим, данные показатели качества являются неудовлетворительными.

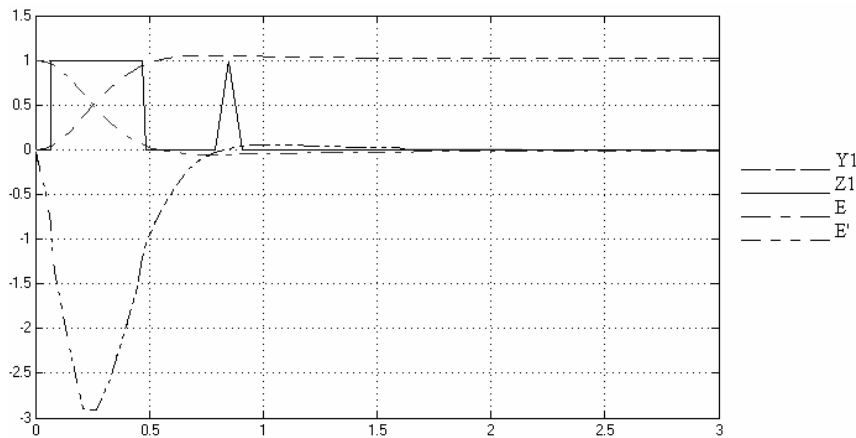


Рисунок 5 – Переходный процесс первой системы и выполнение логического закона для этой системы

Рассмотрим скорректированную систему. Для первой подсистемы $K_1=0.03$ и $K_2=0.01$, для второй и третьей подсистем $K_1=2.4$ и $K_2=1$.Переходный процесс первой подсистемы и выполнение логического закона для нее представлены на рисунке 5.

Переходные процессы для второй и третьей подсистем и выполнение логического закона для них представлены на рисунке 6.

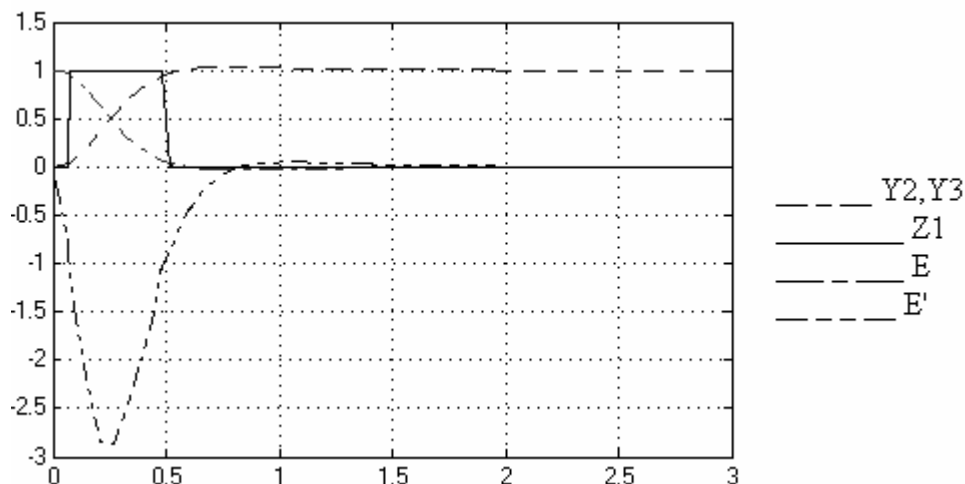


Рисунок 6 – Переходный процесс второй и третьей системы и выполнение логического закона для данных систем

3 Вывод

Таким образом, использование нелинейного логического корректирующего устройства позволяет улучшить показатели качества системы. В приведенном примере трехсвязной САУ время регулирования первой подсистемы уменьшилось в 3.8 раза (с 1.6с. до 0.42с.), перерегулирование уменьшилось в 6.4 раза (с 32% до 5%). Время регулирования второй и третьей подсистем уменьшилось в 2.33 раза (с 1с. до 0.43с), перерегулирование уменьшилось в 1.25 раза (с 5% до 4%).

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (гранты № 09-08-00490-а, № 11-08-00871-а)

Список литературы

- [1] Бесекерский В.А., Попов Е.П., Теория систем автоматического регулирования: учебное пособие для вузов. Изд. 4-е, перераб. и доп.- СПб. : Профессия, 2007 г.
- [2] Старикова М.В., Исследование автоматических систем с логическими управляющими устройствами. – М.: Машиностроение, 1978 г.

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ МАКРОЭКОНОМИЧЕСКОГО КРУГООБОРОТА ФИНАНСОВЫХ ПОТОКОВ С УЧЕТОМ ВЗАИМОСВЯЗАННОГО ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ РЫНКОВ БЛАГ, ТРУДА И ДЕНЕГ

Б.Г. Ильясов, И.В. Дегтярева, Е.А. Макарова, А.Н. Павлова, Т.А. Карташева

Уфимский государственный авиационный технический университет

450000, Уфа, ул. К. Маркса, 12, Россия

ea-makarova@mail.ru, palova.ugatu@gmail.com

тел: +7 (347) 273-78-35, факс: +7 (347) 273-78-35

Ключевые слова: макроэкономическая система, рыночный механизм, кругооборот финансовых потоков, когнитивная модель, динамическая модель

Abstract

The cognitive model of the macroeconomic system functioning regarding goods, labor and money markets is presented. This article shows the characteristics of the dynamics of interaction of macroeconomic goods, labor and money markets. The dynamic model of money market functioning shows the dynamics of the interest rate formation. The results of experimental research of the controlled and uncontrolled scenarios considering behaviour of the macroeconomic system are discussed.

Введение

Развитие мирового финансового кризиса усиливает потребности в исследованиях механизмов кредитно-денежной политики как инструмента макроэкономического регулирования. В связи с этим особенно актуальными становятся системные исследования высокودинамичных процессов функционирования банковского сектора и их влияния на макроэкономическую систему в целом [1-3]. Цель проводимых исследований заключается в моделировании динамики макроэкономического кругооборота в неравновесных условиях взаимосвязанного функционирования рынков благ, труда и денег. Решаемые задачи состоят в разработке когнитивной и динамических моделей процесса функционирования макроэкономической системы (МЭС) в неравновесных рыночных условиях, а также в проведении экспериментальных исследований динамики формирования финансовых потоков секторами экономики под влиянием регулирующего воздействия взаимосвязанного изменения уровней цен, заработной платы и ставки процента. Результатами проводимых исследований являются динамические модели и программное обеспечение информационно-аналитической системы имитационного моделирования процесса функционирования МЭС с учетом макроэкономических рынков.

1 Когнитивная модель макроэкономического кругооборота финансовых потоков МЭС с учетом рынков благ, труда и денег

Когнитивная модель макроэкономического кругооборота финансовых потоков МЭС с учетом макроэкономических рынков включает в себя семь концептов: четыре макроэкономических агента (МЭА), в роли которых выступают: реальный сектор (фирмы), сектор домохозяйств (население), секторы финансовых и государственных учреждений, а также макроэкономические рынки благ, труда и денег (рис. 1). Связями являются финансовые потоки (сплошные линии); информационные сигналы о запасах и рыночных ценах (штриховые линии); материальные потоки (штрихпунктирные линии).

Разработка когнитивной модели выполняется на основе принципа последовательного усложнения поточно-запасной модели путем включения в нее, во-первых, рынка благ, регулирующего функционирование основного, системообразующего контура «производство-потребление»; во-вторых, рынка труда, также регулирующего контур «производство-потребление»; в-третьих, рынка денег, который оказывает воздействие на функционирование корректирующего контура «инвестиции-сбережения» [4]. При этом роль рынка благ состоит в аккумулировании основных финансовых потоков потребления и накопления, а также в формировании уровня цен как фактора, регулирующего процесс обмена благ и денег на динамически неравновесных режимах. Роль рынка труда, находящегося в зависимом от рынка благ положении, состоит в формировании информационных показателей уровня безработицы и заработной платы, характеризующих социальное благополучие МЭС и регулирующих планы поведения реального сектора и сектора домохозяйств на динамически неравновесных режимах. Роль рынка денег, тесно взаимодействующего с рынком благ, состоит в формировании ставки процента как информационного регулирующего фактора, воздействующего на инвестиционный спрос как самый динамичный компонент совокупного спроса.

Рисунок 1 – Когнитивная модель макроэкономического кругооборота финансовых потоков МЭС с учетом макроэкономических рынков

Во-первых, исследуется движение макроэкономических рынков на множестве неравно-
весных состояний, при которых спрос не равен предложению. Движение макроэкономическо-

го рынка на множестве неравновесных состояний предполагает взаимообусловленное изменение цены, спроса и предложения и имеет тенденцию движения в сторону равновесия за счет механизма самовывравнивания спроса и предложения. Динамические особенности такого взаимосвязанного изменения определяются степенью чувствительности (эластичностью) спроса и предложения к изменению цен.

Во-вторых, существует необходимость четкого разграничения экономических величин, имеющих размерности потоков и запасов, а также правильного их согласования в рамках действия рыночного механизма. Такая проблема становится особенно важной при совмещении рыночных механизмов регулирования финансовых потоков с механизмами их корректировки по запасам секторов.

В-третьих, существует необходимость учета таких ситуаций на рынке, когда происходит потеря способности рынка к самовывравниванию. Примером являются особые ситуации возникновения ликвидной или инвестиционной «ловушек» при реализации мер кредитно-денежной политики [5].

Спрос и предложение на макроэкономических рынках могут иметь как размерности потоков, так и запасов; при этом они должны быть соразмерными. Для рынка благ совокупный спрос $\dot{A}d$ и совокупное предложение $\dot{A}s$ являются потоковыми величинами, при этом совокупный спрос $\dot{A}d$ является *финансовым потоком* и отображается на модели потоковой связью, представленной утолщенной линией, а совокупное предложение $\dot{A}s$ является *встречным материальным потоком*, исчисленным в стоимостном выражении, и отображается специальной информационной связью в виде штрихпунктирной линии. Рынок труда характеризуется взаимодействием спроса на труд Nd и предложения труда Ns как запасных величин, учитываемых в модели в виде информационных связей. Функционирование рынка денег основано на взаимодействии спроса на деньги Md и предложения денег Ms также представляющих собой запасные величины, поэтому в модели эти связи аналогично спросу Nd и предложению Ns на рынке труда имеют информационный характер, как и в случае управления по запасам, и изображены штриховой линией. Таким образом, «запасные» по своей природе макроэкономические рынки не являются местом взаимодействия потоков, а предназначены только для формирования информации о состоянии рынка и последующей корректировки потоков на ее основе.

2 Функциональные схемы динамических моделей макроэкономического кругооборота финансовых потоков МЭС с учетом рынков благ, труда и денег

На основе когнитивной модели построена функциональная схема динамической модели МЭС с учетом макроэкономических рынков (рис. 2). На схеме выделено семь динамических моделей: модели $A1-A4$ функционирования секторов экономики и модели $A5-A7$ функционирования рынков благ, труда и денег. Сохранено деление всех связей на финансовые потоки, информационные связи и материальные потоки.

Модель $A1$ описывает функционирование реального сектора экономики, который выполняет следующие функциональные процессы: производства ВВП с темпом $\dot{Y}$ на основе планируемых расходов $\dot{Y}^0$ с учетом потребностей в трудовых ресурсах; распределения ВВП (ВВП по доходам $\dot{Y}_{inc}$) на потоки с темпами формирования $\dot{R}l$ заработной платы и формирования налогов $\dot{T}r$ на производство и импорт и формирования валовой прибыли $\dot{P}g_{12}$, выплаченной в виде доходов владельцам факторов производства; формирования совокупного предложения $\dot{A}s$ с учетом планируемых темпов использования ТМЗ $\dot{Y}^0_{inv}$; формирования текущих инвестиционных расходов $\dot{I}b$ на основе использования собственных инвестиционных средств с планируемым темпом $\dot{I}^0_{11}$ и заемных средств с темпом $\dot{I}$; получения доходов по результатам

обмена на рынке благ с темпом $\dot{Rev}$ и пополнения товарно-материальных запасов с темпом $\dot{As}_{un}$ в ситуациях избыточного предложения. Отметим еще одну особенность модели *A1* функционирования реального сектора, которая состоит в усложнении процесса планирования расходов в связи с возможностью реагирования на рыночные индикаторы. В модели введены дополнительные этапы корректировки производственных планов, которые обратно пропорциональны динамической составляющей цены P_{dyn} и относительной величине dW роста ставки заработной платы. Корректировка ставки заработной платы приводит к изменениям воспроизводственных пропорций при распределении ВВП, что учитывается с помощью коэффициента k_{rlc} .

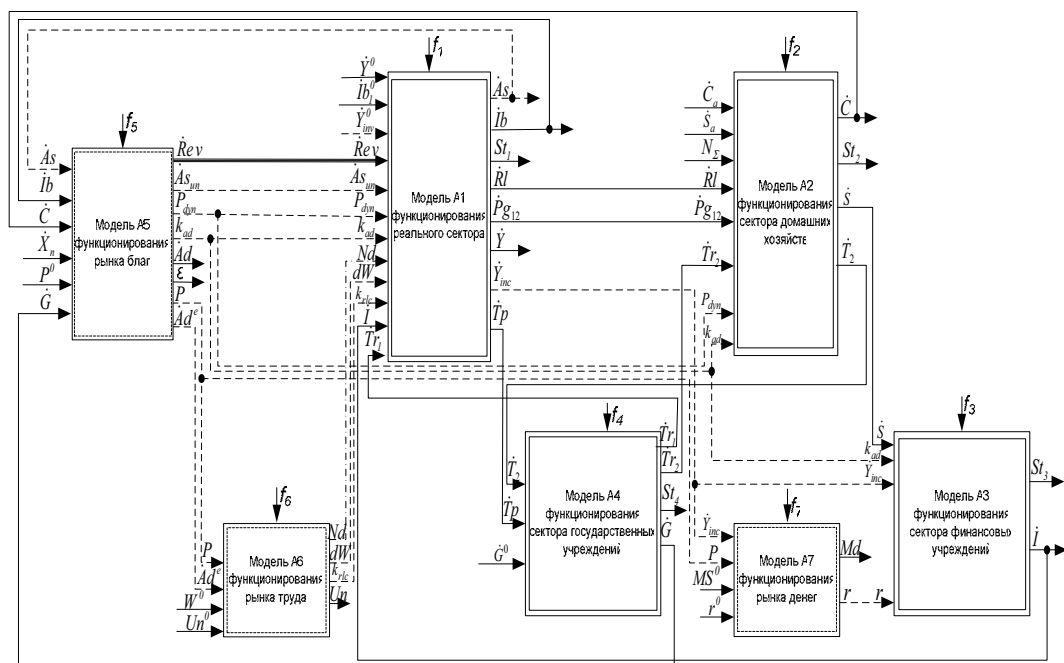


Рисунок 2 – Функциональная схема динамической модели функционирования МЭС в неравновесных условиях рынков благ, труда и денег

Модель *A2* предназначена для описания функционирования сектора домохозяйств, которые с учетом своих доходов в виде заработной платы $\dot{Rl}$ и части валовой прибыли $\dot{Pg}_{12}$ формируют темпы потребления $\dot{C}$, сбережений $\dot{S}$ и выплаты налогов $\dot{T}_2$. Планы по формированию расходов вычисляются согласно кейнсианской концепции на основе плановых темпов: автономного потребления $\dot{C}_a$, автономных сбережений $\dot{S}_a$ для сектора домохозяйств. Особенности модели *A2* состоят: во-первых, в дополнительной корректировке планов формирования расходов на потребление $\dot{C}_a^0$ на основе информации о динамической составляющей цены P_{dyn} ; во-вторых, в корректировке фактических темпов расходов на потребление с помощью коэффициента k_{ads} , которая необходима в ситуациях дефицита.

Модель *A3* описывает функционирование финансовых учреждений, в процессе которого на основе полученных доходов в виде сбережений $\dot{S}$ и с учетом информации о планируемых автономных инвестициях $\dot{I}_a^0$ формируются расходы в виде инвестиций $\dot{I}$, передаваемых ре-

альному сектору. Особенностью модели $A3$ является учет влияния текущего дохода $\dot{Y}_{inc}$ и текущей ставки процента r при формировании спроса на инвестиции $\dot{I}$.

Модель $A4$ описывает функционирование государственных учреждений, которые формируют доходы в виде налогов от реального сектора $\dot{T}_p$ и от домохозяйств $\dot{T}_2$ и расходы в виде госзакупок $\dot{G}$ и трансфертов реальному сектору $\dot{T}_1$ и сектору домохозяйств $\dot{T}_2$.

Модель $A5$ предназначена для описания процесса функционирования рынка благ и предназначена, во-первых, для формирования текущего уровня цен P как суммы статической P^0 и динамической составляющей P_{dyn} ; и, во-вторых, для вычисления корректирующих коэффициентов k_{ad} , необходимого для определения фактических расходов на потребление и k_{as} , необходимого для определения реализованных благ. Особенностью модели $A5$ является определение эффективного спроса $\dot{A}d^e$ при движении МЭС на множестве динамически неравновесных состояний, необходимого для определения спроса на труд Nd .

Модель $A6$ предназначена для формирования текущего уровня занятости N , уровня безработицы Un , а также для вычисления значений корректирующего коэффициента k_{rle} и изменений ставки заработной платы dW . Входной информацией модели является: численность экономически активного населения Ns , определяющая предложение труда; текущий уровень цен P , корректирующий текущий спрос на труд Nd ; и эффективный спрос $\dot{A}d^e$, служащий информацией о предполагаемой потребности в труде с учетом тенденций движения рынка благ на неравновесных режимах. Необходимой для задания базового начального состояния МЭС является информация о номинальной ставке заработной платы W^0 и об уровне естественной безработицы Un^0 . Особенностью модели является отсутствие статической и динамической составляющих цены труда (ставки заработной платы) по причине относительной жесткости заработной платы и неспособности рынка труда обеспечить равновесие.

Модель $A7$ предназначена для описания процесса функционирования рынка денег на основе информации о текущем предложении денег Ms , а также текущего уровня цен P и текущего дохода $\dot{Y}_{inc}$, определяющего спрос на деньги Md . Формирование текущей ставки процента r ориентировано на возможные применения ставки рефинансирования $r^0(t)$ и динамической составляющей r_{dyn} . Ставка процента r оказывает влияние на ожидания инвесторов и формирование ими планов инвестирования. Подробное описание динамической модели функционирования рынка денег представлено далее.

3 Особенности построения динамической модели функционирования рынка денег

Моделирование и анализ закономерностей функционирования рынка труда ведется на основе кейнсианской концепции занятости с учетом современных теорий рынка труда [6]. Динамическая модель функционирования рынка денег встроена в существующую модель функционирования МЭС с учетом рынков благ и труда [7].

При построении модели принято, что ставка процента r , как рыночная цена денег, рассматривается в виде суммы статической (базовой) и динамической составляющих. Статическая составляющая ставки процента соответствует ставке рефинансирования, в модели существует возможность ее корректировки в процессе принятия решений при реализации денежно-кредитной политики. Динамическая составляющая цены r_{dyn} отражает изменения текущей ставки процента относительно базовой (статической) r^0 в сторону увеличения или уменьшения и поэтому может иметь как положительный знак, так и отрицательный. Регулирующее влияние рыночной ставки процента на поведение МЭА, формирующих спрос на деньги, оказывает именно изменение ставки процента, а не ее абсолютный уровень. Поэтому в качестве

информационной связи, регулирующей спрос на деньги, рассматривается динамическая составляющая цены r_{dyn} .

Сформулированы следующие функции рынка денег, рассматриваемые при динамическом моделировании МЭС.

Во-первых, это аккумулирующая функция, которая заключается в определении спроса на деньги со стороны всех секторов МЭС с учетом различных мотивов предпочтения ликвидности и в интегрировании всех составляющих спроса в единую зависимость. Определение единого спроса на деньги является важным фактором для Центрального банка при принятии им решений в области денежно-кредитной политики.

Во-вторых, это функция формирования рыночной ставки процента r как цены денег на основе взаимодействия спроса на деньги Md и предложения денег MS на динамически неравновесных режимах.

В-третьих, это регулирующая функция, которая состоит в обратном влиянии ситуации на рынке денег на поведение секторов МЭС при формировании ими спроса на деньги и инвестиционного спроса.

Реализация первой функции рынка денег предполагает построение единой функциональной зависимости спроса на деньги Md как запаса платежных средств, которые хотят иметь в своем распоряжении экономические субъекты, от множества факторов, которыми они руководствуются при решении этого вопроса.

В соответствии с кейнсианской теорией предпочтения ликвидности выделяют три мотива, на основе которых формируется спрос на деньги Md : транзакционный мотив, мотив предосторожности и спекулятивный мотив [8].

Согласно транзакционному мотиву спрос на деньги предъявляется для свершения сделок. Это есть операционный или транзакционный спрос на деньги, который связан прямой пропорциональной зависимостью с совокупным доходом $\dot{Y}_{inc}$ (или темпом выпуска ВВП). Предъявителями транзакционного спроса на деньги являются все макроэкономические агенты, участвующие в процессе обмена.

Величина спроса на деньги, связанная с мотивом предосторожности и обусловленная необходимостью иметь денежный запас для реагирования на изменение рыночной конъюнктуры, также прямо пропорциональна текущему доходу $\dot{Y}_{inc}$. Поскольку спрос на деньги для сделок и спрос на деньги по мотиву предосторожности зависит от одной и той же величины (совокупных доходов $\dot{Y}_{inc}$), то эти два компонента спроса на деньги объединяют в один – транзакционный спрос на деньги.

Спекулятивный мотив спроса на деньги связан с принятием решений экономическими субъектами о формировании портфеля различных финансовых инструментов с учетом их доходности. Хранение денег в виде наличности всегда связано с определенными издержками, которые равны проценту, который можно было бы получить, если бы на эту сумму приобрести какой-либо финансовый актив, приносящий доход. Процентная ставка r представляет собой альтернативную стоимость хранения денег в виде наличности. Чем выше ставка процента r , тем больше издержки хранения наличности и, следовательно, меньше спрос на деньги Md . Спекулятивная составляющая спроса на деньги, таким образом, обратно пропорциональна ставке процента r .

На основе перечисленных выше компонентов и в соответствии с кейнсианской моделью, совокупный спрос на деньги должен быть сформирован в аддитивной форме:

$$(1) \quad Md = k_{my} \cdot \dot{Y}_{inc} - k_{md} * r ,$$

где k_{my} и k_{md} – коэффициенты, характеризующие эластичности спроса на деньги Md по доходу и процентной ставке соответственно. Представленная зависимость (1) интегрирует спрос на

деньги со стороны всех макроэкономических агентов и учитывает все составляющие, сформированные по различным мотивам поведения МЭА.

Реализация второй функции рынка денег предполагает формирование дифференциального уравнения, описывающего взаимосвязанные изменения во времени совокупного спроса на деньги Md , совокупного предложения денег Ms и ставки процента r .

На денежном рынке существует целая система процентных ставок, среди которых особое место занимает ставка рефинансирования, устанавливаемая и регулируемая Центральным банком. Ставка рефинансирования по своему значению занимает промежуточное положение. С одной стороны, она превосходит ставку процента по депозитам и ставку процента по государственным облигациям. С другой стороны, ставка рефинансирования является основной для формирования межбанковских ставок процента и ставок процента по кредитам частному сектору, которые, в свою очередь, превосходят ставку рефинансирования. Статистические данные, размещаемые на сайтах Центрального банка и министерства финансов, включают несколько видов ставок процента, рассчитанные как средневзвешенные величины. Анализ статистических данных показывает, что все ставки процента повторяют тенденцию изменения ставки рефинансирования, только каждая – на особом уровне. Исходя из сказанного, при моделировании в качестве статической составляющей ставки процента r^0 принимается средневзвешенная кредитная ставка процента в базовом периоде. Динамическая составляющая ставки процента r_{dyn} вычисляется на динамически неравновесных режимах.

Пусть базовому равновесному состоянию МЭС в базовом году (точка А) соответствует равновесная ставка процента r^0 и предложение денег Ms^0 , равные спросу на деньги: $Md=Ms=Ms^0$ (рис. 3).

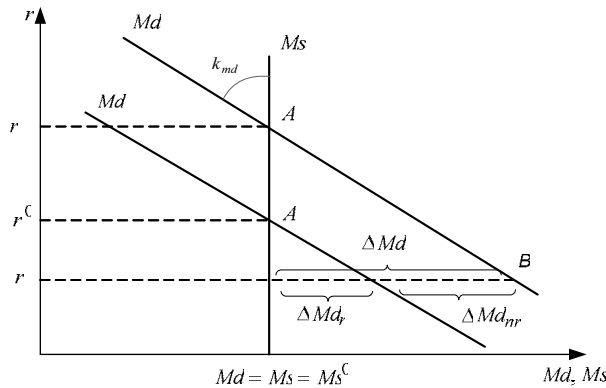


Рисунок 3 – Зависимости спроса на деньги $Md(r)$ и предложение денег $Ms(r)$

Рассмотрим произвольное неравновесное состояние на рынке денег (точка В), которое соответствует процентной ставке r' и вызвано отклонением ΔMd от базового равновесного состояния действием как ценовых факторов ΔMd_r спроса на деньги, так и неценовых факторов ΔMd_{mr} спроса на деньги (смещение кривой Md вправо до положения Md')

На основе модели Самуэльсона [5] запишем дифференциальное уравнение, описывающее движение рынка к новой точке равновесия (точка A'):

$$(2) \quad \frac{d(r^0 + r_{dyn})}{dt} = k_r [Md(r_{dyn}, t) - Ms(t)] .$$

Текущее значение спроса на деньги формируется следующим образом:

$$(3) \quad Md(t) = Md^0 - k_{md} \cdot r_{dyn}(t) + \Delta Md_{mr}(t) .$$

В этом выражении присутствует спекулятивная составляющая $(-k_{md} \cdot r_{dyn})$ спроса на деньги из формулы (1); транзакционная составляющая $(k_{my} \cdot \dot{Y})$ относится к неценовым факторам $\Delta Md_{nr}(t)$ и должна быть выделена в их составе в качестве самостоятельной величины.

Для формирования функции предложения денег необходимо отметить следующее.

Предложение, формируемое Центральным банком, является номинальным денежным запасом MS . Для приведения его в соответствие с переменными модели необходимо учесть изменяющийся во времени уровень цен P и вычислить реальное предложение денег Ms по формуле:

$$Ms = \frac{MS}{P} = \frac{MS^0}{P} + \frac{\Delta MS_{nr}}{P} = Ms^0 + \Delta Ms_{nr}.$$

Указанное преобразование учитывается и при построении структурной схемы динамической модели.

С учетом (3) формула (2), преобразуется к виду:

$$(4) \quad \frac{dr_{dyn}}{dt} = k_r [(Md^0 - k_{md} \cdot r_{dyn} + k_{my} \cdot \dot{Y}_{inc} + \Delta Md'_{nr}) - Ms],$$

или $\frac{dr_{dyn}}{dt} = k_r \cdot \varepsilon_r(r_{dyn}(t))$, где k_r - коэффициент, определяющий динамические свойства процентной ставки; а предложение денег определяется по формуле $Ms = Ms^0 + \Delta Ms_{nr}$. Изменение предложения денег ΔMS происходит в результате принятия решений в области денежно кредитной политики. Такие решения относятся к более высокому уровню управления и поэтому в модели денежного рынка являются экзогенной величиной.

Для анализа динамических особенностей взаимосвязанного изменения процентной ставки и денежного спроса Md при условии принятия решений по изменению денежного предложения Ms уравнение (4) можно преобразовать к виду:

$$(5) \quad \frac{1}{k_r \cdot k_{md}} \cdot \frac{dr_{dyn}}{dt} + r_{dyn} = \frac{1}{k_{md}} \cdot \varepsilon_{nr},$$

где $\varepsilon_{nr} = \Delta Md'_{nr} - \Delta Ms_{nr} = \Delta Md'_{nr} + k_{my} \cdot \dot{Y}_{inc} - \Delta Ms_{nr}$ - рассогласование между совокупным денежным спросом и совокупным денежным предложением, вызванные действием неценовых факторов. Уравнение (5) является дифференциальным уравнением инерционного звена с передаточной функцией $w_{mr} = \frac{k_{tr}}{\tau_{mr}s + 1}$, где коэффициент передачи k_{tr} равен $k_{tr} = \frac{1}{k_{md}}$, а посто-

янная времени τ_{mr} равна $\tau_{mr} = \frac{1}{k_r \cdot k_{md}}$.

Коэффициент самовывравнивания рынка денег ρ_r , равный обратной величине коэффициента передачи k_{tr} , представляет собой эластичность спроса на деньги $\rho_r = k_{md}$. Этот коэффициент определяет и скорость реакции процентной ставки на изменения спроса на деньги и предложение денег, и их новые установившиеся значения.

Структурная схема динамической модели А6 функционирования денежного рынка в системе макроэкономического кругооборота представлена на рисунке 4. На структурной схеме присутствует только один контур обратной связи, формирующий реакцию спроса на деньги Md при изменении динамической составляющей ставки процента. Предложение денег MS является абсолютно неэластичным, контур обратной связи для него отсутствует. Изменение

ставки рефинансирования учтено с помощью величины Δr^0 , которая оказывает влияние и на величину инвестиционных расходов фирм, и на величину спроса на деньги.

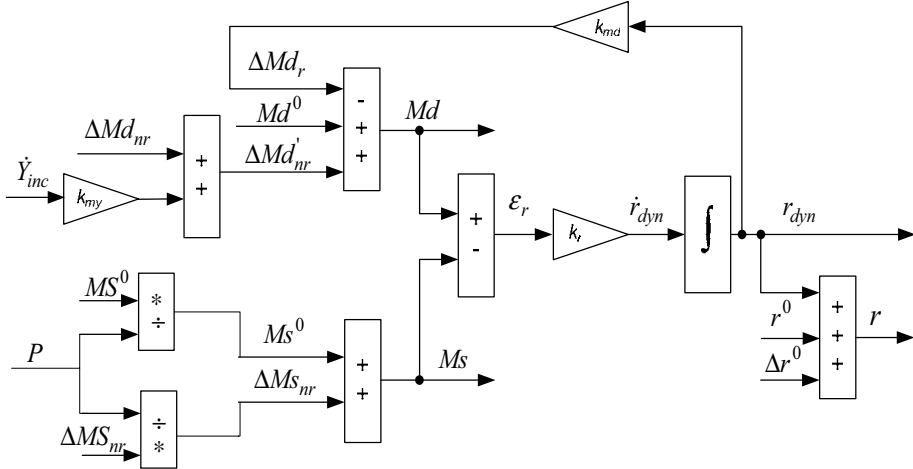


Рисунок 4 – Структурная схема динамической модели *А6* функционирования рынка денег

4 Экспериментальные исследования динамики макроэкономического кругооборота финансовых потоков в неравновесных условиях рынков благ, труда и денег

Предложенные модели положены в основу экспериментальных исследований динамики процессов функционирования МЭС в неравновесных условиях рынка денег. На рисунке 5 приведены результаты экспериментальных исследований по трем сценариям.

В сценарии 1 (базовом) установлены следующие начальные значения плановых темпов расхода ресурсов, для формирования предложения $\dot{A} s^0(t)=10$; формирования автономного потребления $\dot{C}_a^0(t)=2$; для автономного сбережения $\dot{S}_a(t)=1,5$; для автономных инвестиций $\dot{I}_a^0(t)=0,5$; для формирования госзакупок $\dot{G}^0(t)=3$. При распределении ВВП приняты следующие значения коэффициентов формирования: оплаты труда $k_{rl}=0,4$, валовой прибыли $k_{pg}=0,4$; налогов $k_t=0,2$. За единицу времени моделирования принят месяц. Период моделирования равен 90 месяцам.

В сценарии 2 (неуправляемом) моделируется ситуация резкого сокращения инвестиций, поступающих в реальный сектор. Сценарий 2 является неуправляемым и предполагает подачу возмущения в момент времени $t=25$ в виде снижения темпов формирования автономных инвестиций $\dot{I}_a^0(t)$. В реальной жизни подобная ситуация может быть вызвана пессимистическими настроениями инвесторов, возникших под влиянием поступающей информации, даже при прочих неизменных макроэкономических показателях. Снижение объема инвестиций вызывает спад капиталовооруженности, что при низком уровне эффективности использования инвестиций приводит к уменьшению объема произведенного продукта. Вслед за этим происходит целый ряд последствий. Падают цены на произведенные блага $P(t)$, уменьшаются темпы поступления налогов $Tsum(t)$. В результате снижаются запасы реального сектора St_1 , запасы сектора домохозяйств St_2 и запасы государства St_4 . Одновременно, растут запасы финансового сектора St_3 , который накапливает денежные средства, более не вкладываемые в виде инвестиций в производство. Помочь решить сложившуюся неблагоприятную ситуацию может вмешательство государства и принятие мер денежно-кредитной политики.

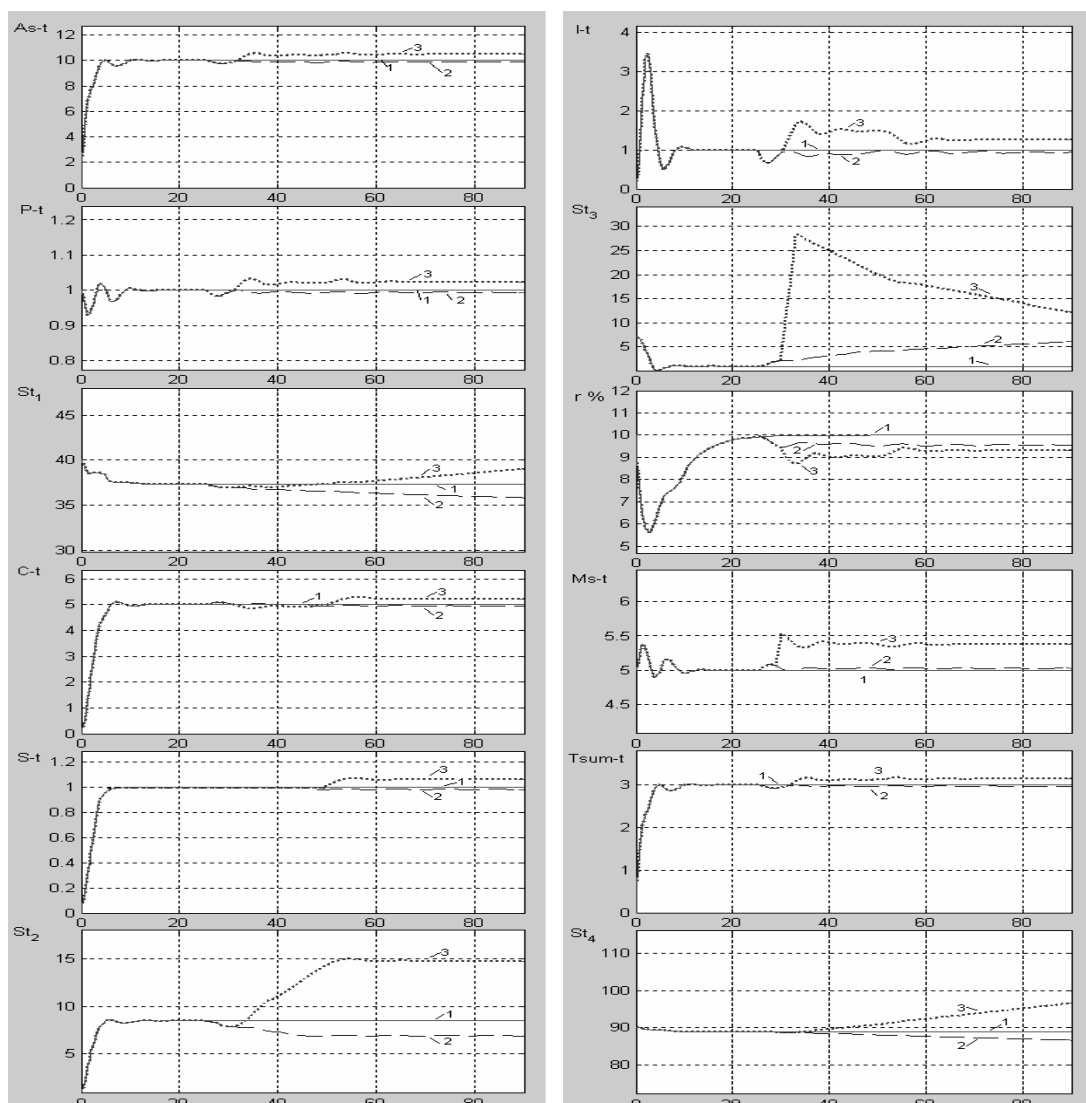


Рисунок 5 – Графики переходных процессов функционирования реального сектора, секторов домохозяйств, финансовых учреждений, государства и рынка денег

В сценарии 3 (управляемом) моделируется использование политики «дешевых» денег в виде принятия решения государством об увеличении денежной массы в обращении $\Delta MS(t)$ (предложения денег) в момент времени $t=30$. Центральный Банк может добиться роста избыточных резервов коммерческих банков различными средствами: покупкой ценных бумаг, снижением нормы резервирования, или снижением учетной ставки. Рост предложения денег позволяет обеспечить краткосрочный экономический рост без эффекта вытеснения. На данном этапе важную роль играет именно своевременность принятия решения, оперативность действий управленческого аппарата. Даже незначительная задержка может повлечь гораздо более серьезные последствия для производства, уровня выпуска ВВП и для всей макроэкономической системы.

Увеличение денежной массы в обращении сопровождается снижением процентной ставки $r(t)$, т.к. расширяются ресурсы для кредитования и, следовательно, цена кредита понижается. Это способствует росту инвестиций $\dot{I}(t)$. Рост инвестиций вызывает увеличение совокупных доходов и расходов, потребления $\dot{C}(t)$ и сбережения $\dot{S}(t)$ домашних хозяйств. За счет этого несколько вырастают цены $P(t)$, растет поступление налогов в казну $\dot{T}_{sum}(t)$. В итоге наблюдается рост запасов производственного сектора S_{t1} , сектора домохозяйств S_{t2} и сектора государственных учреждений S_{t3} . Получив дополнительные ресурсы, реальный сектор, производит большее количество продукции, растет совокупное предложение $\dot{A}_s(t)$, растет ВВП $\dot{Y}(t)$ и система выходит на более высокий уровень функционирования.

Заключение

Разработана когнитивная модель макроэкономического кругооборота финансовых потоков МЭС с учетом макроэкономических рынков благ, труда и денег, отражающая роль рынков и рыночных механизмов, регулирующих финансовые потоки. Рынок денег выполняет роль механизма, с помощью которого государство воздействует на инвестиционный спрос как компонент совокупного спроса, принимая меры по денежно-кредитному регулированию экономики, например, в виде корректировки ставки рефинансирования или предложения денег.

Предложенная функциональная схема динамической модели функционирования МЭС в неравновесных условиях рынков благ, труда и денег позволяет выделить состав динамических моделей, характеризующих взаимосвязанное функционирование секторов экономики и макроэкономических рынков, а также взаимосвязей между ними. Разработанная динамическая модель функционирования рынка денег в системе макроэкономического кругооборота позволяет описать сущность и динамические особенности взаимосвязанного изменения спроса на деньги, предложения денег и процентной ставки.

Результаты проведенных экспериментальных исследований показали, что принимаемые решения в области денежно-кредитной политики позволяют обеспечить переход от неблагоприятных, динамически неравновесных рыночных ситуаций к более благоприятным ситуациям, соответствующим прежнему или новому уровню темпа выпуска ВВП.

Список литературы

- [1] Петров А.А., Поспелов И.Г. Математические модели экономики России. // Вестник Российской академии наук. – 2009. – Том 79, №6. – С. 492-506.
- [2] Макаров В.Л., Бахтизин А.Р., Сулакшин С.С. Применение вычислимых моделей в государственном управлении. — М.: Научный эксперт, 2007. – 304 с.
- [3] Ивантер В., Узиков М. Долгосрочный прогноз развития экономики России: инвестиционный вариант // Проблемы теории и практики управления. – 2008. – № 3. – С. 12-25.
- [4] Ильясов Б.Г., Дегтярева И.В., Макарова Е.А., Габдуллина Э.Р. Моделирование динамики кругооборота финансовых потоков с учетом накопления финансовых ресурсов // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2009. - №1 (61). - С. 28-38.
- [5] Тарасевич Л.С., Гребенников П.И., Леусский А.И. Макроэкономика: учебник. М.: Высшее образование, Юрайт-Издат, 2009. – 654 с.
- [6] Маневич В.Е. Кейнсианская теория и российская экономика. - М.: Наука, 2008. – 221 с.
- [7] Ильясов Б.Г., Дегтярева И.В., Макарова Е.А., Павлова А.Н. Моделирование влияния неравновесных условий рынка труда на динамику макроэкономического кругооборота // Проблемы управления и моделирования в сложных системах: Труды XII Международной конференции – Самара: Самарский научный центр РАН, 2010. – С. 176-186.
- [8] Селищев А.С. Макроэкономика – СПб.: «Издательство «Питер», 2005. – 448с.

ТЕСТИРОВАНИЕ ПРИМЕРА ЭВАКУАЦИИ С РЕФЛЕКСИВНЫМИ АГЕНТАМИ В АГЕНТНОЙ СРЕДЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ

В.О. Корепанов

Институт проблем управления им. В.А.Трапезникова РАН
117997, Москва, ул. Профсоюзная, 65, Россия
moskvo@yandex.ru
тел: +7 (495) 334-90-51

Ключевые слова: стратегическое поведение, рефлексивное поведение, метод рефлексивных разбиений, эвакуация, вычислительное моделирование

Abstract

This clause devoted to modeling example of evacuation, investigated with method of reflexive partitioning, in agent modeling system. Formulas of optimum parts reflexive agents with ranks zero and one, proven with method of reflexive partitioning, are tested in order to verify it.

Введение

Рефлексивное поведение агента в теоретико-игровом подходе [2] описывает его ограниченную информированность о принципах принятия решений (действий) остальными агентами. Ограниченность проявляется в ранге рефлексии: агент k -го ранга считает, что ранг всех остальных агентов может быть только из множества меньших рангов: $\{0, 1, \dots, (k-1)\}$.

Агенты ранга 0 следуют некоторой процедуре принятия решений и «не задумывается» над тем, что знают и как ведут себя остальные агенты. Предположим, что некоторый агент осуществил акт рефлексии – попытался спрогнозировать поведение других агентов, считая, что их ранг нулевой, и выбирает свои действия с учетом этого прогноза. Будем считать, что он обладает первым рангом рефлексии. Другой агент (обладающий вторым рангом рефлексии) может предположить, помимо агентов нулевого ранга, существование агентов первого ранга и прогнозировать их поведение. И так далее. Возникает несколько вопросов – как поведение коллектива агентов зависит от их распределения по рангам рефлексии, то есть от того, сколько в коллективе имеется агентов того или иного ранга? Если долями рефлексиирующих агентов можно управлять, то каковы эти доли, оптимальные с точки зрения того или иного критерия эффективности, определенного на множестве действий агентов?

В статье [1] был предложен метод рефлексивных разбиений для описания и учёта таких стратегических размышлений игроков при групповом взаимодействии. Также была поставлена задача группового управления: достижение групповой цели, при возможности управления долями агентов всех или определённых рангов. Данная задача в статье была частично или полностью решена для ряда примеров, одним из которых была эвакуация людей из здания. На упрощённом примере была показана целесообразность введения рефлексивных агентов ранга не больше единицы.

Данная работа посвящена тестированию агентной среды моделирования эвакуации, с использованием метода рефлексивных разбиений. Приводятся данные вычислительных экспериментов, подтверждающие и уточняющие теоретические выводы. Целью моделирования рефлексивного поведения является получение характеристик эвакуации людей из здания с учётом их способности к рефлексии, а также нахождение оптимальных долей людей определённых рангов для минимизации времени эвакуации. Полученные, в результате моделирования, данные сравниваются с теоретическим исследованием эвакуации в [1]. Компьютерное

моделирование необходимо, поскольку теоретически задача минимизации времени эвакуации с помощью долей рефлексивных агентов сложна для нетривиальных случаев конфигурации здания.

1 Теоретическое исследование

В работе [1] была рассмотрена следующая упрощённая модель эвакуации. Имеется помещение, в котором находятся n агентов. В помещении имеются два выхода, условно назовем их «левым» (L) и «правым» (R). Время выхода определяется моментом времени, когда из данного выхода вышел последний агент, направившийся к нему. Каждый агент однократно принимает решение, из какого выхода он будет выходить. Скорости движения всех агентов в отсутствие пробок примем одинаковыми. Обозначим n_L (n_R) – число агентов, направившихся к левому (правому) выходу, $n_L + n_R = n$.

Пусть известна зависимость $T(k)$ времени выхода в зависимости от числа агентов $k \geq 0$, причём она одна для обоих выходов, то есть считаем, что выходы одинаковы по пропускной способности (ширине). Зависимость эту будем считать непрерывной, выпуклой (отражение эффекта «пробок») и равной нулю в нуле (когда имеется один агент, пробки отсутствуют, и он покидает помещение без задержек). Обозначим через T_L (T_R) время движения агента до левого (правого) выхода, причем $T_L > T_R$, то есть правый выход расположен ближе левого. Тогда полное время выхода налево равно $T(n_L) = T_L + T(n_L)$, направо: $T(n_R) = T_R + T(n_R)$.

Тогда оптимальное с точки зрения *времени эвакуации* T^* – покидания помещения последним из агентов (а именно этот критерий используется в моделях эвакуации) – распределение агентов по направлениям движения (n_L^*, n_R^*) является решением следующей системы уравнений (см. также рисунок 1):

$$\begin{cases} T(n_L^*) + T_L = T(n_R^*) + T_R, \\ n_L^* + n_R^* = n. \end{cases}$$

Минимальное время эвакуации равно

$$(1) \quad T^* = T(n_L^*) + T_L = T(n_R^*) + T_R.$$

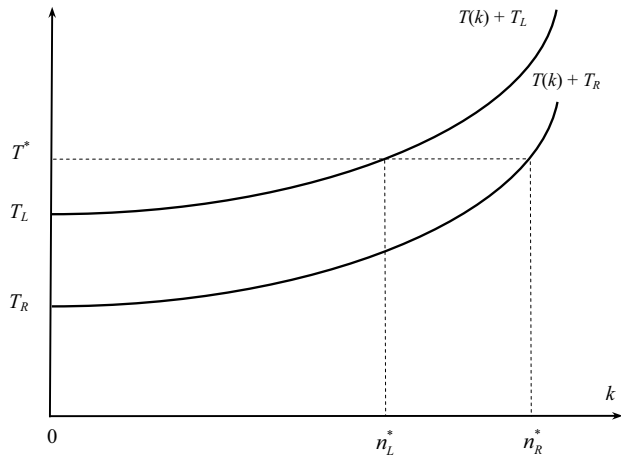


Рисунок 1 – Зависимость времени эвакуации от числа агентов, выбирающих правый или левый выход

В работе показано, что минимальное время выхода при наличии агентов нулевого и первого рангов рефлексии достигается при числе агентов первого ранга рефлексии n_1^* , определяемом из следующего соотношения:

$$(2) \quad T(n_1^*) + T_L = T(n - n_1^*) + T_R,$$

которое совпадает с условием (1), т. е. $n_1^* = n_L^*$, $T_1(n_1^*) \equiv T^*$. Из совпадения условий (1) и (2) следует, что первый ранг рефлексии является максимальным целесообразным в рамках рассматриваемой модели, так как добавление агентов второго, третьего и более высоких рангов рефлексии не позволит улучшить уже достигнутое, за счет введения агентов первого ранга, значение минимального времени эвакуации (1).

2 Постановка имитационного эксперимента

Для предложенной модели эвакуации была построена имитационная модель в агентной среде моделирования, частичное описание которой можно посмотреть в [2] и [3].

Изображение здания, в котором проходит моделирование можно видеть на рисунке 2.

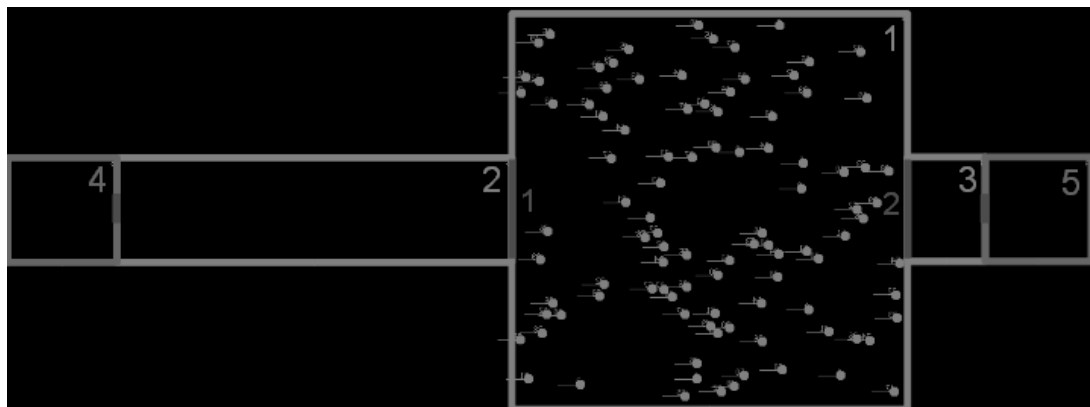


Рисунок 2 – Здание для моделирования

Серыми границами обведены обычные помещения 1, 2 и 3, зелёным – помещения-выходы 4 и 5; переходы обозначены красными линиями.

Параметры элементов здания (ширина – сверху вниз, длина – слева направо):

- помещение 1: длина 15м, ширина 15 м.;
- помещение 2: 15 на 4 м.;
- помещение 3: 3 на 4 м.;
- выходы 4 и 5: 4 на 4 м.;
- переходы 1 и 2: ширина 4 м.;
- остальные переходы: ширина 1 м.

Агенты (программные сущности, имитирующие людей) в случайном порядке размещаются в помещении № 1, как на рисунке 2, на котором отображены также вектора их начальной скорости. Для каждого шага теста (определённого количества или долей агентов в помещении №1) проводилось по 20 испытаний, каждый раз с новым случайным расположением агентов, затем время эвакуации по ним усреднялось.

Было проведено тестирование для нахождения времени эвакуации в зависимости от количества агентов в помещении 1, для каждого выхода в отдельности. Графики представлены на рисунке 3. Таким образом, путь до правого выхода (№ 5) ближе, чем до левого (№ 3) примерно на одну постоянную константу 7,5223, что равно $T_L - T_R$, по условию теоретической модели.

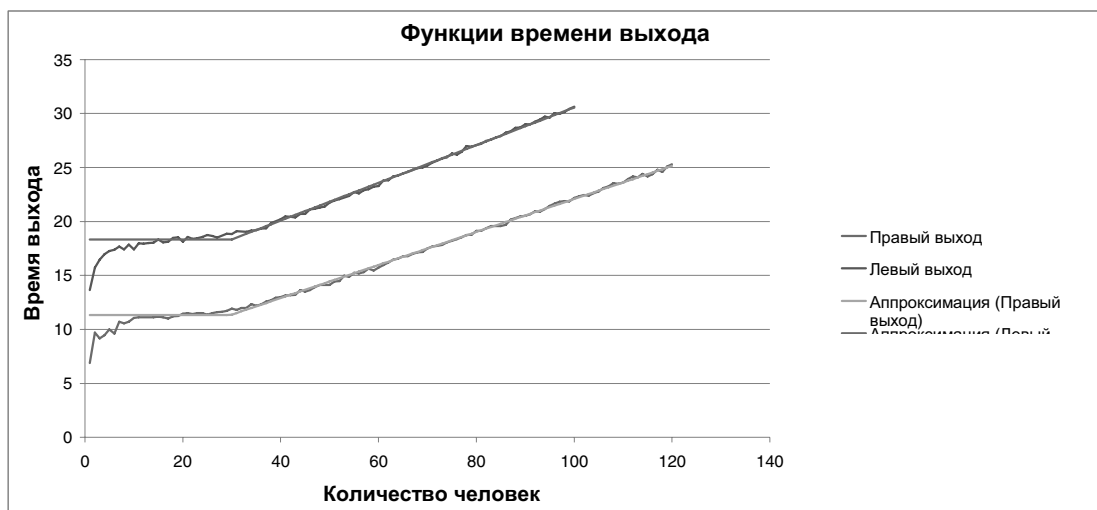


Рисунок 3 – Нахождение функций времени выхода

Очевидно, функции времени выхода выпуклы (за исключением случаев при малом количестве людей). Также видно, что выходы одинаковы по характеристикам, разница во времени появляется из-за различия в расстояниях до выходов (значения T_L и T_R в теор. модели).

Тогда, по формуле (1), минимальное время эвакуации $T^* = 18,45 \sim 18,43$ и соответствующие количества агентов $(n_L^*; n_R^*) = (23; 77)$ для усреднённых данных, а для аппроксимации этих данных кусочно-постоянными функциями $T^* = 18,32$ и $(n_L^*; n_R^*) = (24,6; 75,4)$.

Соответственно и оптимальное количество рефлексивных агентов первого ранга n_1^* равно 23(24,6) соответственно для средних и аппроксимированных данных.

Для проверки теоретического результата был проведён эксперимент с одновременным присутствием в модели агентов нулевого и первого ранга. Общее количество оставалось неизменным и равным 100, менялись доли агентов от (1,99) до (99,1). График полученных результатов приведён на рисунке 4.

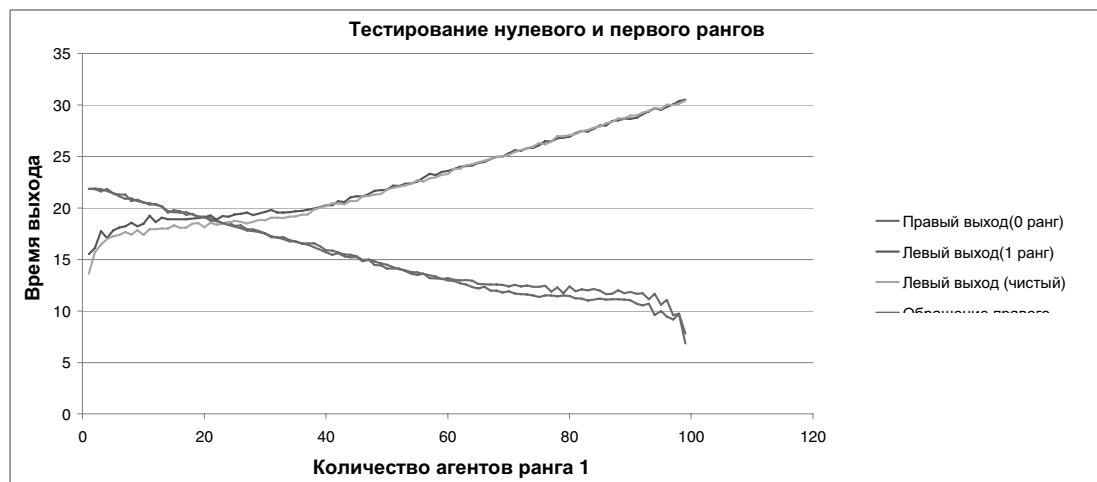


Рисунок 4 – Тестирование нулевого и первого рангов

Минимальные различия графиков находятся в точках (20;80) и (22;78). Уменьшение доли агентов ранга 1 произошло из-за повышения функции времени выхода агентов в левый выход на интервале от 0 до 40 агентов для случая, когда в модели присутствуют агенты 0 и 1 рангов. Это повышение видно на рисунке 4, причём повышение также заметно и для правого выхода для меньшего количества агентов. Есть гипотеза, что вызвано это тем, что большее число агентов другого ранга мешает им выходить с обычным временем.

Выводы

При выполнении гипотезы о выпуклости функции времени эвакуации от количества человек для каждого выхода, моделирование показало, что теоретическое нахождение оптимальных долей рефлексивных агентов нулевого и первого ранга близко к полученному при моделировании. Неточность в предсказании оптимальных долей, по гипотезе, возникает из-за влияния агентов различных рангов друг на друга. Остаётся открытым вопрос, насколько это влияние может быть сильным и соответственно, как в теоретической модели эвакуации можно отразить это влияние.

Список литературы

- [1] Корепанов В.О., Новиков Д.А. Метод рефлексивных разбиений в моделях группового поведения и управления // Проблемы управления. - 2011. - № 1. - С. 21 - 32.
- [2] Корепанов В.О. Модели движения агентов в замкнутом пространстве // Труды IV Всероссийской школы-семинара молодых учёных «Проблемы управления и информационные технологии (ПУИТ '08)». – 2008.
- [3] Корепанов В.О. Реализация иерархической структуры агента // Труды 51 Всероссийской молодёжной научной конференции «Современные проблемы фундаментальных и прикладных наук». – 2008.
- [4] Новиков Д.А., Чхартишвили А.Г. Рефлексивные игры. – М.: Синтег, 2003.

МНОГОМЕРНАЯ МОДЕЛЬ СЛОЖНОЙ СИСТЕМЫ

В.Е. Гвоздев, Г.И. Таназлы

Уфимский государственный авиационный технический университет
450000, Уфа, ул. К. Маркса, 12, Россия
wega55@mail.ru
тел: +7 (347) 272-74-65, факс: +7 (347) 273-78-35

Ключевые слова: сложная система, многомерная модель, системное моделирование, модели программных продуктов

Abstract

This article examines the 5th component architecture of a complex system. Describes the application of the proposed model for software projects modeling.

Введение

Системное моделирование, основанное на формировании пространства состояния объекта исследования, составляет основу управления сложным объектом. Известно много работ, посвященных исследованию архитектур сложных систем. Тем не менее, важность продолжения исследований в этом направлении не вызывает сомнений. Это обусловлено тем, что в силу объективных причин происходит усложнение объектов управления. Это, в свою очередь, приводит к необходимости введения в архитектуру новых сущностей, изменению характера взаимосвязи между сущностями. Увеличивается влияние человеческого фактора на имеющую место и потенциальную системную эффективность объекта исследования. Отмеченные обстоятельства вынуждают разрабатывать новые модели сложных систем.

В настоящей статье рассматривается пятикомпонентная архитектура сложной системы. Рассматривается описание на основе предлагаемой модели такой разновидности сложных систем как программный продукт. Приводится пример использования предлагаемой модели для решения задачи прогнозирования времени завершения согласования требований.

1 Многомерная модель сложной системы

В многочисленных литературных источниках, посвященных программным проектам, подчеркивается важность построения системных моделей программных продуктов и программных проектов как основы управления их состоянием. Методологическим принципом, положенным в основу предлагаемой многомерной системной модели, является принцип комплексности. Этот принцип обосновывает выбор совокупности точек зрения на программный проект, представленных на рис. 1.

Целесообразность системного моделирования программных продуктов и проектов в рамках выделенных точек зрения обусловлено следующими соображениями.

Функциональный аспект. Совокупность задач, которые могут решаться посредством программного продукта, является одним из основных факторов, определяющих его ценность в глазах пользователя.



Рисунок 1 – Точки зрения на программный проект

Информационный аспект. Одной из основных причин, препятствующих скоординированной деятельности разработчиков программного продукта, является невозможность получения им актуальной информации о состоянии проекта. Способность организации создавать, использовать, воспроизводить знания; генерировать новые идеи, приводящие к созданию нового качества и новых продуктов, в настоящее время является единственным, устойчивым конкурентным преимуществом [1].

Управленческий аспект. Современная точка зрения на управление сложными системами основана на формировании «умных систем управления», обеспечивающих получение конкурентоспособных продуктов и услуг. В известной литературе подчеркивается важность соответствия развития системы управления проектом фактической сложности проекта.

Ресурсный аспект. Необходимым условием успешного выполнения программного проекта является наличие в нужное время в нужном месте требуемых ресурсов в достаточном объеме.

Социально-экономический аспект. Человеческий фактор является системообразующим при инициации, реализации проекта и оценивании качества получаемых результатов.

Выделенные точки зрения на программный проект и системообразующий характер человеческого фактора являются основой построения системной модели в виде «пирамиды программного проекта», представленной на рис.2. Название модели дано по аналогии с «треугольником проекта (project triangle)». Отметим, что в этой архитектуре компоненты системы и связи между ними представляют собою сложные конструкции, описываемые множеством параметров. Содержание этих конструкций и способы их описания зависят от назначения программного продукта и фазы программного проекта.

2 Свойства системной модели

Предлагаемая модель включает в себя в качестве частного случая модель, именуемую в литературе ЕА (Enterprise Architecture). В [5] для ЕА приведена система архитектур (бизнес, информационная, технологическая, приложений), которую можно представить в виде модели, приведенной на рис.3.

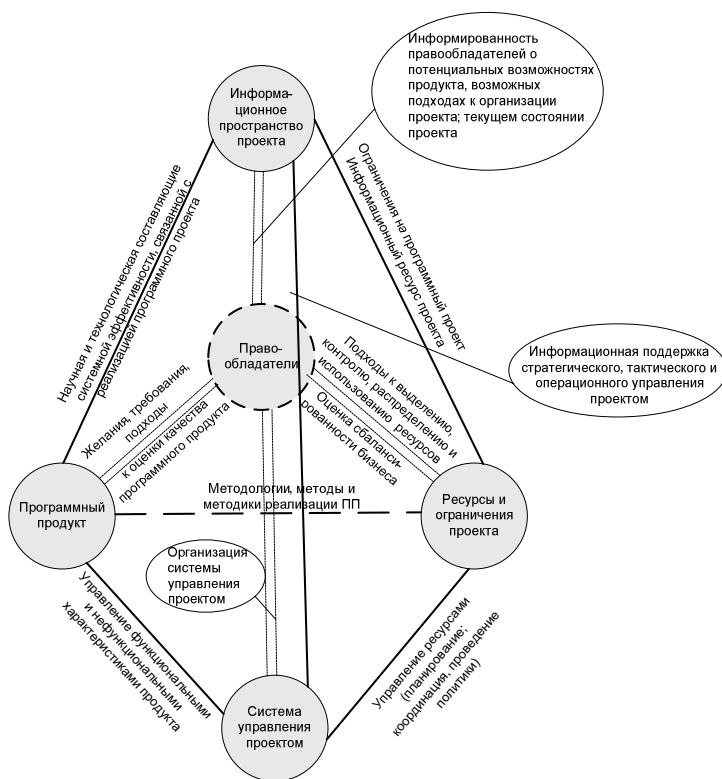


Рисунок 2 – Многомерная модель сложной системы

Модель, представленная на рис. 3, позволяет выделить внутреннюю и внешнюю среды сложной системы. То, что находится вне пирамиды, составляет внешнюю среду. То, что находится внутри пирамиды, составляет внутреннюю среду. Важность выделения и исследования внешней и внутренней сред программного проекта и продукта обсуждается во многих литературных источниках. На рис. 4 в качестве примера приведены некоторые взаимосвязи компонентов, соответствующих внешней и внутренней средам системы. Взаимодействие внешней и внутренней сред осуществляется через вершины пирамиды, представленной на рис.3.

Модель, представленная на рис. 2, в отличие от модели, представленной на рис. 3, в качестве центральной компоненты внутренней среды выделяет правообладателей, то есть человеческий фактор. Влияние человеческого фактора на программный проект и продукт проявляется в том, что содержание и состояние компонентов системной модели и связей между ними, что в итоге формирует экономическую, политическую, социальную, научную и технологическую составляющие системной эффективности, определяются правообладателями.

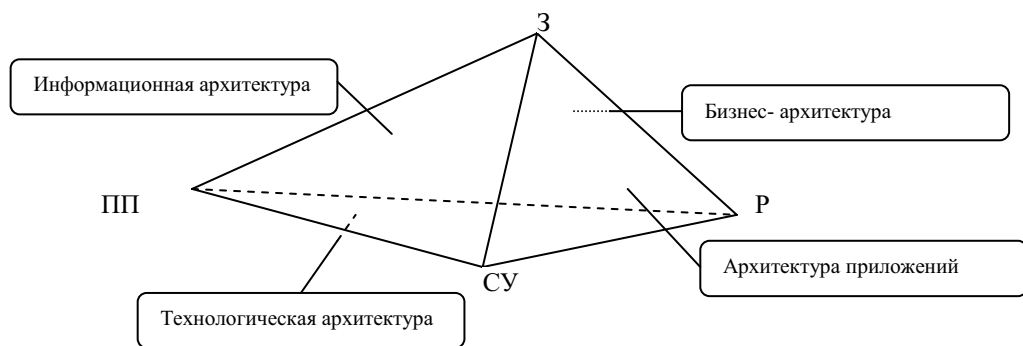


Рисунок 3 – Объемная модель сложного объекта



Рисунок 4 – Содержание взаимосвязей между сущностями, соответствующее внутренней и внешней средам системы (З – знания; ПП – программный продукт; СУ – система управления)

3 Пример использования предлагаемой системной модели

В качестве примера использования предлагаемой системной модели рассмотрим процесс подготовки спецификаций требований на программный продукт.

Одной из причин, осложняющих управление требованиями, является недостаточная формализация контроля над процессом согласованием требований.

Для приведенной ниже модели приняты следующие предположения и допущения.

- 1) Момент начала согласования требований известен;
- 2) Согласуемые требования имеют одинаковый ранг с точки зрения заказчика;

- 3) Требования, считающиеся согласованными в момент времени t_i по инициативе заказчика в момент t_j ($t_j > t_i$) могут перейти в класс несогласованных;
- 4) Общее число требований, подлежащих согласованию, с течением времени может изменяться.

Системная модель (являющаяся проекцией модели, представленной на рис.2) приведена на рис. 5.

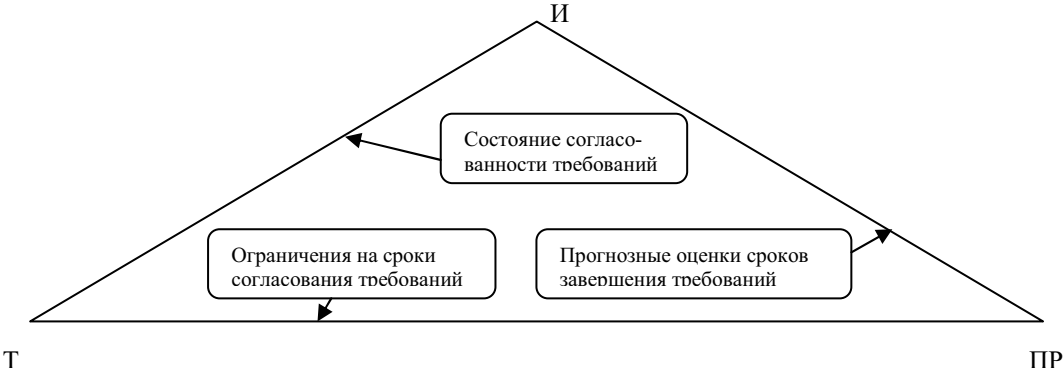


Рисунок 5 – Системная модель задачи прогнозирования сроков завершения согласования требований (И – информация; Т – требования к программному продукту; ПР – правообладатели)

Состояние процесса согласования требований в каждый момент времени характеризуется долей согласованных требований.

Если каждое из требований может быть отнесено только к одному классу состояния (согласовано/несогласованно), то доля согласованных требований в t -й момент времени описывается выражением (1)

$$(1) \quad p(t) = n(t) / N(t),$$

где $n(t)$ – число требований, отнесенных к классу согласованных;

$N(t)$ – общее число требований.

Если i -е требование может быть согласовано частично, то доля согласованных требований описывается соотношением (2)

$$(2) \quad p(t) = \frac{\sum_{i=1}^{N(t)} \alpha_i(t)}{N(t)},$$

где $\alpha_i(t)$ – величина, характеризующая степень согласованности i -го требования.

Параметр $\alpha_i(t) \in [0;1]$, $i = \overline{1;n}$, причем нижняя граница соответствует несогласованному требованию, а верхняя граница – согласованному.

Основу технологии конструирования показателя состояния составляет графическая модель, представленная на рисунке 6.

Параметры $p_{11}, p_{12}, p_{13}, p_{23}, \dots$ есть показатели состояния, отнесенные к разным моментам времени.

Моменты времени \ Число требований	t_1	t_2	t_3	t_4	t_5	t_6	t_7	t_8
N_1	p_{11}	p_{12}	p_{13}					
N_2			p_{23}	p_{24}	p_{25}			
N_3					p_{35}	p_{36}	p_{37}	p_{38}

Рисунок 6 – Модель процесса согласования требований

Объясним то обстоятельство, что некоторым моментам времени (на рисунке это t_3 , t_5) соответствует разное число требований и различные доли согласованных требований.

Любое внесение изменений в требования является официальной процедурой, потому одни значения числа требований и доли согласованных требований (например, $\{N_1, p_{13}\}$) соответствует началу официальной процедуры, а другие значения (например, $\{N_2, p_{23}\}$) соответствуют завершению официальной процедуры.

Формально модель, представленная на рисунке 6, представляет собой ряд индексов с разными базовыми константами [4] и к этим рядам индексов может быть применена операция «связывание».

Таким образом, предлагаемая модель, по сути основанная на процедуре обеспечения сопоставимости индексов, отнесенных к различным базовым периодам, представляет собой модель одномерного временного ряда. Это делает возможным для прогнозирования момента окончания согласования требований использовать аппарат временных рядов.

Следует отметить простоту модели, что делает возможным ее практическое использование при проектировании программных систем.

Заключение

Предложенная системная модель программного проекта является развитием описанных в литературе ЕА-моделей. Её методологическую основу составляет основной принцип исследования сложных систем – принцип комплексности. Содержание предлагаемой модели подчеркивает тот факт, что успех проекта определяется не только ресурсами проекта и организацией системы управления, но и человеческим факторов, а также информационным пространством проекта.

Предлагаемая модель позволяет с системных позиций подходить к построению комплексов системных, структурных и математических моделей, описывающих процессы реализации программного проекта и управления ими, что делает возможным повышать управляемость проектов и предсказуемость их результатов.

Список литературы

- [1] Ефимов В.В. Улучшение качества проектов и процессов.: учебное пособие/ В.В.Ефимов. - Ульяновск: УлГТУ,2004.-185с.
- [2] Макконнелл, С. Остаться в живых. Руководство для менеджера программных проектов / С. Макконнелл. СПб: Питер, 2006. 240 с.
- [3] Йордан Э. Смертельный марш. Полное руководство для разработчика программного обеспечения по выживанию в безнадежных проектах. – М.: «Лори», 2005. – 109 с.
- [4] Кюн Ю. Описательная и индуктивная статистика: Пособие-памятка / Пер. с нем. В.С. Дуженко. – М.: Финансы и статистика, 1981. – 126 с.
- [5] Tom Finneran Enterprise Architecture: What and Why? (<http://www.tdan.com/view-articles/5041/>).

ИНТЕРВАЛЬНОЕ ОЦЕНИВАНИЕ ГРАНИЧНЫХ ЗНАЧЕНИЙ ХАРАКТЕРИСТИК НАДЕЖНОСТИ ТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

В.Е. Гвоздев, М.А. Абдрафиков

Уфимский государственный авиационный технический университет

450000, Уфа, ул.К. Маркса, 12, Россия

aliastos@yandex.ru

тел: +7 (347) 272-74-65, факс: +7 (347) 237-06-25

Ключевые слова: надежность, интервальное оценивание, доверительная вероятность, малая выборка, порядковая статистика

Abstract

In this article describes reliability boundary characteristics values interval estimation of small volume samples. The algorithm of technical objects reliability boundary characteristics values interval estimation is developed; dependences of interval estimation results on properties of the initial data are researched.

Введение

Экспериментальная оценка показателей надежности является обязательным этапом и практически основным способом установления реальных количественных показателей надежности в процессе разработки и серийного производства изделий.

При испытаниях технических систем актуальной проблемой является объективное оценивание характеристик надежности по малому числу исходных данных, что обусловлено длительным временем испытаний изделий, а также высокой стоимостью испытаний.

Принято анализировать надежность по осредненным характеристикам, однако для ответственных изделий особый интерес вызывает информация о надежности самых слабых из них. В первую очередь это касается тех изделий, отказы которых могут привести к катастрофическим последствиям или человеческим жертвам. Это приводит к необходимости развития методов анализа надежности на основе теории порядковых статистик.

В данной работе предлагается метод построения доверительных интервалов для граничных значений характеристик надежности, в основе которого лежит математический аппарат порядковых статистик.

Ограничением предлагаемых в статье подходов является предположение об экспоненциальном законе распределения времени наработки до отказа (на отказ), что соответствует новым изделиям, выходящим с предприятия.

1 Анализ состояния проблемы

Существуют приближенные и точные методы построения доверительных интервалов для параметров случайной величины.

Приближенные методы ориентированы на выборки достаточно большого объема, вид закона распределения случайной величины при этом может быть неизвестен. Построение доверительного интервала приближенными методами изучено лишь для математического ожидания случайной величины и ее дисперсии.

Точные методы построения доверительных интервалов предполагают вид закона распределения случайной величины известным. Наиболее полно построение доверительных интервалов точными методами изучено лишь для нормального закона распределения.

Для параметра экспоненциального закона распределения случайной величины известен метод определения доверительных границ, когда моменты отказов образуют пуассоновский поток с интенсивностью λ . Согласно данному методу, доверительные границы $(\lambda_H; \lambda_B)$, покрывающие истинное значение λ с доверительной вероятностью β , определяются с помощью квантилей ХИ-квадрат распределения. Более подробное описание метода можно найти в работах [1, 2]. Стоит отметить, что данный метод для экспоненциального вида закона распределения пользуется большой популярностью у авторов нормативных материалов [3-5]. Ограничением этого метода является то, что оцениваются доверительные границы для параметра экспоненциального закона распределения, определяемого по всей совокупности выборочных данных. Оценка надежности изделия, полученная даже по верхней границе доверительного интервала интенсивности отказов, для самых «слабых» изделий оказывается сильно завышенной.

Проведенный анализ позволил выявить и другие методы построения доверительных интервалов для точечных оценок характеристик надежности, однако общим для всех них является то, что характеристики надежности оцениваются по всей выборке (оцениваются осредненные параметры).

Целью настоящей работы является интервальное оценивание граничных значений характеристик надежности.

2 Определение доверительных интервалов для граничных значений характеристик надежности

С целью определения доверительных интервалов для граничных значений характеристик надежности обратимся к теории порядковых статистик. Плотность распределения порядковой статистики зависит от исходного распределения $F(x)$, ранга m и изменяется с изменением объема выборки N следующим образом [6]:

$$(1) \quad f_N(x_{(m)}) = C_N^m [F(x)]^{m-1} [1 - F(x)]^{N-m} f(x).$$

Здесь и далее под случайной величиной X для невосстанавливаемых изделий будет подразумеваться наработка до отказа, для восстанавливаемых изделий – наработка на отказ.

По выражению (1) определим плотности распределения крайних порядковых статистик (минимальной порядковой статистике соответствует $m = 1$, максимальной – $m = N$):

$$(2) \quad f_N(x_{\min}) = N[1 - F(x)]^{N-1} f(x);$$

$$(3) \quad f_N(x_{\max}) = N[F(x)]^{N-1} f(x).$$

Тогда $F_N(x_{\min}) = \int_0^{x_{\min}} N[1 - F(x)]^{N-1} f(x) dx$ – вероятность того, что время наработки

каждого изделия, в том числе и наименьшая наработка (наработка самого «слабого» изделия) окажется больше значения $x_{\min}$.

$F_N(x_{\max}) = \int_0^{x_{\max}} N[F(x)]^{N-1} f(x) dx$ – вероятность того, что время наработки каждого из

делия, в том числе и наибольшая наработка (наработка самого «сильного» изделия) окажется меньше значения $x_{\max}$.

При обработке выборочных данных $F_N(x_{\min})$ и $F_N(x_{\max})$ в первую очередь зависят от вида закона распределения случайной величины (в данной работе предполагается, что он экспоненциальный), параметры которого определяются по выборочным данным. Поскольку точ-

ность оценивания параметров закона распределения зависит главным образом от свойств исходных данных (таких, как объем выборки, точность регистрации данных), то и точность оценивания $F_N(x_{\min})$ и $F_N(x_{\max})$ будет зависеть от них. Возникает необходимость определения зависимости доверительных интервалов для $F_N(x_{\min})$ и $F_N(x_{\max})$ от свойств исходных данных.

Использование доверительных границ параметров закона распределения, определяемых по методам, описанным в разделе 1, не представляется возможным, т.к. они, как уже отмечалось ранее, предполагают оценивание осредненных параметров закона распределения.

При интервальном оценивании вероятности безотказной работы самого «слабого» изделия с доверительной вероятностью β , фактически требуется определить такое ε , чтобы

$$(4) \quad P\left(F_N^*(x_{\min}) \in \left(F_N(\hat{x}_{\min}) - \varepsilon; F_N(\hat{x}_{\min}) + \varepsilon\right)\right) = \beta,$$

где $F_N^*(x_{\min})$ – теоретическая вероятность (вероятность, соответствующая теоретическому закону распределения) того, что наработка самого «слабого» изделия окажется больше значения $x_{\min}$.

Для интервального оценивания вероятности безотказной работы самого «сильного» изделия с доверительной вероятностью β в выражении (4) $x_{\min}$ следует заменить на $x_{\max}$. Тогда $F_N^*(x_{\max})$ будет являться теоретической вероятностью того, что наработка самого «сильного» изделия окажется меньше значения $x_{\max}$.

Для оценивания $F_N(\hat{x}_{\min})$ и $F_N(\hat{x}_{\max})$ по выборке объема N , необходимо сначала оценить параметры распределения $F(x)$ (для рассматриваемого нами случая параметр один – интенсивность отказов $\hat{\lambda}$), затем – плотности распределения вероятностей по формулам (2), (3), где вместо $F(x)$ и $f(x)$ используются соответственно $\hat{F}(x)$ и $\hat{f}(x)$ – интегральная функция распределения и плотность вероятности с точечными оценками параметров. Далее необходимо строить интегральные функции распределения $F_N(\hat{x}_{\min})$ и $F_N(\hat{x}_{\max})$.

Таким образом, для выборки объема N можно оценить вероятности безотказной работы самого «слабого» и самого «сильного» изделий за заданное время $T^{\text{зад}}$. Или, наоборот, при заданной вероятности безотказной работы $P^{\text{зад}}$ можно оценить время, которое проработает самое «слабое» изделие и время, которое проработает самое «сильное» изделие. Однако на практике, как правило, в требованиях по надежности задают $P(T^{\text{зад}})$ – вероятность безотказной работы в течение заданного времени $T^{\text{зад}}$. По мнению авторов статьи, указанное требование по надежности к «среднему» изделию целесообразно дополнять, а в некоторых случаях заменять требованием по надежности к самому «слабому» в смысле надежности изделия.

Оцененные по выборке функции распределения безотказной работы $F_N(\hat{x}_{\min})$ и $F_N(\hat{x}_{\max})$, в силу случайности точечной оценки $\hat{\lambda}$, также случайны. В связи с этим и необходимо оценить доверительные интервалы для $F_N(\hat{x}_{\min})$ и $F_N(\hat{x}_{\max})$ такие, чтобы выполнялось условие (4).

Для определения доверительных интервалов граничных значений характеристик надежности для одного и того же объема выборки N необходимо иметь достаточное количество оценок $\hat{F}_N(x_{\min})$ и $\hat{F}_N(x_{\max})$. Очевидно, что доверительная вероятность β , с которой, например, доверительный интервал вероятности безотказной работы самого «слабого» изделия $\left(\hat{F}_N(x_{\min}) - \varepsilon; \hat{F}_N(x_{\min}) + \varepsilon \right)$ накрывает истинную вероятность $F_N^*(x_{\min})$, будет тем больше, чем больше будет известных оценок $\hat{F}_{\min}(x)$, крайние из которых и будут определять доверительный интервал.

В ходе проведенных исследований для определения доверительных интервалов граничных характеристик надежности выполнялся машинный эксперимент. Отметим, что с этого момента и далее по тексту под $F(x)$, $F_N(x_{\min})$ и $F_N(x_{\max})$ будут иметься в виду вероятности отказа изделий за время x , $x_{\min}$ и $x_{\max}$ соответственно. Схема эксперимента имела следующий вид:

- 1) формировались выборки случайных величин, распределенных по закону распределения $F(x)$ объемом N . Для каждого объема выборки N проводилось k серий по v экспериментов;
- 2) по каждой выборке определялась интенсивность отказа $\hat{\lambda}$. Соответственно формировался двумерный массив $\hat{\lambda}_{i,j}$, где i соответствует номеру эксперимента в j -ой серии;
- 3) для каждой серии экспериментов j ($j = \overline{1; k}$) среди v экспериментов определялись минимальные и максимальные значения $\hat{\lambda} : \hat{\lambda}_{\min}^{(j)} = \min(\hat{\lambda}_{i,j})$; $\hat{\lambda}_{\max}^{(j)} = \max(\hat{\lambda}_{i,j})$, где $i = \overline{1; v}$;
- 4) для полученных крайних значений $\hat{\lambda}_{\min}^{(j)}$ и $\hat{\lambda}_{\max}^{(j)}$ оценивались их средние:
$$\mu(\hat{\lambda}_{\min}) = \frac{\sum_{j=1}^k \hat{\lambda}_{\min}^{(j)}}{k}; \quad \mu(\hat{\lambda}_{\max}) = \frac{\sum_{j=1}^k \hat{\lambda}_{\max}^{(j)}}{k};$$
- 5) строились нижние (при $\hat{\lambda} = \mu(\hat{\lambda}_{\min})$) и верхние (при $\hat{\lambda} = \mu(\hat{\lambda}_{\max})$) доверительные границы для $F_N(x_{\min})$ и $F_N(x_{\max})$;
- 6) если N не достигло заданного максимального значения, то объем выборки N увеличивался и осуществлялся переход к пункту 1)

Доверительная вероятность β , с которой оцениваются доверительные интервалы для $F_N(x_{\min})$ и $F_N(x_{\max})$ в приведенной схеме зависят от выбора значений k и v (количество серий и количество экспериментов в каждой серии). Очевидно, что чем больше k и v , тем доверительная вероятность β выше.

Аналогичные исследования были проведены для случая «зашумленных» выборочных данных. Рассматривалось два закона распределения помехи – равномерный и нормальный, с различными параметрами.

На рисунках 1, 2 приведены результаты вычислительного эксперимента, в ходе выполнения которого проводилось 50 серий по 100 экспериментов.

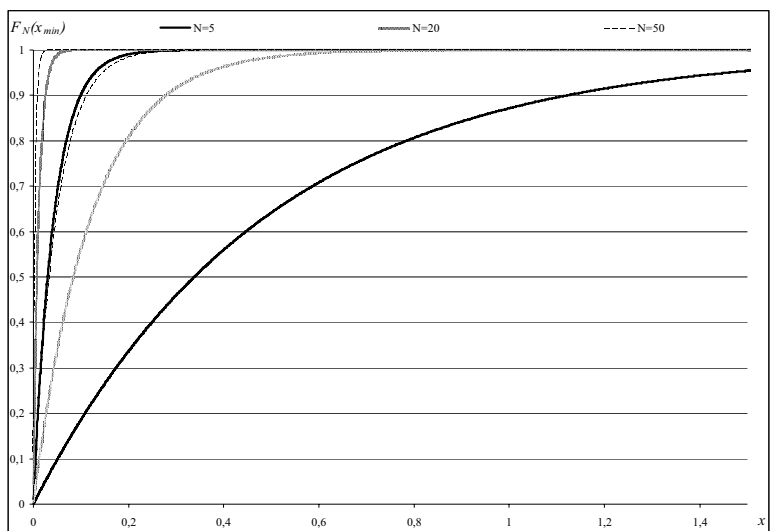


Рисунок 1 – Доверительные границы вероятности отказа самого «слабого» изделия

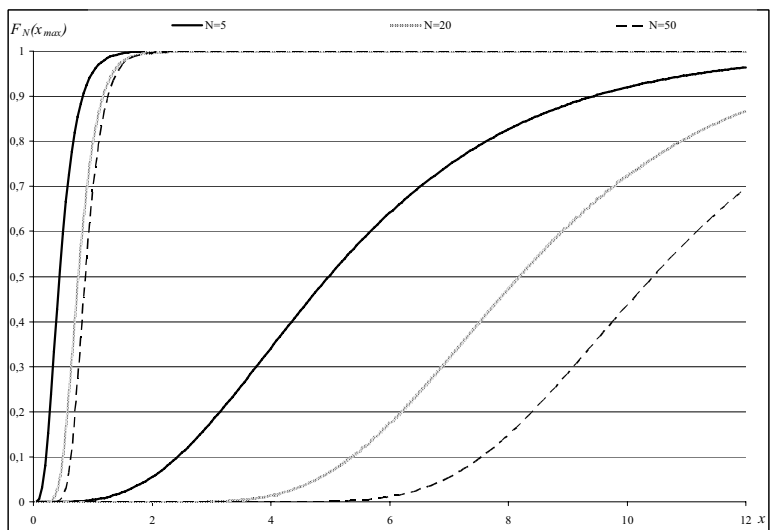


Рисунок 2 – Доверительные границы вероятности отказа самого «сильного» изделия

Для каждого объема выборки строились доверительные интервалы. На рисунках 1, 2 изображены верхние и нижние доверительные границы для каждого объема выборки ($N = 5, 20, 50$). Приведенные на рисунках данные показывают, что ширина доверительных интервалов для $F_N(x_{\min})$ меньше ширины доверительных интервалов для $F_N(x_{\max})$ в $1,35 \div 1,42$ раза. Отсюда следует, что при прочих равных условиях вероятность безотказной работы для «слабых» изделий оценивается заметно точнее, чем для «сильных» изделий.

На рисунке 3 представлены нижние и верхние доверительные границы вероятности отказа для самого «слабого» изделия, наработка до отказа которого подчинена $F_N(x_{\min})$ и «среднего» изделия с наработкой, распределенной по $F(x)$.

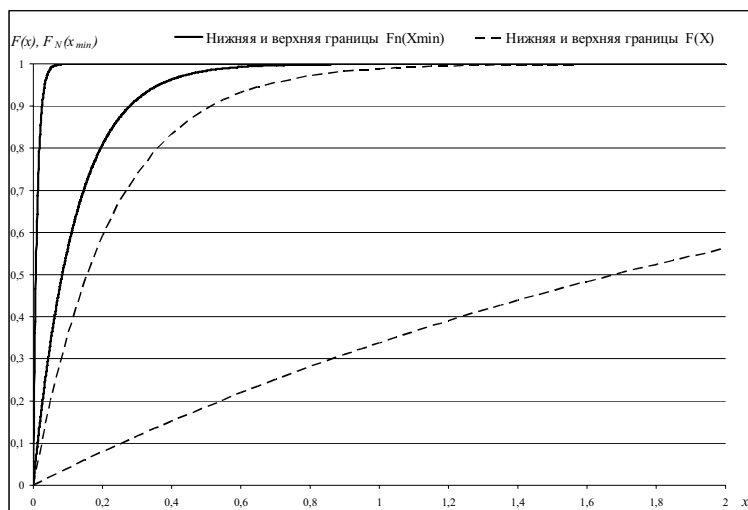


Рисунок 3 – Доверительные границы вероятности отказа самого «слабого» и «среднего» изделий; объем выборки $N = 20$

Полученные результаты позволяют заключить, что доверительные границы, соответствующие самому «слабому» изделию, образуют более узкий доверительный интервал, чем доверительные границы, соответствующие «среднему» в смысле надежности изделию.

Как уже было отмечено в разделе 1, оценка надежности изделия, полученная даже по верхней доверительной границе для «среднего» изделия, оказывается сильно завышенной для изделия «слабого». Из рисунка 3 видно, что интервальное оценивание надежности изделий традиционными методами не может быть применено при оценивании граничных значений характеристик надежности.

Заключение

Для одного и того же объема выборки, при заданной доверительной вероятности, доверительный интервал вероятности безотказной работы самых «слабых» изделий более узкий, чем доверительные интервалы для «средних» или самых «сильных» изделий. При этом существенно то, что значение нижней доверительной границы для «слабого» изделия может быть больше значения верхней доверительной границы, оцененной для «среднего» изделия.

Традиционные требования по надежности к «средним» изделиям целесообразно дополнять, а в некоторых случаях заменять требованиями по надежности к самым «слабым» в смысле надежности изделиям.

Список литературы

- [1] Гнеденко Б.В., Беляев Ю.К., Соловьев А.Д. Математические методы в теории надежности. – М.: «Наука», 1965. – 524с.
- [2] Козлов Б.А., Ушаков И.А. Справочник по расчету надежности аппаратуры радиоэлектроники и автоматики. М.: «Советское радио», 1975. – 472с.
- [3] ГОСТ 27.410-87. Надежность в технике. Методы контроля показателей надежности и планы контрольных испытаний на надежность.
- [4] ГОСТ Р 50779.26-2007. Статистические методы. Точечные оценки, доверительные, предикционные и толерантные интервалы для экспоненциального распределения.
- [5] РД 50-690-89. Методические указания. Надежность в технике. Методы оценки показателей надежности по экспериментальным данным.
- [6] Ефимов А.Н. Порядковые статистики – их свойства и приложения. М.: «Знание», 1980. – 64с.

КАТЕГОРНЫЕ МЕТОДЫ СИСТЕМНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ГОРОДА

В.И. Батищев, Н.Г. Губанов

Самарский государственный технический университет
443100, Самара, ул. Молодогвардейская, 244, Россия
vib@list.ru
тел: +7 (846) 337-13-71, +7 (846) 337-12-74

Ключевые слова: *промышленная инфраструктура, транспортная система, системное моделирование, категорные методы*

Abstract

Are given the methods of system modeling and constructing the kategoring models of complex system on industrial infrastructure. Questions of the practical application of data of models in the integrated transport systems.

Введение

Крупномасштабные инфраструктурные промышленные системы и комплексы (КИПС) являются основой современного экономического развития региона. Успешное управление и развитие данных систем обуславливает перспективы развития промышленности, во многом обуславливает специфику структуры экономики, инвестиционную привлекательность региона.

Транспортная система (ТС) является одной из ключевых составляющих КИПС. Опыт экспертов показывает, что только системное решение таких стратегических задач, как улучшение транспортной обстановки в городе, позволяет гармонизировать проблемные области и приводить к устойчивым системным результатам. Игнорирование же системного подхода и попытка решения задач только путём увеличения ресурсов, зачастую не только неэффективно, но может приводить и к ухудшению состояния системы в целом. Например, реконструкция и улучшение отдельных участков транспортной сети может приводить к смещению транспортного спроса и предложения [1], перераспределению нагрузок и, в итоге к незапланированному возникновению дополнительных заторов.

Транспортной системе присущи свойства сложных систем, среди которых следует выделить многоаспектность и неопределенность их поведения; иерархию, структурное подобие и избыточность основных элементов и подсистем ТС, связей между ними многовариантность реализации функций управления на каждом из уровней СТС, территориальную распределенность компонент. Однако ТС как составляющая КИПС имеет ряд особенностей комплексная, а не отраслевая поддержка промышленных объектов, инерционность, связанная с крайне высокими затратами на коренное изменение структуры и направленность на развитие, реконструкцию и модернизацию существующих схем.

В данных условиях информационно-аналитические системы анализа состояния крупномасштабных инфраструктурных промышленных систем (ИАС КИПС), являются основным средством и инструментом системных исследований в данной области

Это обусловлено с одной стороны, усложнением технических систем, когда эффективное формирование и отбор технических и организационных решений требует анализа десятков тысяч параметров [1,2,3], кроме того зачастую необходима не просто оценка отдельных параметров, а некоторой топологической структуры, что накладывает дополнительные сложности.

Системы данного класса активно внедряются в промышленно развитых странах, так системы транспортного моделирования повсеместно охватывают экономически развитые страны. Основными задачами, решаемыми при помощи данных систем, на разных уровнях принятия решений, являются:

моделирование, анализ и оптимизация структуры и параметров городской транспортной сети:

- повременный анализ загрузки дорог;
- имитация транспортной ситуации при ограничении движения на участках дорог;
- анализ эффективности введения в эксплуатацию новых участков ТС;
- прогноз транспортной ситуации с учётом перспектив развития жилищно-социальной инфраструктуры районов;

моделирование, анализ и оптимизация системы общественного транспорта:

- разработка новых и повышение эффективности существующих маршрутных схем общественного транспорта;
- согласование интервалов движения и маршрутов различных видов общественного транспорта;
- формирование сети пересадочных пунктов;

визуализация транспортных потоков различных районов сети:

- оперативный анализ загрузки дорог, перекрёстков, развязок, зон парковки, пересадочных пунктов;
- анализ транспортных схем стоянок и подъездов к крупным социально- культурным и промышленным объектам;

оптимизация и согласование работы светофоров.

Создание вышеупомянутых систем является крайне трудоёмкой задачей. Например, программный инструментарий городской транспортной инфраструктуры фирмы PTV-Vision для города, с численностью населения до 1 млн. человек стоит около 150 тыс. долл., то цена компьютерной модели достигает 400-500 тыс. долл.

Создание новых методов создания таких систем является важной научной проблемой в области системного анализа, управления и обработки информации в промышленности.

Создание комплексной методологии анализа и построения информационно-аналитических систем оценки состояния сложных технических объектов лежит в русле современных тенденций к интеграции информационно-измерительных систем, систем имитационного моделирования, систем интеллектуального анализа данных, а также подсистем управления базами данных и базами знаний.

Эффективное функционирование систем транспортного моделирования предполагает обработку разнородных данных:

- данные, заложенные в технической документации по комплексной транспортной системе (КТС) – отражённые в градостраительной документации, в частности протяжённости участков дорог, их ширина, количество полос, качество покрытия;
- данные геоинформационного характера –схемы, снимки со спутников зондирования поверхности Земли, электронные карты и т.д.;
- измерительная информация: интенсивности движения на участках дорог, перекрёстках, данные измерения производятся по специальным методикам вручную, либо при помощи автоматизированных систем;
- данные социально-экономического характера: число, категории проживающих в районах жителей, численность работников предприятий, количество посетителей офисных центров, торгово-развлекательных комплексов, вокзалов, спортивных сооружений;
- данные, накопленные в результате эксплуатации подобных систем в других регионах.

В качестве некоторого обобщения основных источников, формирующих информационное пространство, можно назвать: данные на выходе информационно-измерительных систем,

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 сужающих область его применения, в тоже время есть существенные предпосылки для системной интеграции перечисленных ресурсов. Применение комбинации подходов правдоподобного и достоверного вывода, позволит получать новые нелинейные эффекты при синтезе информационно-аналитических систем.

Специалисты [4,5] указывают на неточность исходных данных, в качестве основной причиной неточности анализа состояния сложных систем. Неполнота и противоречивость данных о системе обусловлена дороговизной, неэффективностью, а зачастую и невозможностью получения полной информации об объекте и среде его функционирования, разнородностью информации об объекте в виде: точечных замеров и значений параметров; допустимых интервалов их изменения; статистических законов распределения для отдельных величин; нечетких критериев и ограничений, полученных от специалистов-экспертов.

Возникает необходимость в конструктивном формальном аппарате инвариантном к представлению и обработке разнородной информации из вышеперечисленных источников. Анализ современных тенденций, связанных с автоматизацией оценки состояния сложных технических объектов показал, что существенное усложнение объекта анализа приводит к тому, что результаты, полученные с использованием отдельных, разрозненных, хотя и глубоко исследованных, методов системного анализа, управления, интеллектуальных технологий не приносят вполне удовлетворительного результата. Это подтверждается активизацией, на настоящий момент, исследований, опирающихся на синтез различных методов, формирования некоторых надпредметных метасистем, формирующих семантические конструкции, обобщающие накопленный опыт, методологии и информационные технологии системных исследований. Сложность объекта анализа, объективно, в силу необходимости выполнения условия адекватности, порождает и сложность информационной системы анализа состояния. Данный факт определяет важность и актуальность разработки конструктивных методологий анализа, синтеза и управления информационными системами анализа вкупе с объектами анализа. Постоянно увеличивающаяся стоимость информационных ресурсов в современной экономике, обуславливает прагматические требования к максимальному использованию накопленных баз данных, баз знаний, фактографических и документальных систем. Данный факт определяет актуальность вопросов отчуждения, адаптации и повторного использования накопленных моделей, технических решений. Несмотря на обилие научно-технических идей, методов и информационных технологий переноса результатов исследования системных закономерностей с одного объекта исследования на другой, вопрос остаётся до сих пор не вполне решённым из-за уникальности объекта анализа. Данный факт ведёт к необходимости дополнительных процедур декомпозиции, некоторых допущений, формирования и анализа гипотез для выявления и проверки условий эквивалентности объектов анализа.

Анализ показал перспективу локальной организации для построения систем данного класса, это обусловлено относительной самостоятельностью, элементов сложноструктурированного объекта анализа, а также исходя из постановки задачи исследования – существенный дефицит информации об организации объекта анализа в целом и наличия, тоже время, данных отдельных элементов о других подсистемах собранных с других объектов.

1 Категорные методы представления и структуризации информации для транспортного системного моделирования

Основываясь на категорных методах представления и структуризации информации в информационных системах анализа состояния сложных объектов [6] и учитывая специфику формирования транспортных систем построен формально-математический аппарат на основе категорного подхода, инвариантный к видам обрабатываемой информации и этапам обработки данных.

Анализ средств представления данных для формирования многомодельных комплексов показал перспективу использования категорно-функторного аппарата, который, основываясь на гомоморфном (структурно эквивалентном) отображении, позволяет описывать объекты инвариантно их внутренней структуре через морфизмы (отличия) их друг от друга. Предложен формально-математический аппарат на основе категорного подхода для представления данных, основанный на включении сформированной категории обобщённых вычислительных моделей в продукционные системы представления знаний, что позволило с единых позиций подойти к формализации данных и процессов на различных этапах обработки информации.

Как было отмечено выше, конструктивным путём снижения неопределённости в процессах предварительной подготовки данных процедур поддержки принятия решений является синтез дедуктивных, индуктивных и абдуктивных методов логического вывода [7,8]. Данные методы основаны на, таких общенаучных понятиях, как отношения «общее-частное».

Структура и функционирование аналитических систем - S зависит от следующих информационных сущностей: объекта анализа (СТО)- Q ; цели функционирования аналитической системы - G , определяемой конкретной задачей принятия решения; полимодельного комплекса, задающего структуру системы- M ; среды, определяющей параметры системы - C , а также отношений между данными структурами $R = (r_{Q,M}, r_{Q,C}, r_{Q,G}, r_{M,C}, r_{Q,M}, r_{Q,C})$.

Пусть $d = \langle n_i^d, C_d \rangle$, где n_i^d - имя параметра объекта анализа СТО; C_d - значение параметра n_i^d . Обобщая фреймовую модель представления декларативных знаний представим информационные источники (ИИ) в следующем виде: $D = \langle D^N, D^L, D^K \rangle$, где D база данных; D^N - данные с измерительного тракта системы; D^L - данные, накопленные в процессе эксплуатации систем подобного класса в других регионах; D^K - данные, аккумулированные в градостроительной документации.

В случае D^N выполняется следующее условие $D^N = \langle X_k^{in} = X_k^{out}, F_j^{X_k^{in} \rightarrow X_k^{out}} = \emptyset \rangle$. D^L - данные представляют собой «чёрный ящик» предметом мониторинга является множество входных и множество выходных параметров, когда по входным и выходным значениям восстанавливается (подбирается) модель (отображение) входных параметров в выходные $D^L = \langle X_k^{in}, X_k^{out}, F_j^{X_k^{in} \rightarrow X_k^{out}} = \emptyset \rangle$; D^K данные (знания), полученные как результат научно-исследовательской и опытно-конструкторской деятельности $D^K = \langle X_k^{in}, X_k^{out}, F_j^{X_k^{in} \rightarrow X_k^{out}} \rangle$. Приняв во внимание, что составляющие системы - программные объекты и взяв за основу систему продукций, рассмотрим следующую формальную модель $P_i = \langle M, M', R_i, O_i \rangle$, где в качестве множества заданных литералов M_i продукционной системы и множества формируемых литералов M_i' продукционной системы определены обобщённые вычислительные модели, R_i - множество продукций i -го вида, O_i - множество процедур присвоения i -го вида. $M = \langle A, F_M \rangle$,

где $A = \{\alpha_i, i = 1, \dots, n\}$ - конечное множество параметров состояния объекта, F_M - конечное множество отношений на множестве параметров из A . $F = \langle f_i, i = 1, \dots, k | \alpha \in A \rangle$ отношение на множестве параметров $f = \langle A, gr(f) \rangle$. Множество всех отображений ω для всех отношений $f \in F_M$, входные $in(\omega) = Z_A^{in}$ параметры для оператора ω , выходные $out(\omega) = Z_A^{out}$ параметры для оператора ω .

В качестве объектов категории M определены вычислительные модели $Ob(M_i^k)$; для каждой пары объектов $Ob(M_i^k)$ и $Ob(M_j^k)$ определены множество, морфизмов $Hom(M_i^k, M_j^k)$; для любой тройки объектов определена композиция $Ob(M_i^k)$, $Ob(M_j^k)$ и $Ob(M_l^k)$; морфизмов $\varphi \in Hom(M_i^k, M_j^k)$ и $\psi \in Hom(M_j^k, M_l^k)$ определена композиция $\varphi\psi \in Hom(M_i^k, M_l^k)$; для каждого объекта $Ob(M_i^k)$ определен единичный морфизм $1_x \in Hom(M_i^k, M_i^k)$.

2 Методы структурирования данных и формирования многоуровневых моделей информационных систем анализа состояния транспортных систем

При таком аппарате формализации специалисты выделяют следующие уровни [7,8] представления системной модели: параметрический уровень; структурный уровень, включающий в себя контурный уровень, структурный непроектируемый уровень, структурный проектируемый уровень; семантический уровень, включающий в себя функциональный уровень, семантический уровень. Все перечисленные уровни представления описываются в форме системы преобразования обобщённых вычислительных моделей, изложенной в предыдущем разделе.

Данная система многоуровневого представления позволила создать базу знаний, обобщив фрагменты существующих транспортных систем. Для обобщения был реализован подход, основанный на методах адаптивного резонанса [7], заключающийся в поддержке конкурирующих гипотез на различных уровнях представления распознаваемого объекта.

На основе предложенного формального аппарата создана методология целевого формирования полимодельного комплекса, который характеризуется как разнородная сетевая структура с иерархическими элементами. Созданы методы автоматического формирования множества алгоритмов вычисления целевых параметров на основе анализа предварительной обработки данных. Созданы и исследованы алгоритмы реализации разработанных методов индуктивного вывода.

Взяв за основу подход [8], к построению порядка на множестве образов, сформируем правила структурирования полученной информации: если M_b^k - базис модели, (M_0^k, ψ) - исходная ситуация, а (M_i^k, λ) - производная ситуация, $\lambda \in Hom(M_i^k, M_b^k)$ & $\exists \omega \in Hom(M_0^k, M_i^k)$ - условие сопоставимости то:

$$\exists (\mu \in Hom(M_i^k, M_j^k)) \rightarrow ((M_i^k, \varphi) N (M_j^k, \nu)), \text{ где } N \text{ операция наследования.}$$

Условие обобщения двух моделей выразится в следующем виде: $(M_i^k, \varphi); (M_j^k, \nu); \exists \eta: M_i^k \rightarrow M_m^k, \exists \mu: M_j^k \rightarrow M_m^k$ & $\exists \eta 1: M_i^k \rightarrow M_{m1}^k, \exists \mu 1: M_j^k \rightarrow M_{m1}^k$ & $\exists (\chi \in Hom(M_m^k, M_{im1}^k)) \rightarrow (M_m^k, \beta)$.

Правило определения частного случая: $(M_i^k, \varphi); (M_j^k, \nu); \exists \eta: M_i^k \rightarrow M_m^k \ \& \ \exists \mu: M_j^k \rightarrow M_m^k \ \exists \eta 1: M_i^k \rightarrow M_{m1}^k \ \& \ \exists \mu 1: M_j^k \rightarrow M_{m1}^k \ \& \ \exists (\vartheta \in Hom(M_n^k, M_{n1}^k)) \rightarrow (M_n^k, \beta)$.

В результате формируется структура из множества классов моделей, каждая из которых представлена иерархической структурой, элементы которой связаны отношением «общее-частное»

При формировании многомодельных комплексов применяется следующая стратегия оперирования вычислительными моделями [9]: модель является объектом дедуктивного вывода и формирует более детальный результат, либо модель является объектом индуктивного вывода для структур более высокой иерархии.

Таким образом, задание цели анализа вызывает активизацию нескольких конкурирующих вычислительных схем $\Upsilon = (\Gamma_1, \Gamma_2, \dots, \Gamma_n)$, формирование которых осуществляется на основе $I(\Upsilon, \gamma_j^k)$ множества игровых ситуаций.

Заключение

Предложенные методы многоуровневого формального представления, распознавания и обобщения фрагментов транспортной сети была сформирована база знаний, включающая в себя несколько десятков классов элементов транспортной сети. Данная база позволила существенно снизить затраты по созданию системной модели транспортной системы г. Самара.

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] 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.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] 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.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 08-08-00288-а)

ПРАКТИКА, ПРОБЛЕМЫ И МОДЕЛИ НУМЕРАЦИИ СТРУКТУРНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ КРЕДИТНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ В СВЕТЕ УЧЕНИЯ А.Ф. ЛОСЕВА О ЧИСЛЕ

А.М. Кистанов

Самарский государственный технический университет
443071, Самара, ул. Молодогвардейская, 244, Россия
plast@solid.ru

Ключевые слова: структура, наглядные структуры, отношения наглядности, алгебраическая решетка, линейная нумерация, структурная нумерация, логическая теория числа

Abstract

The practice, problems and models of numbering banks structural elements are considered in this article. The base result in this research based on Losev's logical number theory.

Введение

Достижение основной задачи кредитной организации – получение прибыли – влечет необходимость оперативно, часто в реальном времени, реагировать на требования, выдвигаемые рынком, постоянно предлагать новые услуги и новое качество обслуживания. Но мы точно не знаем, что потребует рынок в следующий момент, поскольку «ожидания в социуме неопределенны» [1]. Необходимы мощные аппаратные и программные средства сбора, обработки, агрегирования данных, способные перерабатывать колоссальное количество информации и создавать требуемые банковские продукты. При создании и эксплуатации подобных информационных подсистем в кредитной организации приходится сталкиваться с проблемой нумерации структурных элементов как самой кредитной организации, так и элементов ее технических подсистем, с их недостаточной структурированностью, отсутствием эффективной возможности взаимодействия с другими системами и внутренними механизмами развития.

Под нумерацией в рамках настоящей статьи мы понимаем присвоение номеров элементам сложной системы (как субъектам, так и объектам), технологическим процессам, подсистемам, результатам деятельности. Нумерация относится также к структуре информационного взаимодействия между нумерованными элементами и множествами. Нумерация эффективна в том случае, если обеспечивает максимально быструю реакцию на требования рынка.

Кредитная организация рассматривается нами как организационная или, точнее, как организационно-экономическая система [2] – объединение людей, совместно реализующих некоторую программу или цель (в данном случае получение прибыли) и действующих на основе определенных процедур и правил.

Термин «структура» в данной статье имеет множественное значение. Мы рассматриваем структуру подразделений кредитной организации, информационную структуру, структуру эксплуатируемых систем, в частности, платежных. Термин «структура» имеет и чисто математическое определение [3], которое мы используем для построения моделей, как основного средства [2] исследования реальных организационных систем. Когда речь идет исключительно о математической структуре, будем использовать термин «решетка».

Механистический и диалектический подход к понятию числа

Все сказанное выше требует внимательно и глубоко подходить к проблеме нумерации. Число, являясь «перво-принципом самого различения» [4 с. 131], играет здесь определяющую роль. Понятие и определение числа менялось на протяжении всей истории науки и отражало

существующие в каждое время тенденции. Так Лейбниц отмечал: «Движение есть перемена пространства. Фигура же, величина, положение, число и т.д. суть не виды бытия, реально отличные от пространства, материи и движения, но лишь отношения между пространством, материей, движением и их частями, созданные превосшедшим умом. Фигуру я определяю как границу протяженного, величину – как число частей в протяженном. Число я определяю так: единица + единица + единица и т.д., т.е. совокупность единиц» [12].

Совершенно иной подход изложен в работах А.Ф. Лосева: «В нем (числе) тоже должна быть какая-то собственная и специфическая реальность, независимая от нашего сознания и мышления, какая-то материя, существующая сама по себе и не создаваемая никакими субъективными актами, какой-то принцип объективности всех свойств числа, которые найдет в нем последующий анализ, какой-то до-мыслимый, вне-мыслимый носитель всех свойств числа, всей истории числа, всей многообразной структуры его, какой-то до-структурный, до-рефлексивный, а, стало быть, и пока еще не расчлененный в себе акт, первичное полагание, само бытие числа, в котором совпадут потом все признаки, все свойства, все функции числа, находящиеся в нем нами на путях расчленяющего мышления.

...понятие любого числа само по себе не состоит из данного количества единиц, но есть нечто абсолютно простое и неразложимое» [4, стр. 100, 102].

В этих высказываниях совершенно противоположные взгляды на природу числа. Определение Лейбница отражает господствующий в то время механицизм. Число у Лейбница не является самостоятельным явлением бытия, «но лишь отношением между пространством, материей» и более того, создано «превосшедшим умом». Его число – это формальное соединение единиц. У Лосева число – объективная реальность, не сводимая к механическому соединению.

Вещь и имя. Структура и нумерация

Говоря о нумерации элементов решеток, приведем несколько цитат А.Ф. Лосева. «... имя вещи есть сила самой вещи. Поэтому я прямо утверждаю, что имя неотделимо от вещи, что оно есть оформление самой вещи в ее объективном существовании». [5 стр. 27]. «Тут-то мы и подходим к вскрытию природы имени. Ибо это мышление, восприятие, ощущение, чувствование и т.д. вещей только и возможно при помощи их имен, через эти имена.» [5, стр. 43].

В случае с решетками мы можем сопоставить термину «вещь» термин «решетка» или «элемент решетки». Термину «имя» – «обозначение (нумерация) элементов решетки».

Структура и обозначение элементов структуры должны органично составлять единое целое. На практике такое встречается не всегда. Чаще всего элементы сопоставляются натуральному ряду чисел, либо им присваиваются семантически осмысленные имена.

Убедительный пример влияния нумерации элементов структуры на вычислительный процесс показан на рисунке 1. Здесь с использованием диадического принципа построения [6 стр. 298] и отношений наглядности [7], изображена решетка $L(m,n)=L(2,3)$ которая показывает множество упорядоченных по возрастанию слов двухэлементного алфавита («1», «2»). Длина каждого слова не более 3-х символов. Слева на рисунке используется линейная нумерация элементов. Справа – диадическая или структурная нумерация. Использование диадической нумерации естественным образом отражает свойства решетки, в частности, складывая числа, указанные справа

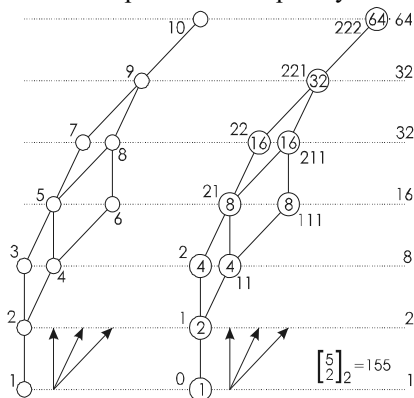


Рисунок 1 – Линейная (слева) и диадическая (справа) нумерация элементов решетки $L(2,3)$

от решетки, получим q -биномиальные коэффициенты Гаусса, которые обычно вычисляются по рекуррентной формуле
$$\begin{bmatrix} n-1 \\ m-1 \end{bmatrix}_q = \frac{q^m - 1}{q^n - 1} \cdot \begin{bmatrix} n \\ m \end{bmatrix}_q.$$

Сами же числа (64, 32, 32, 16, 8, 2, 1) получаются как двойка (поскольку $q=2$), возведенная в степень суммы элементов обозначения. Например, $64=2^{(2+2+2)}$.

Кроме того, номер элемента однозначно определяет место его нахождения в решетке, что сокращает и упрощает вычислительные процедуры, поскольку «именовать значит точно и резко отличать именуемое от всего прочего» [5, стр. 45]. Для первого случая определить место элемента в решетке по его номеру, без каких-либо дополнительных таблиц соответствия, невозможно. По большей части на практике так и делается. К любому номеру ставятся в соответствие так называемые классификаторы. Указанный пример убедительно показывает, что если нумерация соответствует структуре нумеруемых элементов, то возникает интегративное свойство структуры. Структура и нумерация становятся единым целым. В противном случае, они две независимые самостоятельные сущности.

Итак, можно с полным основанием согласиться, что «...имя вещи – по преимуществу есть орудие общения с нею» [5, стр. 44]. Говоря словами О. Шпенглера, «Именами и числами человеческое понимание приобретает власть над миром» [11].

Примеры решения задач нумерации

В 1996 г. была создана и в течение 15-ти лет функционирует локальная платежная система банка «Солидарность» для расчетов на АЗС Самарской области. Задача максимального жизненного цикла системы для достижения максимальной прибыли была определяющей. В начале проектирования системы существовала неопределенность, связанная с возможными вариантами территориального развития и возможными будущими потребительскими свойствами системы. Указанная неопределенность связана как с деятельностью банка, так и с деятельностью окружающего социума. Кроме того, существовали ограничения технического характера: объем памяти чипа, скорости передачи данных, состояние телекоммуникаций и т.д. Иными словами, снять неопределенность за счет увеличения физических характеристик системы было невозможно хотя бы потому, что элементов с такими характеристиками не было. Другим ограничением являлась непрерывность работы системы. Если в процессе эксплуатации потребовалось бы внести изменения, то такие изменения должны проходить без остановки системы и не доставлять неудобств клиентам. В этих условиях было решено, что структура информационного взаимодействия между элементами системы должна изначально предусматривать возможность развития. Дальнейшая практика показала правильность принятого решения, когда оперативно выполнялись требования клиентов на предоставление новых сервисов или требовалось изменение структуры кредитной организации.

Другой пример. В процессе производственной деятельности кредитная организация не только увеличивает сеть своих структурных подразделений на территории региона, но и расширяет, добавляет новые услуги, банковские продукты, изменяет механизмы обслуживания клиентов. Структурные подразделения могут объединяться, разъединяться, переходить с одного уровня иерархии на другой. Все указанные действия диктуются потребностями рынка, на которые необходимо реагировать максимально быстро и максимально качественно. Если взять отдельное направление – электронный бизнес, то финансовые показатели этого вида деятельности напрямую зависят от механизмов планирования, отчетности, стимулирования всех структурных подразделений. А эти механизмы в свою очередь напрямую зависят от возможностей максимально быстро перестроить под новые задачи действующие информационные процессы с учетом всех множеств нумерованных элементов.

Предлагаемая рынку структура банковских карточных продуктов, в частности, дебетовые, кредитные, дебетовые с овердрафтом, кредитные с льготным периодом, кредитные с ан-

нуитентными платежами, с погашением суммы кредита в конце срока или в течение периода кредитования и т.д. должны иметь соответствующие тарифы, документы, принятые соответствующими органами управления, и т.д. Но самое главное, весь продуктовый ряд должен иметь возможность изменяться и расширяться. Здесь мы говорим не о простом перечислении, а именно о структуре банковских продуктов, поскольку все они экономически, технологически, организационно и т.д. взаимосвязаны между собой.

Некоторые тенденции, проблемы, противоречия в нумерациях элементов организационно-экономических систем

Перечислим ряд проблем, связанных с нумерацией. В настоящее время существует тенденция объединения кредитных организаций в банковские группы. При последующем поглощении возникает необходимость перерегистрации всех счетов поглощаемых организаций. Причем новые счета, вероятнее всего, семантически никак не будут связаны со старыми. Равным образом возникает задача перерегистрации всех структурных подразделений.

Крупнейшие сети платежных терминалов самообслуживания в России и СНГ объединяют свои капиталы, создают общую стратегию развития. Однако объединение сервисов, доступных для пользователя, происходит не так быстро, как объединение ресурсов. И не редки случаи, когда объединенная сеть продолжает предоставлять разрозненные услуги. Это связано в первую очередь с разными технологиями нумерации и протоколами взаимодействия.

Присвоение БИНов (базовых идентификационных номеров) платежными системами своим участникам – пример «жадного» подхода к созданию нумерационного пространства. За полувековую историю израсходовано только треть БИНов. Чего не скажешь о финансовых протоколах взаимодействия платежной системы с банкоматами. Структура протокола стала сдерживающим фактором развития услуг, предоставляемых посредством банкоматов.

Социум постоянно привлекает новые и новые нумерации. Например, использование, по возможности, базы электронных авиабилетов для анализа платежеспособности клиента по выданным кредитам ввиду недостаточности других данных. Такие номера необходимо не просто поместить в какой-то раздел дискового пространства, а сделать их элементом всей ИТ и организационной структуры. А для этого организационная система, и в первую очередь ее информационная подсистема должна быть способна к восприятию новых числовых данных.

Здесь хотелось бы высказать диалектический принцип для систем, в которых требуется нумерация элементов. *Систему нельзя создать, пока не будут пронумерованы все ее элементы, но задав нумерацию, мы ограничиваем тем самым жизненный цикл системы.*

Структура номера банковского лицевого счета в соответствии с положением ЦБ РФ содержит следующие поля: номер раздела(1), номер счета первого порядка(2), номер счета второго порядка(2), код валюты(3), контрольный разряд(1), номер структурного подразделения(4), порядковый номер лицевого счета (7). Здесь в скобках указано количество разрядов.

Проанализируем структуру номера лицевого счета. Если предположить, что структура самой кредитной организации не меняется, то можно линейно занумеровать все подразделения от 1 до 9999. Но любое изменение структуры кредитной организации сразу влечет вопрос: что делать с номером счета клиента, если подразделение было закрыто, объединено и т.д. Как правило, в таких случаях считается, что номер структурного подразделения в счете означает то подразделение, в котором счет был открыт, или заключается дополнительное соглашение с клиентом, в котором ему предоставляется новый счет. Если речь идет от десятках или сотнях тысяч счетов, то это становится очень затратным решением.

Общественно-историческая роль числа

Числа входят в нашу жизнь очень стремительно. За последние десятилетия кроме адреса, и паспорта добавились номера счетов, банковских карт, ИНН, пенсионных и медицинских

свидетельств, различного вида электронные адреса, электронные кошельки, номера электронных билетов и т.д. Человек волей или неволей окружает себя все новыми и новыми числами, которые изменяя нашу жизнь, приводят в действие новые системы нумераций и правила их взаимодействия. Обращение к истокам зарождения числа поможет глубже понять его суть, правильно строить нумерации, ориентированные на развитие.

Приведем несколько высказываний А.Ф. Лосева, касающиеся общественно-исторической роли числа. «Число до такой степени пронизывает всю платоновскую действительность, что можно сказать, она вся только и состоит из одних чисел. ...эта числовая пронизанность не только всего неживого, но и всего живого у Платона, включая человека и общество, достигает такой исключительности и претендует на такую общезначимость, которая заставляет нас считать Платона безусловно отцом или прародителем кибернетики» [8, стр. 369].

«...современное платоноведение установило не просто смысловую природу числа у Платона, но и природу силовую, энергичную. Число у Платона не просто мыслится, не просто есть умственная абстракция и даже не просто самостоятельно существующий смысловой предмет, то есть не просто есть структура. Эта числовая структура активно определяет собою формы вещей... Поэтому число у Платона есть то, что создает собою вещи и весь их распорядок. Число является как бы каким-то заряженным оружием, и заряженность эта есть заряженность бытием и самой действительностью. [7 с. 369-370].

Энергичность числа применительно к банковской сфере означает исходное, предопределенное стремление всех элементов структуры к развитию, которое является естественным отражением числа как первопринципа всякого различия. Не зависимо от стратегии развития организации, внешняя среда (клиенты) неизменно, регулярно требует новых услуг, сервисов, расширения территориального присутствия или способов доставки услуг.

Мы видим, что роль числа в живой и неживой природе, роль числа как регулятора государственной и общественной жизни была изложена еще в античные времена, обобщена, доведена до нас А.Ф. Лосевым.

Моделирование структур и операций над ними

По определению [9] модель – это система, исследование которой служит средством о получении информации о другой системе; способ существования знаний; метод исследования объектов (систем), основанный на оперировании с моделями.

Все три определения в равной степени подходят нам для создания моделей структур и нумерации элементов структур. Данные модели могут в равной степени относиться ко всем перечисленным видам структур. Рассмотрим решетки $L(m,n)$, изображенные на рисунке 2.

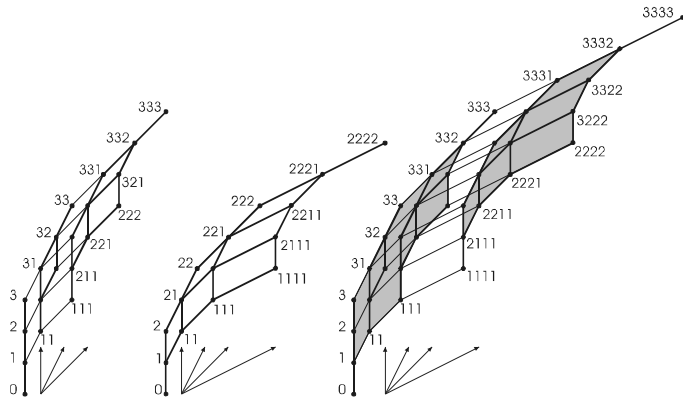


Рисунок 2 – Решетки $L(3,3)$, $L(2,4)$ и их сумма $L(3,4)$ соответственно слева, в центре и справа

На рисунке «... отдельные единицы, «входящие» в число, не мыслятся здесь абсолютно самостоятельно, т.е. в зависимости только от своей категориальной значимости, что они мыслятся так или иначе расставленными. Вообще им свойственна здесь идея порядка» [10]. Смысловое содержание каждого элемента решетки зависит от конкретной предметной области. В частности, элемент «321» на решетке $L(3,3)$ может означать иерархическую структуру управления в виде дерева, когда имеется три уровня, на каждом из которых имеется соответственно 3, 2, и 1 подчиненных подразделения.

На рисунке показана наглядная модель объединения решеток, упорядоченных одинаковыми отношениями наглядности. Указанные на $L(3,4)$ затененные области соответствуют $L(3,3)$ и $L(2,4)$. Нумерация элементов суммарной решетки $L(3,4)$ формально сводится к перенесению номеров элементов решетки $L(3,2)$ и добавлению номеров «1111» к каждому элементу решетки $L(2,4)$. Такая процедура предельно проста и, самое главное, не препятствует дальнейшему развитию структуры.

«... Число здесь не только принцип конструкции, не только организующее начало. Число является здесь моделью всей жизни, причем модель эта тут же создает и все моделируемые им формы действительности» [8, стр. 377].

Заключение

В статье перечислены некоторые проблемы и задачи организационных систем, связанные с нумерацией. Обобщая с коллегами, изучая опыт других кредитных организаций, можно сделать вывод, что задача нумерации не единична и является актуальной и для других сложных систем с учетом их специфических задач. Упрощенный подход к задаче нумерации затрудняет эффективное использование имеющихся ресурсов и возможностей, приводит к неоправданной трате средств.

Список литературы

- [1] Витих В.А. Парадигма ограниченной рациональности принятия решений – 1.- Вестник Самарского государственного технического ун-та (Серия «Технические науки»), №3(25), 2009, с.22-31.
- [2] 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. – 264 с.
- [3] Бурбаки Н. Очерки по истории математики. — М., Изд-во Ин. лит., 1963. с. 245—259 (перевод с фр. Д.Н. Ленского; первоначально напечатан в сб. «Математическое просвещение», Вып. 5, 1960, с. 99-112.
- [4] Лосев А.Ф. Логическая теория числа // Вопросы философии, 1994, № 11. - С. 82-140.
- [5] Лосев А.Ф. Вещь и имя. Самое само. – СПб.: «Издательство Олега Абышко», 2008, 576 с.
- [6] Лосев А.Ф. История античной эстетики. Ранняя классика/ М.: ООО «Издательство АСТ», 2000. – 621 с.
- [7] Кистанов А.М. Орлов С.П. Наглядный комбинаторный анализ информационных транзакционных систем. – Самара, СНЦ РАН.- 2008. – 206 с.
- [8] Лосев А.Ф. История античной эстетики. Софисты. Сократ. Платон/ М.: ООО «Издательство АСТ», 2000. – 846 с.
- [9] Соколов Б.В., Юсупов Р.М. Квалиметрия моделей – проблемы и пути развития. С-Петербургский институт информатики и автоматизации. ПУМСС –2003.(с.22-37).
- [10] Лосев А.Ф. Хаос и структура. Сост. А.А. Тахо-Годи и В.П. Троицкого, общ. ред. А.А. Тахо-Годи и В.П. Троицкого. – М.:мысль, 1997.-831 с., 1 л. портр.
- [11] Шпенглер О. Закат Европы. Очерки морфологии мировой истории: Гештальт и действительность. М.: Эксмо, 2006.-800 с.
- [12] Лейбниц Г.-В. Сочинения в четырех томах: Т.1./ Ред. и сост., авт. вступит. статьи и примеч. В.В. Соколов; перевод Я.М. Боровского и др. - М.: Мысль, 1982. – 636 с.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ КАНОНИЗАЦИИ МАТРИЦ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ СПЕКТРА СИСТЕМНЫХ НУЛЕЙ МЕТОДАМИ МОДАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ

А.З. Асанов, Д.Н. Демьянов

Казанский (Приволжский) федеральный университет
423812, Набережные Челны, пр-т Сююмбике, 10А, Россия
demyanovdn@mail.ru
тел: +7 (8552) 38-34-05, факс: +7 (8552) 58-88-94

Ключевые слова: многосвязный динамический объект, системный нуль, канонизация матриц, модальное управление

Abstract

In this work a new method of the transmission zeros spectrum control for a multiconnected dynamic object, based on the input matrix change, is offered. The algorithm of reduction of the original problem to the modal control problem with the help of matrix canonization method was worked out. The offered method unites advantages of known principles which ensure its high performance.

Введение

Проектируемые и используемые в настоящее время технологические объекты, как правило, имеют достаточно сложную структуру, обусловленную их многомерностью и многосвязностью. Для формального описания структурных особенностей сложного динамического объекта достаточно часто используется понятие “системный нуль” [1]. Расположение системных нулей на комплексной плоскости характеризует управляемость и наблюдаемость объекта, а также особенности взаимодействия каналов управления.

Показано, что принципиальная разрешимость целого ряда задач управления, адаптации и идентификации, а также свойства получаемых решений существенно зависят от спектра системных нулей [2]. Наиболее негативное влияние на характер протекания процессов в динамической системе оказывают нули с неотрицательной действительной частью [3]. Их наличие не позволяет создавать качественные системы управления, вызывает сложности при решении задач слежения и подавления возмущений, приводит к возникновению “нулевых” режимов работы и т. д. Таким образом, одним из важнейших условий построения качественной системы управления многосвязным динамическим объектом является учёт и, в случае необходимости, коррекция спектра его системных нулей.

Существующие в настоящее время методы управления спектром системных нулей можно разделить на три основных группы [4]: методы шунтирования, методы, основанные на введении обратной связи, и методы, предполагающие модификацию входной или выходной матрицы динамического объекта.

Методы шунтирования достаточно широко применяются в электрических, гидравлических и пневматических системах. Однако, их использование в механических или электромеханических системах ограничено сложностью (иногда и невозможностью) физической реализации. Кроме того, расчёт параметров шунта для многосвязного объекта является весьма трудоёмкой задачей.

Методы, основанные на введении обратной связи, позволяют одновременно управлять и полюсами, и системными нулями. Существенным ограничением для методов данной группы является то, что они применимы лишь к весьма малому классу динамических объектов (несоб-

ственные объекты), а расчётные формулы для коэффициентов обратной связи в настоящее время получены лишь для некоторых частных случаев.

На практике наиболее широко используется группа методов, предполагающих коррекцию спектра системных нулей путём изменения входной или выходной матрицы (с физической точки зрения это соответствует изменению параметров датчиков или исполнительных механизмов). Как правило, на начальном этапе проектирования системы управления существует определённая свобода выбора указанных параметров, которая может быть использована для обеспечения желаемых структурных свойств [5].

В настоящее время существует несколько основных подходов к выбору матрицы входа или выхода динамического объекта для обеспечения желаемого спектра его системных нулей. Каждый из них характеризуется своими достоинствами, недостатками и областью применения, а также используемым математическим аппаратом.

В представленной работе рассматривается новый метод управления спектром системных нулей путём изменения матрицы выхода, который позволяет получать множество решений задачи в общем виде при минимальном объёме вычислений путём сведения её к задаче модального управления с помощью технологии канонизации матриц [6]. Данный метод сочетает в себе достоинства уже известных подходов, что и обеспечивает его высокую эффективность.

1 Анализ проблематики и постановка задачи

Пусть рассматривается динамический объект, описываемый в пространстве состояний системой уравнений:

$$(1) \quad \begin{cases} \dot{x} = Ax + Bu; \\ y = Cx. \end{cases}$$

Здесь $x \in R^n, u \in R^s, y \in R^m$ – векторы состояния, управления и выхода, A, B, C – числовые матрицы соответствующих размеров. Предполагается, что, $\max(m, s) < n$, $\text{rank } B = s$, $\text{rank } C = m$.

Системными нулями полностью управляемого и наблюдаемого объекта (1) называются числа p_i^z , которые уменьшают нормальный ранг матрицы Розенброка:

$$\forall p_i^z : \text{rank} \begin{bmatrix} p_i^z I_n - A & -B \\ C & 0 \end{bmatrix} < \text{norm} \quad \text{rank} \begin{bmatrix} p I_n - A & -B \\ C & 0 \end{bmatrix}.$$

Задача управления спектром системных нулей, как правило, формулируется следующим образом. Пусть заданы матрицы A и B такие, что $\text{rank } B = s$, $s < n$, пара (A, B) полностью управляема. Требуется сформировать такую матрицу C полного ранга, чтобы заданные числа p_i^z являлись системными нулями объекта (1).

В общем случае поставленная задача является достаточно сложной, поэтому на практике при её решении вводятся следующие ограничения:

- Сформированная матрица C должна обеспечивать полную наблюдаемость пары (A, C) . Это условие будет выполняться, если ни одно из заданных чисел не совпадает с собственными значениями матрицы динамики.
- Число входов объекта равно числу его выходов ($s = m$). Это наиболее часто встречающийся на практике случай: каждому выходному сигналу соответствует своя уставка. Кроме того, показано, что при $s \neq m$ динамический объект, как правило, не имеет системных нулей [5].

Если указанные ограничения выполняются, то число системных нулей объекта (1) составляет $\mu = n - m$, а их значения определяются как корни уравнения:

$$\det R(p) = 0,$$

где $R(p)$ – матрица Розенброка рассматриваемого объекта.

В настоящее время существует два основных подхода к формированию матрицы выхода динамического объекта, обеспечивающей требуемое расположение системных нулей на комплексной плоскости.

Первый подход заключается в сведении исходной задачи к управлению полюсами некоторого объекта путём приведения матриц коэффициентов к канонической форме Йокоямы (матрица динамики является сопровождающей для некоторого матричного полинома, матрица входа состоит из нулевого и единичного блока) [7]. В этом случае для решения задачи могут использоваться широко известные и хорошо отработанные методы модального управления (при практическом использовании – существующие пакеты прикладных программ). Основным недостатком такого подхода является существенная трудоёмкость приведения к канонической форме Йокоямы (в общем случае задача является плохо обусловленной) [8].

Второй подход заключается в факторизации передаточной матрицы динамического объекта и представлении искомой матрицы выхода в виде совокупности делителей нуля второй матрицы-сомножителя (передаточной функции от входа к состоянию) при заданных значениях комплексной переменной [9]. Достоинством указанного подхода является использование высоконадёжных численных методов и простота реализации на цифровых ЭВМ (имеются специальные модули, осуществляющие канонизацию матриц произвольной размерности [10]), а также возможность получения полного множества решений, если оно существует. Основным его недостатком является значительный объём необходимых вычислений: в процессе решения происходит обращение и канонизация нескольких матриц планшетным методом, базирующимся на обобщённом алгоритме Гаусса.

Таким образом, все существующие методы управления спектром системных нулей путём изменения матрицы выхода обладают существенными недостатками, затрудняющими их практическое использование. Следовательно, разработка новых, более эффективных методов формирования спектра системных нулей является актуальной задачей.

2 Разработка метода управления спектром системных нулей

Показано, что системные нули объекта (1) являются инвариантными к невырожденным преобразованиям входа, выхода и переменных состояния [1]. Обозначим:

$$(2) \quad T = - \begin{bmatrix} \tilde{B}^L \\ \tilde{B}^L \end{bmatrix}.$$

Учитывая свойства делителей нуля и канонизаторов, а также введённые ранее ограничения, можно показать, что матрицы T и $\tilde{B}^R$ будут являться квадратными обратимыми. Осуществим невырожденные преобразования входа и состояния динамического объекта:

$$\begin{cases} z = Tx; \\ f = (\tilde{B}^R)^{-1} u. \end{cases}$$

В новых координатах уравнения (1) примут следующий вид:

$$(3) \quad \begin{cases} \dot{z} = TAT^{-1}z + TB\tilde{B}^R u; \\ y = CT^{-1}z. \end{cases}$$

Матрица Розенброка для объекта (3) будет определяться следующим образом:

$$(4) \quad R^*(p) = \begin{bmatrix} pI - TAT^{-1} & -TB\tilde{B}^R \\ CT^{-1} & 0 \end{bmatrix}.$$

Обозначим:

$$(5) \quad A^* = TAT^{-1} = \begin{bmatrix} A_{11}^* & A_{12}^* \\ A_{21}^* & A_{22}^* \end{bmatrix}; \quad T^* = T^{-1} = \begin{bmatrix} T_1^* & T_2^* \end{bmatrix}.$$

Тогда, с учётом соотношения (2), матрица (4) может быть записана следующим образом:

$$(6) \quad R^*(p) = \begin{bmatrix} pI - A_{11}^* & -A_{12}^* & I \\ -A_{21}^* & pI - A_{22}^* & 0 \\ CT_1^* & CT_2^* & 0 \end{bmatrix}.$$

Используя формулы Шура [11], найдём определитель матрицы (6):

$$\det R^*(p) = \det \begin{bmatrix} pI - A_{11}^* & -A_{12}^* & I \\ -A_{21}^* & pI - A_{22}^* & 0 \\ CT_1^* & CT_2^* & 0 \end{bmatrix} = -\det \begin{bmatrix} -A_{21}^* & pI - A_{22}^* \\ CT_1^* & CT_2^* \end{bmatrix}.$$

Пусть матрица C удовлетворяет условию $\det(CT_1^*) \neq 0$. Тогда:

$$\det R^*(p) = -\det \begin{bmatrix} -A_{21}^* & pI - A_{22}^* \\ CT_1^* & CT_2^* \end{bmatrix} = \det(CT_1^*) \det(pI - A_{22}^* + A_{21}^*(CT_1^*)^{-1}CT_2^*).$$

Следовательно, системные нули объекта (3) будут определяться как корни уравнения:

$$(7) \quad \det(pI - A_{22}^* + A_{21}^*(CT_1^*)^{-1}CT_2^*) = 0.$$

Введём следующие обозначения:

$$(8) \quad \begin{cases} A_1 = A_{22}^*; \\ B_1 = A_{21}^*; \\ K = (CT_1^*)^{-1}CT_2^*. \end{cases}$$

Тогда уравнение (7) примет следующий вид:

$$(9) \quad \det(pI - A_1 + B_1K) = 0.$$

В случае, когда матрицы A, B, C заданы и $\det(CT_1^*) \neq 0$, уравнение (9) может быть использовано для вычисления системных нулей.

Пусть заданы матрицы A и B , а матрицу C требуется сформировать таким образом, чтобы обеспечить заданное расположение на комплексной плоскости совокупности системных нулей. В этом случае из соотношения (9) следует эквивалентность задачи управления спектром системных нулей задаче модального управления, решение которой может осуществляться любым из известных способов [12].

Сформировав матрицу K , обеспечивающую требуемые корни уравнения (9), можно определить искомую матрицу выхода из соотношения (8):

$$K = (CT_1^*)^{-1}CT_2^*.$$

Откуда:

$$CT_1^*K = CT_2^*.$$

$$C(T_1^*K - T_2^*) = 0.$$

Используя методику решения линейных матричных уравнений [6], получим:

$$(10) \quad C = \eta \overline{(T_1^*K - T_2^*)}^L,$$

где η – произвольная матрица соответствующей размерности.

Если требуется сформировать матрицу C полного ранга, то матрицу η также следует выбирать полного ранга (это следует из анализа правой части соотношения (10) с учётом свойств делителей нуля). Более того, учитывая обратимость матрицы T^* (а значит, линейную независимость её столбцов), можно показать, что матрица $T_1^* K - T_2^*$ всегда будет являться матрицей полного ранга размером $n \times (n - m)$. Следовательно, её левый делитель нуля будет являться матрицей полного ранга размером $m \times n$, а удовлетворяющая решению поставленной задачи матрица η должна быть квадратной обратимой матрицей размерности m .

Таким образом, наличие второго (произвольного) сомножителя в правой части соотношения (10) формализует инвариантность системных нулей к невырожденному преобразованию выхода.

Используя полученные результаты, можно сформулировать алгоритм нахождения матрицы выхода, обеспечивающей требуемый спектр системных нулей.

Начало алгоритма.

- 1) Вычислить матрицы $\tilde{B}^L, \overline{B}^L$.
- 2) Определить матрицы $A_{21}^*, A_{22}^*, T_1^*, T_2^*$ по формулам (2), (5).
- 3) Определить матрицы A_1, B_1 по формуле (8).
- 4) Если пара (A_1, B_1) является полностью управляемой, то перейти к п. 5, иначе задача не разрешима – конец алгоритма.
- 5) Используя какой-либо из известных методов модального управления, определить матрицу K , обеспечивающую желаемые корни уравнения (9).
- 6) Задать обратимую матрицу η .
- 7) Определить искомую матрицу C по формуле (10).

Конец алгоритма.

Можно показать, что в случае разрешимости задачи модального управления, исходная задача также будет разрешима. При этом правая часть соотношения (10) определяет множество матриц выхода, конкретный экземпляр которого может быть получен путём подстановки любой обратимой матрицы η .

Разработанный алгоритм базируется на использовании известных методов (канонизация матриц, решение задачи модального управления), поэтому он может быть достаточно легко реализован на ЭВМ. При этом, в силу неединственности левого делителя нуля матрицы входа, матрицы A^*, T^* могут быть сформированы таким образом, чтобы обеспечивать хорошую обусловленность задачи.

К достоинствам разработанного метода можно отнести то, что он не требует приведения матрицы динамики объекта к канонической форме Йокямы в отличие от известных методов сведения к задаче модального управления. Кроме того, реализация данного метода требует нахождения лишь одного канонизатора и двух делителей нуля, тогда как использование методов, основанных на факторизации передаточной матрицы, требует обращения и канонизации μ числовых матриц.

Недостатком разработанного метода является то, что итоговое выражение для матрицы C описывает не всё множество решений задачи, а лишь ту его часть, которая удовлетворяет ограничению $\det(C T_1^*) \neq 0$.

Предложенный метод управления спектром системных нулей может быть достаточно легко реализован на ЭВМ благодаря использованию стандартных процедур (канонизация матриц, нахождение модального регулятора, проверка управляемости). Включение представлен-

ного в работе алгоритма в состав существующих программ автоматизированного проектирования позволит на начальном этапе производить, при необходимости, коррекцию неминимально-фазовости создаваемых технических объектов, обеспечивая им требуемые структурные свойства. Всё это позволит разрабатывать качественные системы управления многосвязными динамическими объектами.

Заключение

В работе предложен новый метод управления спектром системных нулей многосвязного динамического объекта путём изменения его матрицы выхода, основанный на сведении исходной задачи к задаче модального управления с помощью технологии канонизации матриц. Разработанный метод является менее трудоёмким, чем уже известные, а также не требует преобразования матрицы динамики объекта к специальной канонической форме. Сформулирован алгоритм решения задачи, который может быть достаточно легко реализован на цифровых ЭВМ благодаря использованию хорошо отработанных стандартных подпрограмм.

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (гранты 08-08-00536, 11-08-00311).

Список литературы

- [1] Смагина Е.М. Вопросы анализа линейных многомерных объектов с использованием понятия нуля системы. – Томск: Изд-во Том. ун-та. 1990. – 160 с.
- [2] Смагина Е.М. Нули линейных многомерных систем. Определение, классификация, применение. // Автоматика и телемеханика. – 1985. – № 12. – С. 5–33.
- [3] Конструирование входных/выходных матриц модели многосвязной динамической системы с заданием некоторых инвариантов / Асанов А.З., Демьянов Д.Н. // Идентификация систем и задачи управления SICPRO'09: Труды VIII Международной конференции. – Москва: ИПУ РАН, 2009. – С. 1390–1421.
- [4] Аналитическое конструирование систем управления многосвязными динамическими объектами с учётом передаточных нулей / Асанов А.З., Демьянов Д.Н. // Проблемы управления и моделирования в сложных системах: Труды XII Международной конференции. – Самара: Самарский НЦ РАН, 2010. – С. 218–223.
- [5] Rosenbrock H.H. State-space and multivariable theory. N.Y.: Wiley, 1970.
- [6] Буков В.Н. Вложение систем. Аналитический подход к анализу и синтезу матричных систем – Калуга: изд. научной лит. Н.Ф. Бочкаревой. 2006. – 720 с.
- [7] Смагина Е.М. Взаимосвязь проблемы задания передаточных нулей и метода модального управления. // Известия РАН. Теория и системы управления. – 1996. – № 2. – С. 39–43.
- [8] Редукция матрицы Розенброка при анализе инвариантных нулей линейной ММО-системы / Мисриханов М.Ш., Рябченко В.Н. // Автоматика и телемеханика. – 2008. – № 10. – С. 31–47.
- [9] Синтез вход/выходных матриц многосвязной динамической системы по заданным передаточным нулям / Асанов А.З., Демьянов Д.Н. // Известия РАН. Теория и системы управления. – 2008. – № 6. – С. 5–18.
- [10] Канонизация матриц произвольного размера средствами Matlab / Асанов А.З., Ахметзянов И.З. // Проектирование научных и инженерных приложений в среде Matlab: Труды II Всероссийской научной конференции. – М.: ИПУ РАН, 2004. – С. 798–804.
- [11] Гантмахер Ф.Р. Теория матриц. – М.: ФИЗМАТЛИТ. 2004. – 560 с.
- [12] Методы классической и современной теории автоматического управления: Учебник в 5-и тт. Т.3: Синтез регуляторов систем автоматического управления / Под ред. К.А. Пупкова и Н.Д. Егупова. – М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2004. – 616 с.

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА УПРАВЛЕНИЯ МНОГОСВЯЗНЫМ ОБЪЕКТОМ С ЗАПАЗДЫВАНИЯМИ ПО ВЫХОДУ С ПРИМЕНЕНИЕМ НАБЛЮДАЮЩЕГО УСТРОЙСТВА

А.З. Асанов, В.С. Каримов

Казанский (Приволжский) федеральный университет
423812, Набережные Челны, пр-т Сююмбике, 10А, Россия
kvs-chelny@mail.ru
тел: +7 (8552) 38-34-05, факс: +7 (8552) 58-88-94

Ключевые слова: *система автоматического управления, многосвязный объект, запаздывания по выходу, наблюдающее устройство, технология вложения систем*

Abstract

Control algorithm design for multivariable controlled plant with time delays on output vector was considered. For reproduction state vector of controlled plant using observation scheme. Design of algorithm on forced component closed-loop dynamic system was carried out on basis of system embedding technology. Compute the algebraical expressions which to determine solution set of problem design and existence conditions this solution.

Введение

Запаздывания, сосредоточенные по выходу в объектах управления, оказывают отрицательное влияние на синтез систем автоматического управления. Они могут привести к автоколебательности, ухудшению качества процессов управления и даже к потере устойчивости системы. Поэтому возникает необходимость управления такими объектами с учетом негативного влияния запаздываний на систему управления, а также с учетом их многосвязности.

Наиболее распространенными методами управления многосвязными объектами с запаздываниями являются методы, использующие аппроксимацию звеньев запаздывания (аппроксимация Паде, рядом Тейлора, апериодическим звеном), и методы оптимального или квазиоптимального управления. Однако, при применении первой группы методов звено запаздывания заменяется аппроксимирующим выражением с некоторой долей погрешности, которая зачастую отрицательно сказывается на качестве управления. Кроме этого происходит усложнение матричной передаточной функции объекта управления, что в дальнейшем ведет к затруднениям, связанным с вычислительной сложностью методов синтеза систем управления. В случае использования методов оптимального управления при некоторых начальных условиях движение в системе становится неоптимальным и возрастает время переходного процесса. А применение квазиоптимальных методов управления не позволяет полностью скомпенсировать влияние запаздывания на динамику системы.

В данной работе разрабатывается алгоритм, позволяющий получить точное аналитическое решение задачи синтеза системы автоматического управления многосвязным объектом с запаздываниями по выходу на основе технологии вложения систем [1, 2]. Предположим, что фазовый вектор состояния объекта недоступен для непосредственного наблюдения. Поэтому при разработке алгоритма предлагается рассматривать систему управления с наблюдающим устройством [3], которое воспроизводит фазовый вектор состояния объекта. С помощью технологии вложения систем будет определяться матричная передаточная функция (МПФ) регулятора и условия, ее определяющие, при которой поведение системы управления будет описываться желаемой матричной передаточной функцией. Разработка алгоритма управления будет проводиться по вынужденной составляющей замкнутой динамической системы.

1 Математическая модель объекта управления и наблюдающего устройства

Пусть наблюдаемый и управляемый линейный стационарный объект с сосредоточенными запаздываниями по выходу может быть представлен в виде дифференциально-разностных уравнений:

$$(1) \quad \begin{aligned} \dot{x}(t) &= Ax(t) + Bu(t), \\ y(t) &= \sum_{i=0}^l C_i x(t - \tau_i), \end{aligned}$$

где $\tau_0 = 0$, $0 < \tau_1, \tau_2, \dots, \tau_l$ – постоянные времена запаздываний, $i = 0, 1, \dots, l$, $u(t) \in R^s$ – вектор входных переменных, $y(t) \in R^m$ – вектор выходных переменных, $x(t) \in R^n$ – фазовый вектор объекта управления. В нашем случае матрица A имеет размер $n \times n$, $B – n \times s$, $C_i – m \times n$. Матрицы C_i являются постоянными матрицами при временах запаздывания τ_i .

Слагаемые $C_i x(t - \tau_i)$ описывают запаздывания сигналов на время τ_i во внутренних каналах объекта управления (ОУ).

Начальные условия зададим с учетом запаздывания сигналов в объекте управления – формально будем рассматривать отрицательные моменты времени $t < 0$, предполагая, что в объекте происходили динамические процессы до начального момента времени:

$$x(t) = \varphi_x(t), \quad t_0 - \tau \leq t \leq t_0,$$

где τ – наибольшее время запаздывания.

Согласно [4], объект управления должен быть устойчивым, в противном случае можно получить неустойчивую систему автоматического управления.

Предположим, что фазовый вектор состояния объекта недоступен для непосредственного наблюдения, тогда для воспроизведения текущего фазового вектора $x(t)$ объекта по информации о сигналах $u(t)$ и $y(t)$ используем наблюдающее устройство.

Пусть наблюдающее устройство, вычисляющее текущий фазовый вектор $x(t)$ объекта может быть представлено уравнениями:

$$(2) \quad \begin{aligned} \dot{\hat{x}}(t) &= A\hat{x}(t) + Bu(t) + L(y(t) - \hat{y}(t)), \\ \hat{y}(t) &= \sum_{i=0}^l C_i \hat{x}(t - \tau_i), \end{aligned}$$

где $\hat{x}(t)$ – фазовый вектор состояния наблюдающего устройства, $\hat{y}(t)$ – вектор выхода наблюдающего устройства, L – матрица наблюдателя.

3 Разработка алгоритма управления с применением технологии вложения систем

Применение преобразования Лапласа к уравнениям (1) дает операторную форму описания объекта:

$$(3) \quad \begin{aligned} px(p) &= Ax(p) + Bu(p), \\ y(p) &= \sum_{i=0}^l C_i e^{-\tau_i p} x(p). \end{aligned}$$

Пусть закон управления в общем случае описывается матричным уравнением:

$$(4) \quad v(p) = K(p)\hat{x}(p) + u(p),$$

где $K(p)$ – МПФ регулятора размера $n \times s$, $v(p) \in R^s$ – вектор управления на входе системы.

Допустим, что желаемое поведение САУ задается МПФ $E_y^v(p)$ от управляющих воздействий v к выходу y .

Для ОУ (1), наблюдающего устройства (2) и закона управления (4) необходимо найти МПФ регулятора $K(p)$ или условия ее определяющие, при которых поведение САУ (рисунок 1) будет описываться желаемой МПФ $E_y^v(p)$.

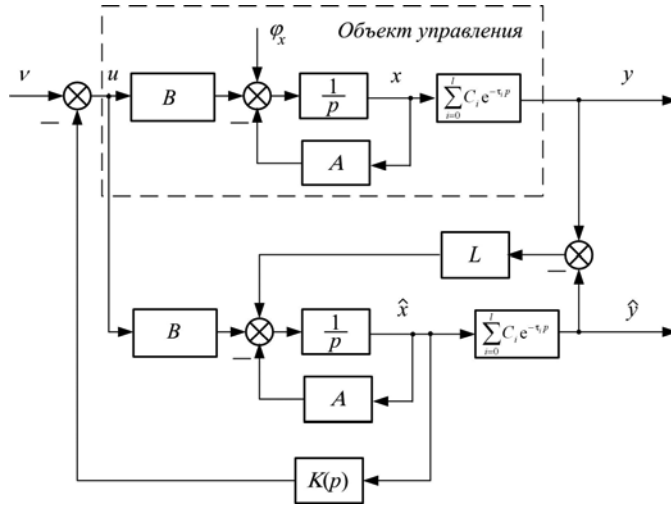


Рисунок 1 – Система автоматического управления с запаздываниями

Далее при синтезе системы управления будем использовать технологию вложения систем [1, 2]. С учетом уравнений (1), (2), (4) и выполнения процедур метода вложения систем проблемная матрица (проматрица) рассматриваемой задачи будет иметь вид:

$$\Omega(p) = \begin{bmatrix} (pI_n - A) & 0 & 0 & 0 & -B & 0 \\ 0 & (pI_n - A) & -L & L & -B & 0 \\ -\sum_{i=0}^l C_i e^{-\tau_i p} & 0 & I_m & 0 & 0 & 0 \\ -\sum_{i=0}^l C_i e^{-\tau_i p} & 0 & 0 & I_m & 0 & 0 \\ 0 & -K & 0 & 0 & -I_m & I_s \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & I_s \end{bmatrix}.$$

Репроматрица системы в обобщенном виде представляется следующим образом

$$\Omega^{-1}(p) = \begin{bmatrix} E_x^\varphi(p) & * & * & * & * & E_x^v(p) \\ E_{\hat{x}}^\varphi(p) & * & * & * & * & E_{\hat{x}}^v(p) \\ E_y^\varphi(p) & * & * & * & * & E_y^v(p) \\ E_{\hat{y}}^\varphi(p) & * & * & * & * & E_{\hat{y}}^v(p) \\ E_u^\varphi(p) & * & * & * & * & E_u^v(p) \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & I_s \end{bmatrix}.$$

Здесь $E_j^i(p)$ – МПФ от параметра i к параметру j . Блоки, не представляющие особого интереса, отмечены звездочками.

Матрицы вложения α и β , используемые при вложении систем имеют вид:

$$\alpha = [0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ I_s]^T, \beta = [0 \ 0 \ I_m \ 0 \ 0 \ 0] \quad \text{при } \omega = E_y^v(p),$$

где ω – образ синтезируемой системы – желаемая передаточная функция системы.

После выполнения процедур технологии вложения – последовательной факторизации матриц $\Omega = \Sigma \Xi$, $\alpha = \Sigma \delta$, $\beta = \pi \Xi$, $\omega = \pi \delta$, можно получить уравнения, которым должна удовлетворять МПФ регулятора $K(p)$ при синтезе по вынужденной составляющей $E_y^v(p)$ замкнутой динамической системы.

Для решения матричных уравнений, которые получаются в результате применения процедур вложения, возможно применение аппарата канонизации матриц [5].

Применение технологии вложения при синтезе по вынужденной составляющей дает следующее уравнение относительно искомой передаточной матрицы $K(p)$:

$$(5) \quad \sum_{i=0}^l C_i e^{-\tau_i p} (pI_n - A)^{-1} B - E_y^v(p) = E_y^v(p) K(p) (pI_n - A)^{-1} B.$$

Используя результаты [1, 2] множество регуляторов в этом случае можно описать формулами:

$$(6) \quad \{K(p)\}_{\mu, \eta} = (E_y^v(p))^{\sim} \left[\sum_{i=0}^l C_i e^{-\tau_i p} (pI_n - A)^{-1} B - E_y^v(p) \right] ((pI_n - A)^{-1} B)^{\sim} + \overline{E_y^v(p)}^R \mu(p) + \\ + \overline{\eta(p)(pI_n - A)^{-1} B}^L,$$

где $\eta(p)$, $\mu(p)$ – произвольные дробно-полиномиальные матрицы соответствующих размеров. Условия разрешимости уравнения (5), а значит и существования множества решений (6) имеют вид:

$$(7) \quad \overline{E_y^v(p)}^L \left[\sum_{i=0}^l C_i e^{-\tau_i p} (pI_n - A)^{-1} B - E_y^v(p) \right] = 0, \\ \left[\sum_{i=0}^l C_i e^{-\tau_i p} (pI_n - A)^{-1} B - E_y^v(p) \right] ((pI_n - A)^{-1} B)^R = 0,$$

или

$$(8) \quad \left[\sum_{i=0}^l C_i e^{-\tau_i p} (pI_n - A)^{-1} B - E_y^v(p) \right] = E_y^v(p) (E_y^v(p))^{\sim R} \chi(p), \\ \left[\sum_{i=0}^l C_i e^{-\tau_i p} (pI_n - A)^{-1} B - E_y^v(p) \right] = \xi(p) ((pI_n - A)^{-1} B)^{\sim L} ((pI_n - A)^{-1} B),$$

где $\xi(p)$, $\chi(p)$ – произвольные дробно-полиномиальные матрицы соответствующего размера.

Таким образом, получено соотношение (6) с условиями существования этого решения (7) или (8), которые позволяют найти множество регуляторов, удовлетворяющих закону управления (4).

4 Алгоритм синтеза САУ с применением наблюдающего устройства

Алгоритм проводится по вынужденной составляющей движения замкнутой динамической системы.

1) Определяются математическая модель объекта управления в виде дифференциально-разностных уравнений вида (1) и закон управления (4).

- 2) Формируется желаемая МПФ $E_y^v(p)$.
- 3) Осуществляется проверка условий существования решения матричного уравнения по формулам (7) или (8). Если условия разрешимости не выполняются, то переход на этап 2) и коррекция желаемой МПФ $E_y^v(p)$.
- 4) По формуле (6) вычисляется регулятор $K(p)$ с $\mu = 0$ и $\eta=0$ при синтезе по вынужденной составляющей.
- 5) При необходимости возможно получение множества решений регулятора $K(p)$ по формуле (6) с последующим решением задачи оптимизации [6] на найденном множестве регуляторов и предкомпенсаторов.

5 Пример

Пусть объект управления с запаздываниями по выходу может быть описан следующими матрицами в пространстве состояний:

$$A = \begin{bmatrix} -1 & 0 & -3 \\ 0 & -2 & 0 \\ 0 & -2 & -1 \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 2 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, C_0 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, C_1 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, C_2 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix},$$

Время запаздываний при матрицах C_1 и C_2 : $\tau_1 = 1$ с, $\tau_2 = 2$ с. Закон управления определяется уравнением (4).

Пусть желаемая матричная передаточная функция от входа v к выходу y может иметь вид:

$$E_y^v = \begin{bmatrix} \frac{p+2}{p^2+3p+3} & \frac{12(p^3+4p^2+5p+2)}{(p+1)(p+2)(p^2+3p+3)(p^2+3p+4)} & \frac{-3}{(p^2+3p+3)} \\ 0 & \frac{4e^{-p}(p+1)}{p^2+3p+4} & 0 \\ 0 & \frac{-4e^{-2p}(p+1)}{(p+2)(p^2+3p+4)} & \frac{e^{-2p}}{p+2} \end{bmatrix}.$$

Проверим существование множества решений регулятора (6) по условиям (7). Для этого найдем левый делитель нуля матрицы $E_y^v(p)$ и правый делитель нуля матрицы $(pI_n - A)^{-1}B$ с помощью метода канонизации матриц [5]:

$$\overline{E_y^v(p)}^L = 0, \quad \overline{(pI_n - A)^{-1}B}^R = 0.$$

Следовательно, условия существования множества решений регулятора (6) выполняются. По формуле (6) вычислим МПФ регулятора $K(p)$ при $\mu = 0$ и $\eta=0$:

$$K(p) = \begin{bmatrix} \frac{1}{p+2} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{p+1} & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

Заключение

Разработан алгоритм управления многосвязным объектом с запаздываниями по управлению. Для воспроизведения недоступного для наблюдения фазового вектора состояния объекта применялось наблюдающее устройство.

Найдено множество решений задачи синтеза и условия разрешимости задачи с помощью применения технологии вложения систем. Приведен числовой пример, подтверждающий справедливость предложенного алгоритма управления.

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (гранты 08-08-00536, 11-08-00311).

Список литературы

- [1] Буков В.Н. Вложение систем. Аналитический подход к анализу и синтезу матричных систем.– Калуга: Издательство научной литературы Н.Ф. Бочкаревой, 2006. – 720 с.
- [2] Асанов А.З. Технология вложения систем и ее приложения: учебное пособие / А.З. Асанов; Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т – Уфа: УГАТУ, 2007 –227 с.
- [3] Кузовков Н.Т. Модальное управление и наблюдающие устройства. – М., «Машиностроение», 1976, 184 с.
- [4] Кирьянен А.И. Устойчивость систем с последействием и их применения. СПб.: СПбГУ, 1994.-236 с.
- [5] Буков В. Н., Рябченко В. Н., Косьянчук В. В., Зябин Е. Ю. Решение линейных матричных уравнений методом канонизации // Вестник Киевского университета. Серия: Физико-математические науки.– Вып.1.–2002.– С.19–28.
- [6] Буков В. Н., Рябченко В. Н., Зубов Н. Е. Вложение и оптимизация линейных систем // Автоматика и телемеханика. – 2002. –№ 5.– С. 12–23.

ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ СРЕДЫ КАК СИСТЕМЫ

А.З. Асанов¹, Л.З. Гумерова²

¹Казанский (Приволжский) федеральный университет
423812, Набережные Челны, пр. Суюмбике, 10А, Россия
askhat.asanov@yandex.ru

тел: +7 (8552) 38-34-05, факс: +7 (8552) 58-88-94

²Набережночелнинский государственный педагогический институт
423806, Набережные Челны, ул. Низаметдинова, 28, Россия
ngpi@tatngpi.ru

тел: +7 (8552) 46-62-16, факс: +7 (8552) 46-62-16

Ключевые слова: системный анализ, образовательная среда, структура образовательной среды, свойства образовательной среды

Abstract

The article is devoted to the issues of system analysis of educational environment as an object of management. The main components of educational environment are depicted; the basic properties of those components an educational system as a whole are characterized.

Введение

Состояние и развитие современного общества в значительной мере зависит от эффективности образования, которая в свою очередь должна меняться, отражая новые требования общества, обусловленные развитием науки и производства. Проблема управления новой, адекватной современным требованиям системой образования стоит остро. Одним из задач развивающего образования может стать управление образовательной средой способной обеспечить комплекс возможностей для саморазвития всех субъектов образовательного процесса.

Существуют различные подходы к определению структуры образовательной среды. Так, в ряде работ (например [1]) в качестве структурных единиц образовательной среды выделяют физическое окружение, человеческие факторы и программа обучения. В этом случае к физическому окружению относят помещения и инфраструктура образовательного учреждения, различное учебное оборудование, помещения и инфраструктура жилья, инфраструктура микрорайона проживания и многое другое. К человеческим факторам относят преподавательский состав, социальное поведение, морально-психологическое состояние учебной группы (класса), персональное и межличностное пространство обучающихся, половозрастные и национальные особенности обучающихся и преподавателей и т.п. К образовательной программе отнесены такие факторы, как структура деятельности учащихся, стиль преподавания и характер контроля, кооперативные или же конкурентные формы обучения, содержание программ обучения (их традиционность, консерватизм или гибкость) и т.п.

В других работах (например, [2]) рассматривают структуру "среды существования и развития человека", где выделяют социально-контактную часть среды, информационную часть среды, соматическую часть и предметную часть среды. При этом к социально-контактной части среды относят такие элементы, как культуру, опыт, образ жизни, деятельность, поведение, взаимоотношения (сотрудничества, взаимопомощи, господства), учреждения, организации, группы и их представителей, с которыми человеку реально приходится взаимодействовать и т.д. Информационная часть среды включает такие компоненты, как правила внутреннего распорядка, устав учебного заведения, законы государства, традиции данного сообщества, фактически принятые нормы отношения к людям, их мнениям, правила личной и общественной

безопасности, требования, приказы, советы, пожелания, поручения, сообщения и пр., т.е. персонально адресованные воздействия. Соматическую часть среды по отношению к психике человека составляет собственное тело и его состояния. К предметной части среды относят материальные условия жизни, учебы, работы, быта, физико-химические, биологические, гигиенические условия и т.д.

Представленные подходы имеют четко выраженный эколого-психологический характер и достаточно хорошо согласуются с теорией "экологического комплекса" [3] – одной из наиболее фундаментальных теорий функционального единства человеческого сообщества и среды.

Рассмотрение образовательной среды не ограничивается только эколого-психологическим подходом. Так, в работах [4, 5] об образовательной среде говорится как об информационной среде обучения, которая понимается как система средств общения с человеческим знанием, служащая как для хранения, структурирования и представления информации, составляющей содержание накопленного знания, так и для ее передачи, переработки и обогащения. При этом важнейшим качеством информационной среды обучения объявляется ее возможность обеспечивать интерактивный режим взаимодействия с субъектом, то есть поддержание диалога между учащимся и средой обучения. Фактически, информационная среда рассматривается в контексте моделирования предметной среды, приемов обучения и характера взаимодействий, т.е. посредством выделения отмеченных ранее пространственно-предметного, технологического и социального компонентов образовательной среды[6].

С развитием общества ее система образования, призванная обеспечивать воспроизводство необходимой квалификации членов общества, также претерпевает изменения[7]. Эти изменения в национальном масштабе проявляются, прежде всего, в информатизации образования, в создании и использовании более совершенных технологий обучения, широкое внедрение специальных технических средств. В этой связи представляется актуальным рассмотрение основных системных свойств современных образовательных сред.

Основная часть

Образовательная среда – совокупность элементов социально-пространственно-предметного окружения, создающая систему влияний и условий формирования и развития личности по желаемому образцу.

Образовательная среда современных образовательных систем складывается во взаимодействии новых образовательных комплексов – систем, инновационных и традиционных моделей, сложных систем стандартов образования, сложного интегрирующего содержание учебных программ и планов, высокотехнологичных образовательных средств и образовательного материала, и главное, нового качества взаимоотношений, диалогического общения между субъектами образования: детьми, их родителями и педагогами.

Образовательная среда функционирует в организованной и структурированной внешней среде. Поэтому взаимосвязь сред образовательной и внешней можно считать внешней характеристикой образовательной среды, в значительной степени определяющей ее свойства или внутренние характеристики. Это соответствует фундаментальному общесистемному принципу взаимодействия системы и среды[8]. Существование системы в окружении некоторой среды становится возможно благодаря тому, что образовательная среда обладает рядом системных свойств, таких как равновесие, устойчивость, эффективность, надежность, адаптация, самоорганизация и т.д.

Свойство – проявление определенного качества системы (среды, объекта), обуславливающего ее различие или общность с другими объектами, зависящее от способа взаимодействия системы (среды, объекта) и субъекта.

Из определения «образовательной среды» следует, что эта среда фактически является системой с присущими всем системам главными свойствами – целостность, единство, эмерджентность.

Целостность образовательной среды означает, что каждый элемент среды вносит вклад в реализацию целевой функции этой системы и проявляется в том, что среда обладает собственной закономерностью функциональности, собственной целью.

Единство – свойство, достигаемое посредством определенных взаимосвязей и взаимодействий элементов образовательной среды и проявляющиеся в возникновении новых свойств, которыми элементы среды не обладают.

Эмерджентность – свойство образовательной среды, обуславливающее появление новых свойств и качеств, не присущих элементам, входящих в состав среды.

Помимо приведенных выше «главных» системных свойств образовательной среды есть основание говорить о следующих системных свойствах этой среды.

Организованность – сложное свойство образовательной среды, заключающиеся в наличие структуры и функционирования (поведения). Непременной принадлежностью образовательной среды является ее компоненты, именно те структурные образования, из которых состоит целое и без чего оно не возможно.

Структурность – это упорядоченность образовательной среды – определенный набор и расположение элементов со связями между ними. Между функцией и структурой системы существует взаимосвязь: изменение функций влечет за собой изменение структуры и наоборот.

Важным свойством образовательной среды является наличие поведения — действия, изменений, функционирования, движения и т.д. Считается, что поведение среды связано с окружением, т.е. с другими объектами, системами, средами, с которыми она входит в контакт или вступает в определенные взаимоотношения.

Процесс целенаправленного изменения во времени состояния образовательной среды называется поведением. В отличие от управления, когда изменение состояния среды достигается за счет внешних воздействий, поведение реализуется исключительно самой образовательной средой, исходя из собственных целей.

Как только принята гипотеза о поведении образовательной среды, можно утверждать, что среда функционирует, она динамическая и ей присущи все свойства этого класса систем. О динамичности образовательной среды можно говорить вследствие того, что, используются новые методические разработки и технологии, варьируются учебные планы в зависимости от конкретной обстановки, изменяется техническое оснащение учебного процесса, изменяется преподавательский состав и т. д.

Свойство функциональности – это проявление определенных свойств (функций) при взаимодействии с внешней средой. Здесь же определяется цель (назначение системы) как желаемый конечный результат. Функционирование образовательной среды – это воспроизведение пространства зависимых состояний системы и динамики их изменения во времени и под влиянием внутренних и внешних факторов.

Движение образовательной среды – проявление внутренних процессов в среде, которыми обуславливается переход среды из одного состояния в другое.

Равновесие – способность образовательной среды в отсутствие внешних возмущающих воздействий сохранять свое поведение и выдерживать некоторую ограниченную траекторию.

Примером может служить так называемая среда безмятежного потребления [5]. Здесь работа никогда не служит какой-либо идее, не рассматривается как место в жизни, не является самоцелью, а лишь средством для обеспечения себе удобств, желательных условий. В подобной воспитывающей среде формируется личность, которая в принципе довольна тем, что у нее есть. Основной чертой такой личности является жизненная пассивность, неспособность к напряжению и борьбе. Безмятежный тип образовательной среды складывается в таких учеб-

ных заведениях, когда доброжелательное, «душевное» отношение к учащимся не подкрепляется соответствующей требовательностью, когда не ставятся трудные задачи и новые перспективы, не стимулируется необходимое для их личностного развития напряжение духовных, интеллектуальных и физических сил.

Фундаментальным свойством образовательной среды является ее устойчивость – способность сохранять требуемые свойства в условиях воздействия внешних возмущений или способность системы, выведенной из устойчивого состояния, самостоятельно возвращаться в это состояние.

Устойчивость образовательной среды характеризует ее стабильность во времени. Если другие параметры дают характеристику образовательной среды на конкретный момент, «здесь и сейчас», то свойство устойчивости позволяет характеризовать образовательную среду во времени. К наиболее устойчивому типу можно отнести догматическую образовательную среду, творческая же образовательная среда, без сомнения, относится к наименее устойчивому типу. Можно также отметить определенную зависимость устойчивости образовательной среды от ее модальности.

В реальных условиях эффективность образовательной среды тем выше, чем большей мере среда обладает свойством адаптации – способностью изменять свое поведение при изменениях в ней самой и/или во внешней среде. Адаптируемость – свойство изменять поведение с целью сохранения, улучшения или приобретения новых качеств. Обязательным условием возможности адаптации является наличие обратных связей.

Адаптация может быть целевой, функциональной, структурной, объектной и параметрической. Основой адаптации образовательной среды служит дифференциация видов деятельности любой ее структурной части среды, независимо от ее размера и цели.

Динамический характер образовательной среды и ее внешнего окружения требует дополнения адаптации способностью перестройки системы или ее элементов во времени. Это свойство может быть обозначено как гибкость среды (системы, технологии, структуры т.д.).

Родственным, но не тождественным адаптации, является свойство самоорганизации, определяемое как способность образовательной среды изменять свою структуру (состав и взаимосвязи элементов), взаимосвязи с окружающей средой при изменении в ней самой и/или во внешней среде с целью с целью достижения определенной цели.

Жизнедеятельность образовательной среды является целенаправленным процессом т. е. некоторым процессом функционирования, который организуется и проводится для достижения определенной цели (определенного результата). Свойство эффективности образовательной среды характеризует уровень достижения цели. При этом цель, как единое целое, может состоять множества результатов, оцениваемых через результативность (целевой эффект), ресурсоемкость, оперативность (расход времени). Поэтому эффективность иногда называют комплексным свойством целенаправленного процесса.

Свойство жизнеспособности – это способность образовательной среды к самоорганизации и развитию в конкурентной среде. Это свойство среды выступает обобщенной характеристикой адаптации, устойчивости, гибкости системы и ее взаимодействия с окружающей средой.

Надежность – это свойство образовательной среды, заключающееся в ее способности в определенных неблагоприятных условиях и в течение заданного периода времени выполнять назначенные функции, сохраняя эффективность функционирования на установленном уровне.

Надежность образовательной среды зависит от надежности элементов и связей, соединяющих эти элементы в определенную целостность. Надежность образовательной среды устанавливается на стадии создания, обеспечивается на стадии управления, и проявляется при мониторинге результатов обучения.

Заключение

Образовательная среда, как совокупность элементов социально-пространственно-предметного окружения, создающая систему влияний, обладает целым рядом системных свойств. Приведен анализ системных свойств образовательной среды, как объекта управления.

Благодарности

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант 11-08-00311)

Список литературы

- [1] Ковалев Г.А., Абрамов Ю.Г. Пространственный фактор школьной среды: альтернативы и перспективы //Учителю об экологии детства. М. 1996. С. 189-199.
- [2] Климов Е.А. О среде обитания человека глазами психолога. Выступление на пленарном заседании Первой российской конференции по экологической психологии (Москва, 3-5 декабря 1996г.)
- [3] Duncan O.D., Schnore L.F. Cultural, behavioral and ecological perspectives in the study of social organization //Amer. J. Sociology. 1969, Vol. 65, 2, p. 132-136.
- [4] Башмаков М., Поздняков С., Резник Н. Информационная среда обучения. – С.-Пб., 1997.
- [5] Авдеев В.В. Психотехнология решения проблемных ситуаций. – М. 1997.
- [6] Слободчиков В.И. О понятии образовательной среды в концепции развивающего образования. Выступление на пленарном заседании Первой Российской конференции по экологической психологии (Москва, 3-5 декабря 1996г.)
- [7] Новиков Д.А. Введение в теорию управления образовательными системами. –М.: Эгвес, 2009.
- [8] Фрейдина Е.В. Исследование систем управления: учебное пособие /Е.В. Фрейдина ; под ред. Ю.В.Гусева – М. : 2008.

МЕТОДЫ И АЛГОРИТМЫ СИНТЕЗА ОПТИМАЛЬНЫХ ПО ТОЧНОСТИ И БЫСТРОДЕЙСТВИЮ СЛЕДЯЩИХ ПРИВОДОВ

С.В. Феофилов, А.И. Неклюдов

Тульский государственный университет

300600, Тула, пр. Ленина, 92, Россия

180776@mail.ru

тел: +7 (4872) 35-38-35, факс: +7 (4872) 35-38-35

Ключевые слова: релейный следящий привод, прикладные методы, точность, быстродействие, ограничители

Abstract

In this article we examine methods and algorithms of the synthesis of optimal follower drives in means of their sensibility and performance. In the article we propose an approach that ensure tracking mode in follower drivers, as well as optimality of transient responses.

Введение

Важнейшей прикладной задачей сегодня остается создание высококачественных следящих приводов различного назначения и принципа действия. К таким устройствам предъявляются все более высокие требования, для выполнения которых необходимы современные системы управления. Во многих случаях при создании системы управления предпочтительным оказывается использование релейных регуляторов, поскольку управляющий сигнал в них изменяется практически мгновенно и объект всегда подвержен максимальному управляющему воздействию.

На сегодняшний день не существует единой методики, которая бы позволяла решать важную практическую задачу синтеза следящих приводов с оптимизацией их по быстродействию и точности режима слежения. В настоящей статье предлагается подход, обеспечивающий в приводах как точность режима слежения, так и оптимальность переходных процессов.

1 Основные положения

Сегодня в проектных организациях при создании систем управления указанных приводов используется, как правило, метод проб и ошибок, который при использовании накопленного опыта позволяет в конечном итоге достичь приемлемых результатов. Однако, такой подход ведет к очень большой трудоемкости на этапе численного моделирования и не гарантирует результат. Это в свою очередь приводит к необходимости проведения большого количества натурных испытаний, что существенно повышает стоимость разработки. Таким образом, существует реальная необходимость в разработке теоретических методов.

Задача синтеза и оптимизации следящего привода является комплексной. Для получения наилучшего качества переходных процессов предлагается использовать оптимальный по быстродействию закон управления, а для обеспечения точности слежения – релейный автоколебательный регулятор. Переключение между указанными законами рационально проводить при достижении некоторой заданной ошибки слежения. При синтезе основными трудностями являются высокий порядок математической модели и наличие различных ограничителей в объекте управления. Рассмотрим предлагаемый подход, который позволяет преодолеть указанные затруднения и синтезировать приводы с оптимальными характеристиками.

1.1 Синтез оптимального по быстродействию закона управления

Синтез оптимального закона управления возможно выполнять с использованием базового метода, предложенного д.т.н., проф. Н.В. Фалдиным [1]. Здесь учитывается особенность математических моделей реальных технических объектов, связанная с наличием в них звеньев, содержащих большие и малые постоянные времени (возможность выделить быстрые и медленные движения). В базовой системе учитываются только звенья с большими постоянными времени она обычно имеет невысокий порядок. При реализации метода сначала выполняется строгий синтез оптимального закона управления для базовой системы. Это удастся сделать с помощью условий оптимальности, сформулированных для объектов с различными типами ограничителей. Далее, для получения оптимального по быстродействию закона управления для полной системы необходимо в базовом законе учесть влияние звеньев с малыми постоянными времени. Метод учета основан на предположении о том, что звено, имеющее малую постоянную времени, вносит в систему некоторое запаздывание. Учет ведется последовательно для каждого звена. Для компенсации запаздывания необходимо в закон управления ввести координаты, упрежденные на величину запаздывания. Поскольку запаздывание является малой величиной, то к каждой фазовой переменной следует добавить слагаемое, равное произведению ее производной на величину запаздывания. При этом сами производные выражаются через фазовые переменные системы. Величина «эквивалентного» запаздывания подбирается путем моделирования полученной таким образом системы на компьютере. Выполненное исследование показывает, что такой способ позволяет достаточно хорошо учесть в базовом законе управления динамику звена с малой постоянной времени. Далее, полученный закон управления рассматривается как новый базовый. Изложенным выше способом в нем учитывается динамика следующего звена, имеющего малую постоянную времени, и т.д. Таким способом удаётся преодолеть хорошо известное специалистам по оптимальному управлению препятствие, обусловленное высоким порядком математической модели объекта управления.

Во многих следящих системах известна область возможных начальных условий. Если оптимальный закон управления ориентировать на отработку указанной области начальных условий, то процедуру синтеза можно существенным образом упростить и упростить сам закон управления. При этом достигается кардинальное упрощение задачи синтеза, причем порядок системы не играет существенной роли. Данный метод предполагает выделение совокупности оптимальных траекторий, соответствующих ограниченной области возможных начальных значений.

Поверхность переключения, с помощью которой задается оптимальное по быстродействию управление, образована совокупностью идущих в начало координат оптимальных траекторий. Расчет указанных траекторий проводится, как правило, численно. В результате поверхность переключения задается дискретным набором точек (численным массивом). Для получения оптимального управления в виде аналитической зависимости от фазовых переменных необходимо провести аппроксимацию. Здесь можно использовать любые известные методы, например аппроксимацию с помощью полиномов.

1.2 Синтез и оптимизация релейного автоколебательного регулятора

Синтез и оптимизацию релейного автоколебательного регулятора, работающего в режиме слежения предлагается осуществлять с помощью метода фазового годографа [2].

Релейный закон управления предполагается искать в классе законов, использующих линейные обратные связи. Поэтому задача синтеза сводится к поиску коэффициентов обратных связей $c_1, c_2, \dots, c_n$ по измеряемым фазовым координатам.

Поскольку следует стремиться к наилучшему (оптимальному) по точности режима слежения закону управления, то и задачу синтеза следует ставить как задачу конечномерной оптимизации относительно указанных коэффициентов. Критерием оптимизации является максимальная величина ошибки слежения

$$(1) \quad \varepsilon = |\Phi_{io}(j\omega_{\dot{\alpha}\dot{\alpha}})|,$$

где $\Phi_{io}(j\omega) = 1 - \Phi(j\omega)$ - передаточная функция системы по ошибке; $\Phi(j\omega)$ - передаточная функция замкнутой системы по входному сигналу; $\omega_{\dot{\alpha}\dot{\alpha}}$ - частота входного сигнала.

Для обеспечения устойчивости периодических решений в качестве ограничения метода конечномерной оптимизации предлагается рассматривать необходимое условие устойчивости автоколебаний [3]. Для вычисления критерия оптимизации необходимо иметь линеаризованную математическую модель объекта управления. Метод линеаризации релейной системы по полезному сигналу изложен в [4]. Поскольку нет существенных ограничений к параметрам автоколебаний, возникающих в синтезируемой системе, то целесообразно частоту автоколебаний включить в число оптимизируемых параметров. При этом метод фазового годографа позволяет достаточно просто контролировать параметры автоколебаний, возникающих в системе.

В качестве метода конечномерной оптимизации рационально использовать один из вариантов алгоритма случайного поиска, поскольку они работают с ограничениями простейшим образом, проверяя их на каждом шаге.

2 Пример. Синтез закона управления силовым следящим гидроприводом

2.1 Синтез автоколебательного регулятора, работающего в режиме слежения

На рисунке 1 показана структурная схема, описывающая динамику гидропривода. Объект управления выделен пунктирной линией.

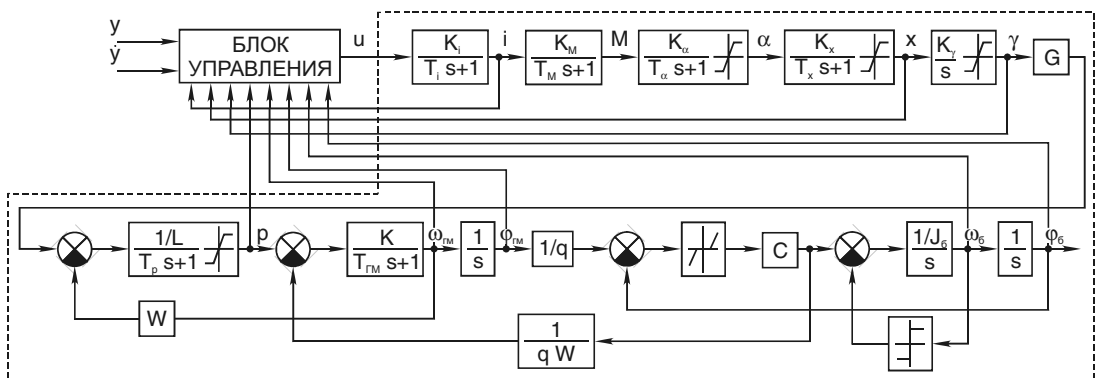


Рисунок 1 – Структурная схема гидропривода

Здесь K_i , K_M , K_α , K_x , K_γ и T_i , T_M , T_α , T_x - соответственно коэффициенты передачи и постоянные времени звеньев, описывающие динамику механизма управления, J_d - момент инерции нагрузки, $\tilde{N}$ - жёсткость механической передачи, q - передаточное число редуктора. На структурной схеме показаны ограничители по координатам p, γ, x, α . Таким образом, динамика объекта управления описывается системой нелинейных дифференциальных уравнений десятого порядка.

Первым этапом синтеза является построение фазового годографа, которое было выполнено с применением численных методов [5]. R - характеристики (компоненты фазового годографа) по некоторым, наиболее важным, координатам для объекта управления (рисунок 1) показаны на рисунках 2.

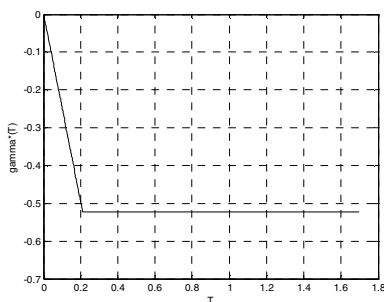


Рисунок 2.1 – R-характеристика по координате γ

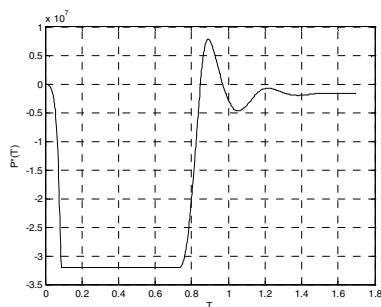


Рисунок 2.2 – R-характеристика по координате P

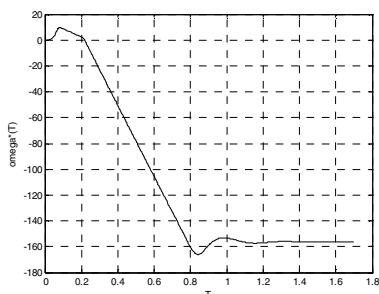


Рисунок 2.3 – R-характеристика по координате ω_{α}

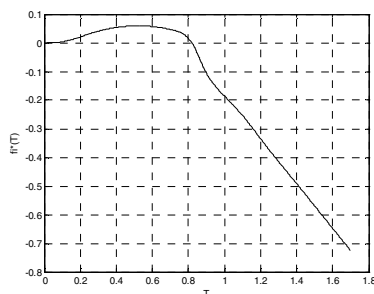


Рисунок 2.4 – R-характеристика по координате φ_{α}

Синтез закона управления оптимального по точности режима слежения с использованием полной математической модели (десятого порядка) (рисунок 1) является очень сложной задачей. Основные проблемы при этом возникают на этапе линеаризации релейного элемента и других нелинейностей, присутствующих в объекте управления. С учетом вышесказанного, рациональным является использование следующего приема. Назовем базовой системой динамическую модель привода, в которой приравнены к нулю малые постоянные времени и не учитываются нежёсткость механической передачи и люфт в редукторе (рисунок 3). Синтез оптимального по точности слежения гидропривода выполняется по следующей схеме: сначала определяется закон управления для базовой системы, а затем в полученном законе приближенно учитывается влияние малых постоянных времени (малых параметров). Таким способом удастся существенно упростить процедуру синтеза.

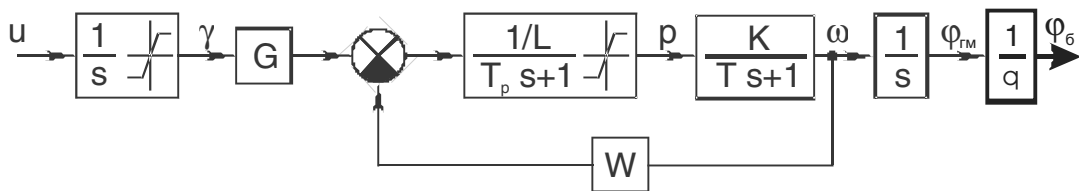


Рисунок 3 – Структурная схема базовой системы

Для данной системы задача синтеза сводится к поиску коэффициентов обратных связей c_1, c_2, c_3 по координатам γ, p, ω соответственно. Главная обратная связь по координате φ_{α} предполагается единичной. Ниже приведен порядок вычислений.

- 1) В пространстве оптимизируемых параметров (c_1, c_2, c_3) формируется случайный вектор отклонений. Координаты вектора представляют собой случайные числа, распределенные по закону равномерной плотности вероятности в диапазоне от -1 до 1.
 - 2) Из уравнения $\gamma^*(T^0) \cdot c_1 + p^*(T^0) \cdot c_2 + \omega^*(T^0) \cdot c_3 + \varphi_a^*(T^0) = 0$ определяется полупериод от T^0 и частота $f = \frac{1}{2T^0}$ автоколебаний, где $\gamma^*, p^*, \omega^*, \varphi^* - R$ характеристики.
 - 3) Проверяется необходимое условие устойчивости. Для этого в дискретных точках T_i вычисляется функция
- $$(2) \quad \eta(T_i) = y^*(T_i) = \gamma^*(T_i) \cdot c_1 + p^*(T_i) \cdot c_2 + \omega^*(T_i) \cdot c_3 + \varphi_a^*(T_i).$$

Если при изменении полупериода T_i от 0 до ∞ функция (2) изменяет знак только один раз, причем из области с отрицательными значениями в область с положительными значениями, то в системе существует единственное симметричное периодическое решение.

4) Проводится линеаризация системы.

5) Вычисляется критерий оптимизации (1) по линеаризованной модели.

В результате решения задачи оптимизации были получены следующие значения оптимизируемых параметров.

$$(3) \quad c_1 = 0.069284; c_2 = 9.966e-011; \dot{n}_3 = 0.00043105; f = 530 \text{ Åö}.$$

При этом значение критерия оптимизации $\varepsilon = 2.42 \cdot 10^{-3}$ рад.

На рисунке 4 показаны результаты моделирования привода с использованием синтезированного закона управления. В качестве тестового был использован гармонический входной сигнал единичной амплитуды с частотой 1.26 рад/с. Такой сигнал является наиболее сложным из тех, которые могут встретиться в реальных условиях.

Моделирование подтверждает теоретические расчеты. Амплитуда ошибки составляет $2.43 \cdot 10^{-3}$ рад.

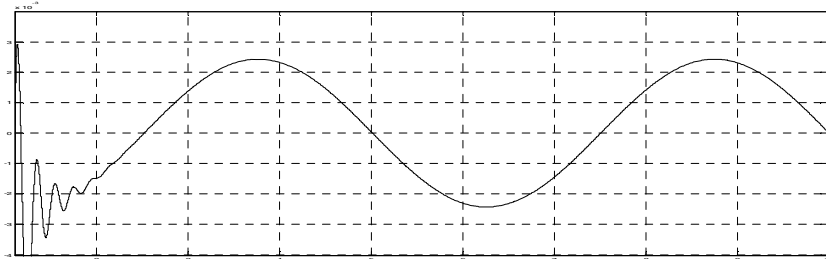


Рисунок 4 – Ошибка слежения

Уточнение полученного закона управления и обеспечение его адекватной работы на полной модели не вызывает затруднений при использовании известного приема приближенного учета малых постоянных времени [6].

2.2 Синтез оптимального по быстродействию закона управления

В соответствии со структурной схемой базовой системы (рисунок 3) уравнения движения объекта управления имеют следующий вид.

При $|p| < D_2$

$$(4) \quad \frac{d\gamma}{dt} = u; \quad \frac{d\omega}{dt} = a \cdot \gamma - b \cdot \omega; \quad \frac{d\varphi}{dt} = \omega.$$

При $|p| = D_2$

$$(5) \quad \frac{d\gamma}{dt} = u; \quad \frac{d\omega}{dt} = C \cdot M - r \cdot \omega; \quad \frac{d\varphi}{dt} = \omega.$$

В уравнениях (4), (5) введены следующие обозначения

$$a = \frac{KG}{TL}; \quad b = \frac{1}{T} \left(\frac{KW}{L} - 1 \right); \quad C = \frac{K}{T}; \quad r = \frac{1}{T}; \quad M = \pm D_2.$$

Рассмотрим оптимальное по быстродействию управление гидроприводом при слежении за линейно-нарастающим входным сигналом $y = g_1 t + g_0$ и заданном ограничении на уровень управляющего сигнала $|u| \leq A$. Ошибки слежения по фазовым координатам задаются в следующем виде

$$\Delta\varphi = g_1 t + g_0; \quad \Delta\omega = g_1 - \omega; \quad \Delta\gamma = ng_1 - \gamma;$$

где $n = \frac{KW + L}{KG}$. Перейдем в уравнениях (4), (5) к ошибкам. При $|p| < D_2$

$$(6) \quad \frac{d\Delta\gamma}{dt} = -u; \quad \frac{d\Delta\omega}{dt} = (b - an)g_1 - b\Delta\omega + a\Delta\gamma; \quad \frac{d\Delta\varphi}{dt} = \Delta\omega.$$

При $|p| = D_2$

$$(7) \quad \frac{d\Delta\gamma}{dt} = -u; \quad \frac{d\Delta\omega}{dt} = -C \cdot M - r \cdot \Delta\omega + rg_1; \quad \frac{d\Delta\varphi}{dt} = \Delta\omega.$$

Рассмотрим фазовое пространство интегрирующего привода с координатами $\Delta\gamma, \Delta\omega$. С учетом ограничения по давлению в этом пространстве можно выделить области, в которых происходит движение по уравнениям (6) или (7). Границы этих областей задаются линиями

$$\Delta\omega = \frac{G}{W} \Delta\gamma + \left(1 - \frac{Gn}{W} \right) g_1 \pm \frac{D_2 L}{W}.$$

На рисунке 5 представлены оптимальные траектории, выделенные с помощью необходимых условий оптимальности.

В соответствии с рисунком 5 на фазовой плоскости существует линия CEOMN, называемая линией переключения, по одну сторону от которой оптимальное управление $u = A$, а по другую - $u = -A$. Линии CEO и NMO

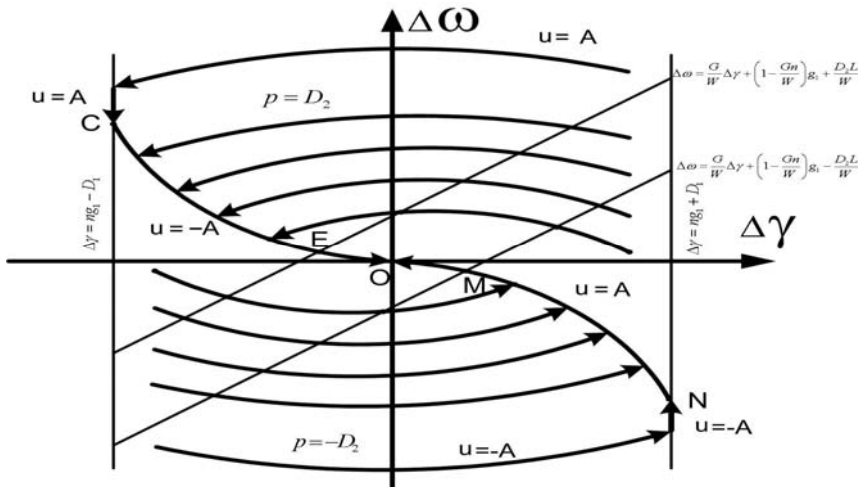


Рисунок 5 – Вид оптимальных траекторий

представляют собой проходящие через начало координат траектории системы (6), (7) соответственно при $u = -A$ и $u = A$. Линии ЕО и МО строятся с использованием уравнений (6), а линии СЕ и NM по уравнениям (7). Для получения аналитических зависимостей, задающих указанные линии, целесообразно перейти в уравнениях (6), (7) к обратному времени τ , проинтегрировать полученные уравнения при соответствующих начальных условиях и исключить обратное время τ .

Кривые МО и ЕО задаются уравнением

$$\Delta\omega(\Delta\gamma, g_1) = \frac{g_1(an-b)}{b} \left(\exp\left(\frac{b}{u}\Delta\gamma\right) - 1 \right) + \frac{ua}{b^2} \left(1 + \frac{b}{u}\Delta\gamma - \exp\left(\frac{b}{u}\Delta\gamma\right) \right),$$

а кривые СЕ и NM уравнением

$$\Delta\omega(\Delta\gamma, g_1) = \frac{(\pm D_2 \cdot C - rg_1)}{r} \left(\exp\left(\frac{r}{u}(\Delta\gamma + \Delta\gamma^*)\right) - 1 \right) + \Delta\omega^* \exp\left(\frac{r}{u}(\Delta\gamma + \Delta\gamma^*)\right)$$

при $u = \pm A$ соответственно, где $(\Delta\gamma^*, \Delta\omega^*)$ - координаты точки Е или М. Таким образом, получена аналитическая зависимость вида $\Delta\omega = f(\Delta\gamma, g_1)$, задающая линию переключения СЕОМN. Так как выше линии переключения оптимальное управление $u = A$, а ниже линии переключения - $u = -A$, то оптимальный закон управления для системы второго порядка имеет вид:

$$(8) \quad u = A \operatorname{sign}(\Delta\omega - f(\Delta\gamma, g_1)).$$

Далее необходимо выполнить переход к системе третьего порядка. Будем использовать следующий подход. Если на вход базовой системы подать сигнал $u = \pm A$, она достаточно быстро выходит на установившийся режим движения $\gamma = \Delta\gamma_\phi$, $\omega = \Delta\omega_\phi$. При больших начальных отклонениях система в оптимальном движении успевает выйти на установившийся режим до наступления первого переключения. Таким образом, для некоторого множества начальных условий оптимальные траектории имеют в фазовом пространстве общие точки переключения. Найдем эти точки следующим образом. Проинтегрируем систему уравнений (6), (7) при $u = A$ в интервале $0 \leq t \leq t_1$ (t_1 выбирается так, чтобы система успела выйти на установившийся режим). При $t > t_1$ перейдем на закон управления (8), который переведет систему в точку с координатами $(\Delta\gamma = 0, \Delta\omega = 0, \Delta\phi = \Delta\phi(t_3))$. Момент переключения управления, обусловленный законом управления (8) обозначим t_2 . Поскольку уравнения (7), (8) обладают астатизмом, то при начальном условии $\Delta\phi_i = \Delta\phi(0) - \Delta\phi(t_3)$ оптимальная траектория приходит в начало координат. Таким образом, на оптимальной траектории происходят переключения в точках со следующими координатами. При $t = t_1$ $(\Delta\gamma(t_1), \Delta\omega(t_1), \Delta\phi(t_1) - \Delta\phi(t_3))$ и при $t = t_2$ $(\Delta\gamma(t_2), \Delta\omega(t_2), \Delta\phi(t_2) - \Delta\phi(t_3))$. Через две эти точки и начало координат в трехмерном фазовом пространстве $\Delta\gamma, \Delta\omega, \Delta\phi$ можно провести плоскость, которая является поверхностью переключения и задается уравнением $f(\Delta\gamma, \Delta\omega, g_1) = c_1(g_1)\Delta\omega + c_2(g_2)\Delta\gamma$. Тогда оптимальный закон управления для системы третьего порядка имеет вид

$$(9) \quad u = A \operatorname{sign}(\Delta\phi - f(\Delta\gamma, \Delta\omega, g_1)).$$

Для использования закона (9) необходимо численно построить зависимости $c_1(g_1)$, $c_2(g_2)$ и с помощью аппроксимации получить для них аналитические выражения. С учетом характера функций $c_1(g_1)$, $c_2(g_2)$ были использованы линейные аппроксимирующие многочлены $c_1(g_1) = 9.705 \cdot 10^{-4} g_1 - 0.155$; $c_2(g_2) = 0.051 \cdot g_1 - 7.892$.

На рисунке 6 показан вид функций $c_1(g_1)$, $c_2(g_2)$ и их аппроксимация.

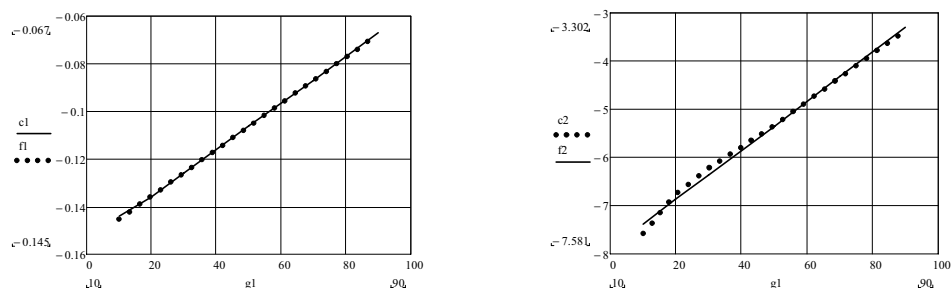


Рисунок 6 – Функции $c_1(g_1)$, $c_2(g_2)$

На рисунке 7 показано оптимальное слежение с использованием закона управления (6) за входным сигналом $y = 50t + 70$.

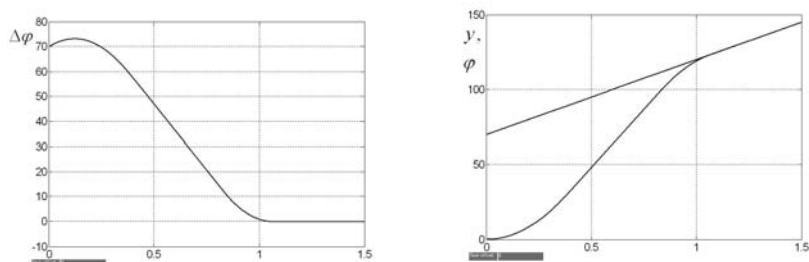


Рисунок 7 – Оптимальное слежение

Заключение

Полученная совокупность теоретических и практических результатов позволяет синтезировать следящие приводы с их оптимизацией по быстродействию и точности режима слежения. Разработанная методика является актуальной в различных отраслях промышленности, но наиболее востребована при проектировании изделий оборонного назначения. Это могут быть различные приводы наведения вооружения бортовые приводы аэродинамических рулей беспилотных и пилотируемых летательных аппаратов и многие другие. При этом для всех указанных устройств основными требованиями являются именно быстродействие и точность обработки входного сигнала.

Список литературы

- [1] Фалдин Н.В., Моржов А.В. Синтез базовым методом оптимального по быстродействию следящего электропривода постоянного тока при задании ограничения на потребляемую мощность //Известия РАН. Теория и системы управления, 2011, №3.- Москва: Изд-во «Наука» с. 25-37.
- [2] Пупков К.А., Егупов Н.Д., Фалдин Н.В. и др. Математические модели, динамические характеристики и анализ систем автоматического управления. М.:Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004.- 725 с.
- [3] Цыпкин Я.З. Релейные автоматические системы. М.: Наука, 1974. 576 с.
- [4] Руднев С.А., Фалдин Н.В. Линеаризация релейной системы по полезному сигналу // Изв. РАН. Тис-СУ. 1998. №2. С36-43.
- [5] Фалдин Н.В., Феофилов С.В. Исследование периодических движений в релейных системах, содержащих звенья с ограничителями //Известия РАН. Теория и системы управления, 2007, №2.- Москва: Изд-во «Наука» с. 15-27.
- [6] Фалдин Н.В., Есипов А.Н. Приближенный способ учета при синтезе оптимальных систем малых постоянных времени. // Изв. вузов. Электромеханика, 1984, №3,-С.45-50.

ИЗМЕНЕНИЕ ВОСПРИЯТИЯ СУБЪЕКТОМ ВНЕШНЕГО ПРОСТРАНСТВА И ВРЕМЕНИ В ХОДЕ ЭВОЛЮЦИИ ЖИВОЙ МАТЕРИИ

Л.Л. Чекалов

ООО «Транс-Мобил Спедишн»
443030, Самара, ул. Желябова, 3-45, Россия
ltrans777@mail.ru
тел: +7 (963) 115-00-77

Ключевые слова: *пространство и время, пространство и сознание, эволюция восприятия пространства*

Abstract

During evolution of living matter appeared new organs of the environment perception. Development of sense organs abilities change the view of the surrounding space. The article discusses the types of spaces and their properties from the standpoint of living matter.

Введение

Для лучшего понимания изменения свойств и функций восприятия пространства у субъекта живой материи желательно рассматривать их развитие в процессе длительного эволюционного периода. Так же необходимо обратить внимание на то, что десятки миллионов лет развитие животного мира и сотни тысяч лет развитие сознания человека происходило в естественном пространстве природной среды, что можно скорее признать правилом, чем сегодняшнее положение человека, замкнутого в рамки им же созданной искусственной среды и накопленного знания. Данные условия можно признать скорее некоторым отклонением от правила по отношению к гораздо более длительному периоду эволюции в естественном пространстве природы.

В процессе эволюции живой материи постепенно появлялись новые органы восприятия окружающей среды, изменялись их свойства, накапливался опыт жизни и знание, последнее относится только к человеку, и параллельно с этим менялось представление об окружающем пространстве.

В этой работе хотелось бы рассмотреть различные виды пространств и их свойства с учетом присутствия развивающегося воспринимающего субъекта живой материи.

1 Описание понятий

Пространство – это совокупность движения, изменения и взаимодействия материи и энергии, в котором принимают участие воспринимающие субъекты живой материи и объекты неживой материи. Пространство определяется физическим сходством или соответствием среды пространства, объектов и субъектов, что обеспечивает возможность их взаимодействия.

Субъект живой материи, воспринимающий и движущийся во внешнем пространстве, характеризуется универсальными инвариантными свойствами, присущими всем субъектам на разных стадиях развития [5]:

- направленностью луча внимания;
- опытом или памятью, восприятием внешнего пространства и способностью к обработке текущей информации о внешнем пространстве на основе опыта, что составляет субъективную реальность (Дубровский Д.И. [2]);
- движением в пространстве.

Опыт есть знание повторяющихся следствий от одних и тех же действий в сходных текущих ситуациях пространства.

Объект – материальное образование неживой материи, имеющее границы между внутренним и внешним пространством. Постоянное взаимодействие объектов пространства оставляет *следы взаимодействия (память)* в виде изменения параметров, свойств или формы объектов и среды пространства.

Следы взаимодействия есть *информация* прошедшего времени о движении и изменении объекта и его взаимодействии с другими объектами или средой пространства.

Внешняя среда пространства по отношению к субъектам и объектам есть объект пространства не имеющий четких границ между внутренним и внешним пространством и являющаяся местом движения и взаимодействия объектов. При некоторых условиях среда пространства может становиться объектом и наоборот. Внешняя среда пространства для объектов и субъектов может быть *информационной или разрушающей*, что характеризуется силой воздействия на объект. Это два крайних проявления внешней среды. В дальнейшем в работе рассматривается только информационное воздействие.

Диапазоны информационного воздействия внешней среды на человека делятся по различным уровням материи:

- химический,
- физический,
- информационный (сознание).

Следы взаимодействия или информация есть *частичное отображение* на объекте свойств среды пространства или внешних объектов. Появление следов взаимодействия на объекте меняет этот объект – он становится другим. Появляется необратимость течения времени взаимодействия за счет постоянного изменения и объектов и внешней среды.

При отображении происходит *свертывание или развертывание информации*. Свертывание и развертывание информации происходит по определенному закону (алгоритму) внешнего и внутреннего пространства. Изменение законов в пространстве ведет к потере свернутой информации. ДНК разворачивается в физический организм по определенным физическим законам внутренней и внешней среды. Изменение физических законов внешнего пространства, «известных ДНК», ведет к потере информации об организме. Свертывание и развертывание информации так же может приводить к смене уровней представления информации: ДНК (информация) с химического уровня при развертывании переходит на физический уровень.

Полное отображение одного объекта в другой ведет к появлению двух одинаковых объектов с совмещенными свойствами, хотя в реальности такое вряд ли возможно, или к исчезновению одного объекта на одном уровне материи и появлению другого объекта на другом уровне, как в случае с ДНК.

Внешнее время связано с движением объекта или субъекта в пространстве и скоростью получения объектом информации о пространстве.

Внутреннее время объекта или субъекта связано с его возможностью изменяться, принимать и хранить информацию о пространстве и сохранять границу между внутренним и внешним пространством. Изменения в химическом, физическом, информационном состояниях объекта или субъекта обеспечивают ход внутреннего времени.

Информационные границы (ИГ) пространства могут по физическим или временным характеристикам ограничивать получение информации субъектом о пространстве и объектах. Ограничение по времени связано со скоростями движения объектов и скоростью получения субъектом информации о них.

2 Описание пространства, изменение его восприятия субъектом и движение

На каждой ступени эволюции материи субъект имеет различные возможности для восприятия и движения в пространстве. Можно сказать, что на разной ступени эволюции живой материи воспринимаются совершенно различные пространства, постепенно раскрывающиеся одно в другом в процессе расширения возможностей субъектов.

Само восприятие пространства стало наиболее полным с появлением зрения. Зрительное восприятие совершенствовалось от вида к виду. Эти изменения происходили как в направлении расширения расстояния восприятия, так и увеличивалась детализация восприятия. Лягушка воспринимает лишь световые контуры и соответствующим образом реагирует на них [6]. Высшие млекопитающие воспринимают внешний мир на большее расстояние и гораздо более подробно, появляется восприятие цвета, движение тела планируется в большем объеме пространства.

В процессе эволюции человека трудно говорить об изменении восприятия пространства органами чувств, хотя и такое возможно. Скорее изменялось знание об окружающем пространстве. Постепенно было выяснено, что Земля круглая, что Земля вращается вокруг Солнца и т.д. Появление, сначала в виде игры сознания, геометрии Лобачевского, а потом и определение реальной кривизны пространства в треугольнике между вершинами гор, показало, что некоторые нелогичные теории могут быть частью реальности в научной картине мира, находящейся за пределами восприятия органов чувств. Исследование микромира и появление квантовой физики привели к дальнейшим изменениям в представлении о пространстве, описанными в книгах С.Хокинга [4]. Но эти изменения были связаны с развитием технических инструментов познания мира – телескопов, микроскопов и т.п., а не с развитием свойств и функций сознания.

Представить изменение восприятия пространства живой материей в процессе эволюции можно достаточно простым способом:

- закрыть глаза и заткнуть уши – так, наверное, представляют пространство не имеющие зрения субъекты живой материи; источником информации о пространстве является их тело;
- если перед глазами поставить мутное стекло, мы получим восприятие пространства, сходное с лягушкой;
- мутное стекло убираем и представляем себя человеком - внешнее пространство просто прекрасно, так что даже трудно подумать, что далеко не все субъекты живой материи имеют эту возможность (но есть ли дальнейшая перспектива эволюции в этом направлении).

В каждом варианте восприятие пространства и получение информации о нем зависит от источников излучения и источников отражения. Исходя из этого можно представить возможные предельные виды пространств:

- полное отсутствие источников излучения (темная комната, но если взять прибор ночного видения, облучить объекты инфракрасным светом, то получится пространство следующего типа);
- наличие источников излучения и объектов отражения (это наше пространство);
- в зависимости от источников излучения отсутствие объектов отражения (разработка объектов по технологии «стелс» в военной технике);
- все объекты являются источниками излучения (на техническом уровне, это реализуют тепловизоры, принимая излучения тепловых волн, источниками которых являются все внешние объекты).

Можно выделить несколько видов движения материи в пространстве в последовательности их эволюционного появления:

- движение объекта неживой материи в пространстве связано с реализацией действующих независимо от объекта физических законов материи;
- растения не осуществляют движение в пространстве исходя из собственных целей, они только изменяют границы собственного тела;
- животное и человек осуществляют движение в пространстве, в некоторой мере не соответствующее физическим законам (используют мышцы для преодоления закона тяготения), используя прошлый опыт, способность к восприятию текущей ситуации в пространстве и ее сравнению с опытом.

Различные относительные скорости движения объектов и субъектов, а также скорости распространения информации в пространстве могут создавать ограничения на получение достоверной информации о пространстве. На горизонте появляется самолет. Сначала мы его увидим, потом услышим, потом он долетит до нас. Если скорость его полета выше скорости звука, то самолет сначала пролетит мимо нас, и только потом мы его услышим. Так же и скорость перемещения субъекта в пространстве меняет его возможности в получении информации о пространстве, т.е. теоретически, задержки в получении информации о пространстве из-за малой скорости передачи информации можно компенсировать более высокой скоростью движения субъекта в этом направлении.

Как получение информации субъектом, так и переход из настоящего в будущее, связан с известной формулой $S_c = V_c \cdot T_c$ - для субъекта и $S_i = V_i \cdot T_i$ для распространения информации, где S - расстояние, V - скорость, T - время. При одном и том же расстоянии увеличение скорости субъекта ведет к уменьшению времени движения в целевую точку пространства, и оно для субъекта как бы сжимается, а при уменьшении скорости - растягивается. Уменьшение скорости распространения информации о пространстве может поменять само представление о нем и делает невозможным адекватное планирование будущего.

3 Пространство, время и субъект

Существуют различные взгляды на соотношение пространства и времени в философии. Сравнительный анализ концепций времени дан в работе Мак-Таггарта Д.Э. [7], в которой автор приходит к выводу о нереальности времени.

Бартини Р.О. [2] предлагается каждой пространственной координате, как дополнительную характеристику, присваивать собственное время, подчеркивая тем самым различные характеристики среды в зависимости от направления в пространстве.

Козырев Н.А. предполагал, что время обладает физическими свойствами на которые влияют проходящие в пространстве процессы [3], равно как и наоборот.

В перечисленных работах рассматривается соотношение времени и пространства без учета воспринимающего субъекта, обладающего памятью.

Для субъекта или любого объекта по границе между внешним и внутренним пространством субъекта или объекта проходит линия *настоящего времени объекта* – рисунок 1.

Внешнее пространство является возможными вариантами будущего взаимодействия для данного объекта (субъекта) или просто будущим, воспринимаемым в настоящем времени. Человек, глядя перед собой, не задумывается о том, что он смотрит в будущее, планирует изменение этого будущего, и потом будет сталкиваться с планами других субъектов в этом же будущем.

Субъект, получая с определенной скоростью информацию о ТС внешнего пространства, воспринимает удаленные от него события этого пространства как настоящие. С появлением и развитием органов зрения линия настоящего времени, в пределах которого планируется будущее, отодвигается от границы тела субъекта (С) до информационной границы (ИГ) восприятия пространства ИГ1, а с развитием зрения еще дальше (ИГ2) – рисунок 1.

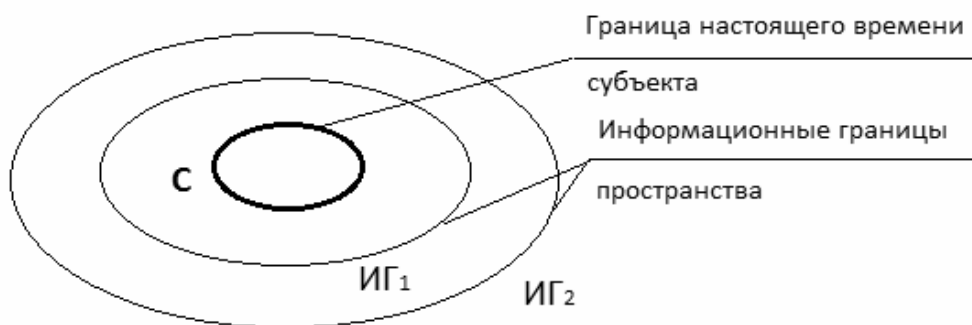


Рисунок 1 – Субъект и изменение информационной границы его восприятия пространства

На каждой ступени эволюции восприятие текущей ситуации (ТС) в пространстве, ограниченном ИГ, сравнение с накопленным опытом и умение двигаться в пространстве были условием для выживания субъекта, улучшаясь за счет естественного отбора.

Субъекта постоянно интересует его будущее. А будущее связано непосредственно с положением в пространстве и со стороны безопасности и добычи пищи в этом месте. С одной стороны, успех планирования будущего определяется способностью к обработке информации [5], с другой – возможностями в получении как можно большего количества достоверной информации о текущей ситуации в пространстве. Если скорость получения информации субъектом ниже скорости движения внешних объектов, то будущее неожиданно наступает в момент контакта с внешним объектом. Если у какой-то части объектов пространства скорость движения ниже скорости передачи информации об их движении, то будущее взаимодействие с такими объектами для субъекта становится менее неожиданным. Так же увеличение скорости движения субъекта относительно других субъектов и объектов повышает вероятность реализации запланированного им будущего.

Можно сказать, что изменение внешнего времени субъекта связано с направлением его движения в пространстве. Но движение может быть сложным многовекторным с совершенно разными относительными скоростями. Если субъект находится на Земле и планирует свое будущее движение во внешнем пространстве, то он не учитывает и не может учитывать сейчас из-за отсутствия информации скорость движения Земли в космосе, превышающую его личную скорость на несколько порядков (10км/час и 100000км/ч). Поэтому будущее его пространства также зависит от траектории движения Земли. Пересечение траектории движения Земли метеоритом может привести к катастрофическому изменению пространства субъекта, но он, с одной стороны, не имеет информации о приближении такой угрозы, а с другой – из-за разницы в скорости перемещения его и Земли невозможно быстро покинуть место катастрофы. Но если есть возможность раздвинуть информационные границы пространства, повышаются шансы на выживание и изменится планирование будущего.

Возможна такая ситуация: один субъект движется по извилистой дороге на машине, а другой летит на вертолете. По пути следования первого субъекта за несколько поворотов произошла авария. С вертолета второй субъект сообщает первому об аварии. По отношению к первому субъекту такая информация будет предсказанием состояния его будущего пространства за пределами текущей ИГ. Но если авария небольшая, то возможно до прибытия первого субъекта все уже разведется, предсказание не сбылось, и первый субъект подумает, что его разыграли.

Такие примеры показывают, что расширение информационных границ пространства субъекта за счет изменения угла зрения, улучшения работы или появления новых органов

чувств, увеличивает информационную базу для принятия решений и тем самым повышается эволюционная выживаемость субъекта.

Можно дополнительно посмотреть более сложные взаимоотношения объектов при формировании будущего движением:

в пределах солнечной системы планеты обращаются вокруг Солнца, имеют изменяющееся время движения и их будущее пространство находится на их траектории, тогда как изменение времени движения Солнца в пределах солнечной системы равно нулю;

изменение времени движения Солнца и его будущее пространства расположены по траектории движения Солнечной системы во вселенной относительно нашей галактики.

Таким образом, будущее пространства субъекта, расположенного на Земле, определяются его собственным движением по Земле, вращением Земли, обращением Земли вокруг Солнца, движением Солнечной системы относительно нашей галактики, и так же движением нашей галактики относительно других галактик...

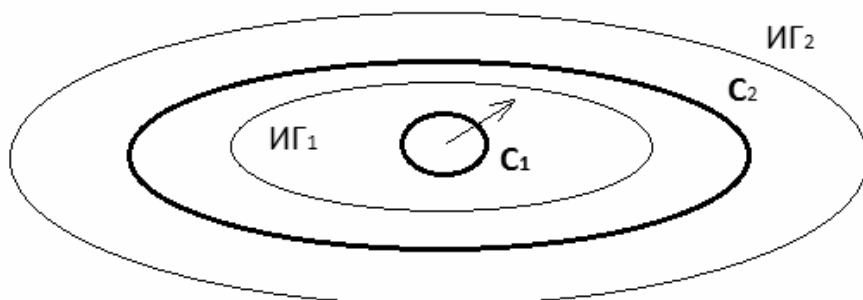


Рисунок 2 – Движение субъекта C_1 в пределах пространства настоящего времени субъекта C_2

Также размеры тела субъекта, получающего информацию, изменяют и границу настоящего времени в пространстве – рисунок 2. Движение субъекта C_1 в рамках собственной информационной границы IG_1 связано с изменением внешнего времени C_1 , тогда как изменение внешнего времени субъекта C_2 равно нулю. Пространство в пределах IG_1 для субъекта C_2 является пространством настоящего времени.

Возвращаемся к работе Мак-Таггарта Д.Э.[7], в которой он различает два способа, с помощью которых могут быть упорядочены позиции во времени. Во-первых, они могут быть упорядочены с помощью временных свойств – «быть прошлым», «быть настоящим», «быть будущим». Временным позициям, упорядоченным с помощью этих свойств, Мак-Таггарт Д.Э. дает название «А-ряда» (по этой причине сами свойства в дальнейшем получили название «А-свойства»). Во-вторых, позиции во времени могут быть упорядочены с помощью асимметричных и транзитивных отношений – «раньше», «позже», «одновременно». Позиции, упорядоченные в соответствии с этими отношениями, философ называет «В-рядом» (соответственно сами эти отношения получили в дальнейшем название «В-отношения»). Позиции А-ряда постоянно изменяются, а позиции В-ряда строго фиксированы.



Рисунок 3 – Пространство и время в условиях присутствия субъекта С

А при совместном рассмотрении пространства и воспринимающего субъекта прошлые состояния пространства и взаимодействие с субъектом фиксируется в памяти субъекта - рисунок 3. Постоянное пополнение памяти изменяет самого субъекта и каждый новый опыт начинает принимать участие в обработке информации о следующей ТС и соответственно начинает влиять на принятие решений рисунок 4. Субъект, обладающий памятью, способностью к восприятию информации о внешней ТС и сравнения этой информации с памятью с целью принятия решения, является частью пространства и становится носителем прошлого опыта, отображающегося в будущее через плоскость настоящего.

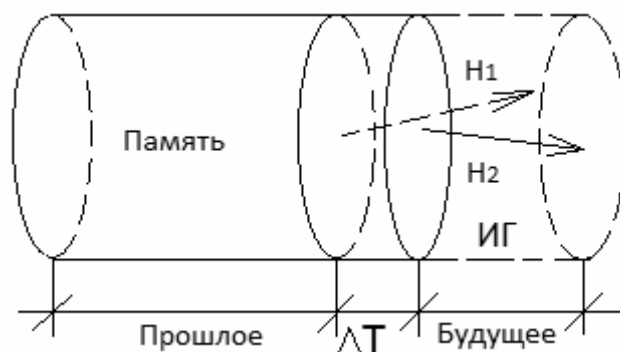


Рисунок 4 – Изменение направления вектора движения N_1 на N_2 за счет получения субъектом новой информации и её обработки в период времени ΔT

Прошлое существует в пространстве ровно настолько, насколько работает «глубина» памяти объектов и субъектов в этом пространстве. Будущее планируется в пространстве ровно настолько, насколько известны направления движения и изменения объектов этого пространства согласно действию физических законов и насколько распространены в пространстве ИГ субъектов, имеющих некоторую свободную волю и планирующих свое будущее поведение в этом пространстве.

Заключение

Эволюционное развитие органов восприятия субъектов живой материи изменяло их представление об окружающем пространстве в направлении большей четкости и детализации, увеличения дальности восприятия, отодвигая дальше в пространство ИГ.

Присутствие в пространстве субъектов, обладающих памятью, в каждый момент времени воспринимающих информацию о пространстве, которая сразу же начинает принимать участие в принятии следующих решений, является ещё одним фактором необратимости изменений, воспринимаемых как течение времени.

Присутствие в пространстве субъектов увеличивает неопределенность будущего:

- если в пространстве находятся объекты, не обладающие свободой воли, и подчиняющиеся только законам физики, то изменения внешнего пространства будут подчиняться этим законам и при их хорошем знании, в пределах сегодняшнего познания, будет более предсказуемое формирование будущего;
- при наличии в пространстве субъектов, обладающих некоторой свободой воли, эти субъекты вносят непредсказуемость в будущие ситуации в том же пространстве и меняя тем самым его свойства способом, отличающимся от действия законов физики.

Изобретение человеком дополнительных технических средств исследования многократно увеличило наши знания о материи и пространстве и расширило ИГ настоящего времени при планировании будущих действий человека.

Но также можно предположить что, пространство, которое мы сейчас воспринимаем, как собственными органами чувств, так и техническими средствами, тоже видимо не есть окончательное его представление и эволюция ещё не закончена.

Список литературы

- [1] Дубровский Д.И. Проблема идеального. Субъективная реальность. - М.: Канон+, 2002. - 368 с.
- [2] Бартини Р.О., Кузнецов П.Г. Множественность геометрий и множественность физик. Труды семинара "Кибернетика электроэнергетических систем". Брянский институт Транспортного машиностроения. Брянск - 1974 г.
- [3] Козырев Н. А. Время как физическое явление // Моделирование и прогнозирование в биоэкологии: Сб. науч. трудов. Рига, 1982. С. 59-72
- [4] Хокинг С. Мир в ореховой скорлупке. Пер. с англ. А. Г. Сергеева. — СПб.: «Амфора», 2007. — 218 с
- [5] Чекалов Л.Л. Информационная модель сознания и описание эволюции её функций от животного к человеку. Проблемы управления и моделирования в сложных системах: Труды XII Международной конференции (21-23 июня 2010 г. Самара, Россия)/ Под ред.: акад. Е.А.Федосова, акад. Н.А.Кузнецова, проф. В.А.Виттиха. - Самара: Самарский научный центр РАН, 2010. - с 256-262.
- [6] Эндрю А. Искусственный интеллект: Пер. с англ./Под ред. и с предисл. Д.А. Пospelова. -М: Мир, 1985. 264с.
- [7] McTaggart J.E.M. The Unreality of Time // Mind: A Quarterly Review of Psychology and Philosophy, 1908, 17. P. 456-473.

ОБ УПРАВЛЕНИИ КАДРОВЫМ ОБЕСПЕЧЕНИЕМ ШКОЛЬНЫХ И ДОШКОЛЬНЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ УЧРЕЖДЕНИЙ НА ОСНОВЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ

В.П. Офицеров, Ю.В. Фролов, М.В. Офицеров

Московский городской педагогический университет
129226, Москва, 2-й Сельскохозяйственный проезд, 4, Россия
ovp45@mail.ru
тел: +7 (903) 590-47-70

Ключевые слова: прогноз, образование, подготовка специалистов, рынок труда, педагог школ и детских садов

Abstract

Recently interest to forecasts in an education sphere amplifies. It is possible to carry to such problems, for example, planning of budgetary expenses on preparation of experts, proceeding from perspective requirements of the country (region) and a labor market. So, for general education system important beforehand to form volumes of a target set of entrants on pedagogical specialties. Process of formation of strategy of development of High schools also should lean not only against existing scientifically-methodical specialization, but also to consider intermediate term and long-term forecasts of demographic, social and economic tendencies, and labor markets. It is necessary for achievement of adequacy of a set of directions of preparation offered by high schools and retraining of experts. In the report forecasting models of perspective requirement for teachers for preschool and school educational institutions are considered. Models consider demographic and social processes. Results of use of look-ahead models for Moscow are resulted.

Введение

В докладе рассматривается подход к формированию плана приема студентов в вузы (колледжи) на педагогические специальности на основе прогнозных оценок потребности отрасли в учителях и прибытия выпускников педагогических вузов в образовательные учреждения. Предлагаемая методология основана на выполнении серии взаимосвязанных прогнозов. Для их получения использовались модели линейной регрессии, нейросетевые модели и методы динамического моделирования процессов [1-3]. В ходе выполнения расчетно-экспериментальных исследований показатели, полученные с использованием разных моделей, сопоставлялись и, в ряде случаев, выполнялось усреднение прогнозов.

1 Постановка задачи и качественное моделирование

В связи с необходимостью выработки стратегии городского образования в сфере кадрового обеспечения учреждений и оптимизации бюджетных расходов Центр стратегического анализа и прогнозирования МГПУ провел по заданию Департамента образования Москвы статистические и социологические исследования. Цель исследований – разработка методов перспективного планирования подготовки необходимого количества педагогов для образовательных учреждений города.

В связи с относительно длительным периодом подготовки педагогов (3-4 года), необходимы среднесрочные и долгосрочные прогнозы потребности необходимого количества педагогов для дошкольных учреждений и средних общеобразовательных школ.

Первоначально были рассмотрены основные факторы, которые предположительно могут влиять на такой показатель, как необходимое количество преподавателей в школе. Очевидно, что в условиях использования относительно стабильных программ обучения одним из ключевых факторов является количество учеников в школах Москвы с разбиением по классам. То есть, если мы будем знать прогнозные значения количества школьников в классах на n лет вперед, то, имея зависимость между количеством учителей в школе и количеством учеников, можно прогнозировать необходимое количество учителей на n лет вперед.

Для принятия управленческих решений по определению объемов подготовки педагогических кадров знание необходимого количества учителей важно, но недостаточно, так как в отрасли уже работает определенный контингент преподавателей. Дело в том, что кадровый корпус педагогов находится в постоянном движении и по параметрам численности, и по составу (структурным характеристикам). Например, имеет место постоянный отток из отрасли преподавателей как по возрастной причине (выход на пенсию), так и в связи с переходом к другим видам профессиональной деятельности. Поэтому, помимо прогноза необходимого количества учителей для работы в школах, важно дать прогнозные оценки выбытия педагогических кадров из образовательной отрасли.

В процессе решения задачи прогнозирования численности учащихся и педагогов более чем на семь лет вперед, возникает необходимость в прогнозе числа новорожденных.

2 Модели количества школьников по классам

В результате исследования линейных регрессионных статистических моделей, связывающих первоклассников и новорожденных, получена двухфакторная модель с хорошими статистическими параметрами.

В зависимости от числа первоклассников на основании найденных линейных регрессионных зависимостей были получены прогнозные значения числа второклассников. В зависимости от числа второклассников (как фактического, так и прогнозного) были найдены прогнозные значения числа третьеклассников и т.д. до 11-го класса включительно. На рисунке 1 показана предполагаемая динамика общего количества учеников в школе.

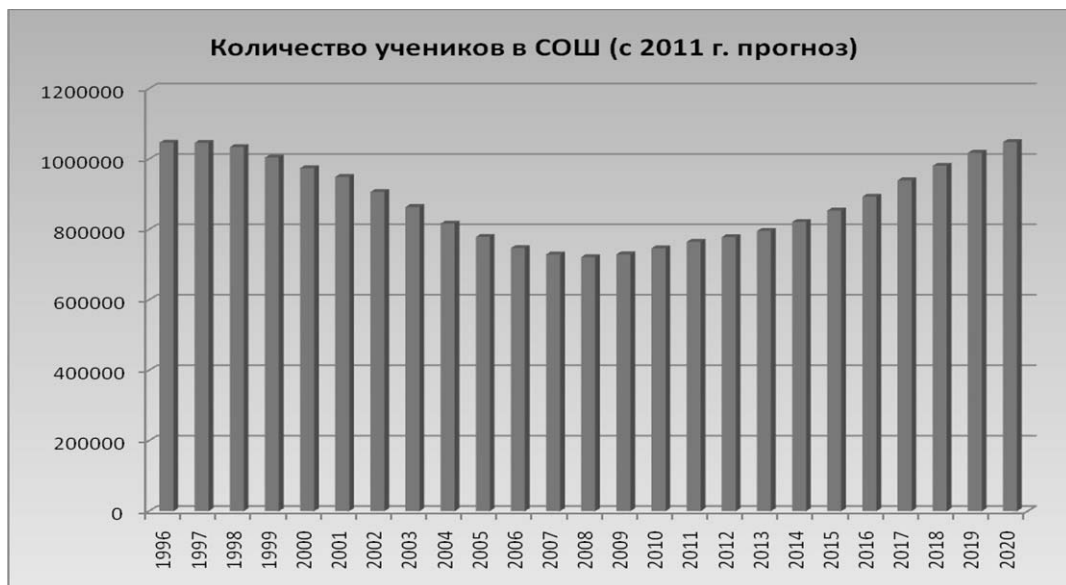


Рисунок 1 – Фактические данные и прогноз общего количества учеников в школах Москвы

3 Прогнозы необходимого числа педагогов

Для построения прогноза необходимого числа педагогов были разработаны прогнозные модели, связывающие общее количество учеников в школе и необходимое количество учителей. Для получения статистических данных о необходимом количестве учителей были использованы данные о работающих педагогах и заявленных вакансиях. На рисунке 2 показаны фактические и прогнозные значения необходимого количества учителей.



Рисунок 2 – Прогноз необходимого количества учителей в школах Москвы

На основе статистических данных о количестве учителей, в том числе учителей пенсионного возраста (рисунок 3), а также данных о выбытии педагогов из отрасли были получены прогнозы выбытия учителей с разбивкой на специалистов-предметников. При построении прогнозов учитывалось возрастающее из года в год количество учителей пенсионного возраста в Москве.

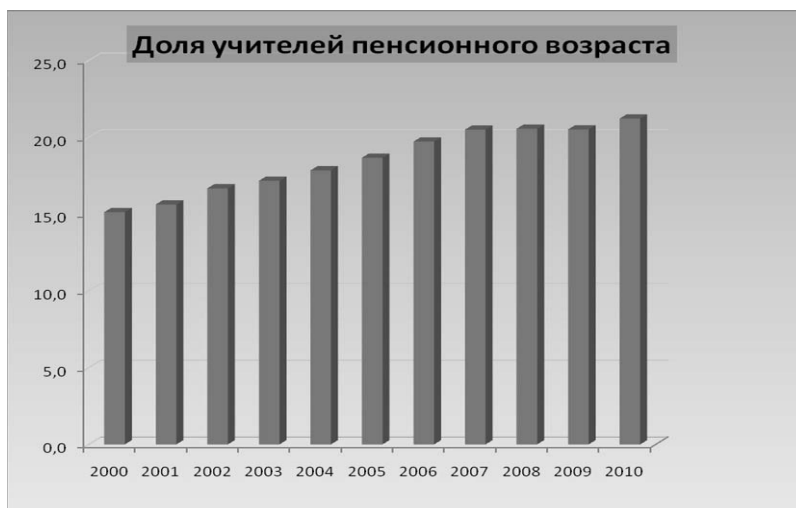


Рисунок 3 – Доля учителей пенсионного возраста в школах Москвы

4 Прогнозы необходимого числа педагогов дошкольных образовательных учреждений

Для построения прогноза необходимого числа педагогов были разработаны прогнозные модели, связывающие общее количество мест в дошкольных образовательных учреждениях (ДОУ) и количеством педагогов. В свою очередь места в ДОУ планируются и создаются на основе прогнозов количества детей дошкольного возраста. Результаты прогноза представлены на рисунках 4-6.

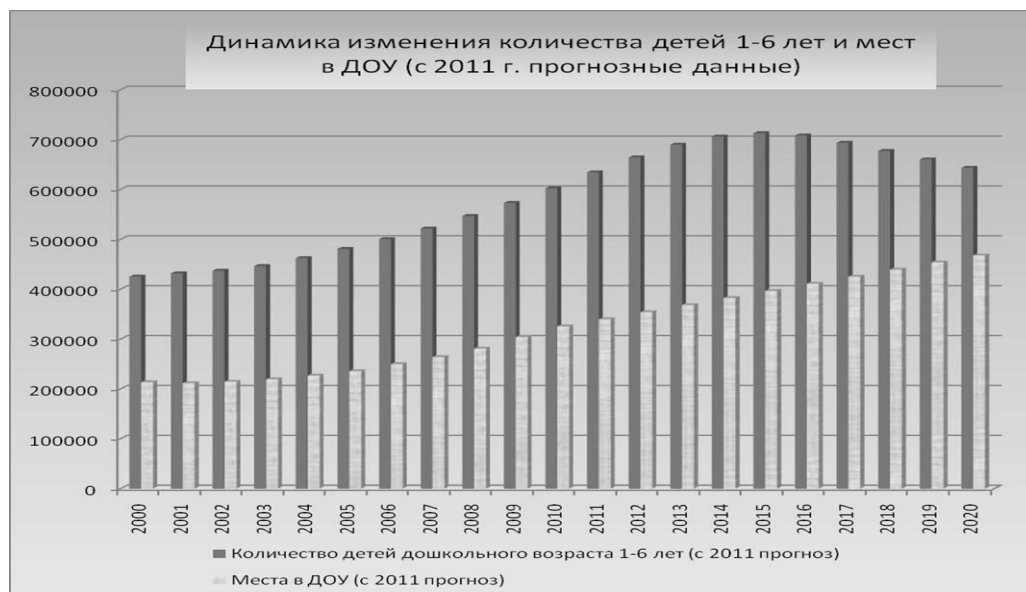


Рисунок 4 – Количество детей 1-6 лет и места в дошкольных образовательных учреждениях (факт и прогноз) в Москве



Рисунок 5 – Фактическое (до 2010 г.) и прогнозное необходимое количество воспитателей в Москве



Рисунок 6 – Фактическое (до 2010 г.) и прогнозные необходимое количество педагогов дошкольных образовательных учреждений в Москве

Заключение

- 1) Выполнен системный анализ проблемы определения потребности в педагогических кадрах для системы общего и дошкольного образования и выделены основные показатели, которые влияют на потребность.
- 2) Разработан алгоритм, разбивающий исходную сложную задачу определения потребности в педагогических кадрах на ряд более простых взаимосвязанных подзадач моделирования и прогнозирования.
- 3) Разработаны расчетные модели, формирующие прогнозные оценки базовых показателей кадрового обеспечения системы общего и дошкольного образования.
- 4) Возможно обобщение и апробация предложенного методологического подхода и алгоритмов для решения прогнозно-аналитических задач для других отраслей социальной сферы Москвы, а также для региональных систем образования России.
- 5) Приведенные выше результаты по определению потребности носят предварительный характер. Необходимо продолжить исследования и уточнение прогнозных моделей с учетом обновляющихся статистических, социологических данных и результатов обсуждения предложенной методологии в экспертном сообществе.

Список литературы

- [1] Стратегия образования: основы формирования, методы оценки и прогнозирования / Авт.: В.В. Рябов, Ю.В. Фролов, В.П. Офицеров и др. – М.: МГПУ, 2003.
- [2] Фролов Ю.В., Офицеров В.П., Ануфриев С.В. Моделирование и прогнозирование потребности педагогических кадров в городе Москве // Международный конгресс конференций «Информационные технологии в образовании». XIII Международная конференция «Информационные технологии в образовании»: Сборник трудов участников конференции. Часть V. – М.: Просвещение, 2003. – С. 254-255.
- [3] Ключевые проблемы кадрового обеспечения образовательных учреждений города Москвы. Информационно-аналитические материалы / Авт.: В.В. Рябов, Ю.В. Фролов, Л.Ф. Холоднова и др. Отв. ред. Е.С. Кушель. – М.: Центр «Школьная книга», 2007.

ПОНИЖЕНИЕ РАЗМЕРНОСТИ ЗАДАЧ ОЦЕНИВАНИЯ ДЛЯ СИСТЕМ ТВЕРДЫХ ТЕЛ С МАЛОЙ ДИССИПАЦИЕЙ

В.А. Соболев, М.С. Осинцев

Самарский государственный аэрокосмический университет им. С.П. Королева
(национальный исследовательский университет)
443001, Самара, ул. Молодогвардейская, 151, Россия
hsablem@yahoo.com
тел: +7 (846) 332-57-86

Ключевые слова: фильтрация, интегральное многообразие, инвариантное многообразие, сингулярные возмущения, дифференциальные системы, гироскопические системы, манипулятор

Abstract

We use a geometric singular perturbations method for reducing the model order in optimal estimation problems for singularly perturbed stochastic differential systems. The method relies on the theory of integral manifolds, which essentially replaces the original system by another system on an integral manifold.

Введение

Движение систем твердых тел представляет собой сложную композицию быстрых и медленных движений, что может быть обусловлено наличием в системе малых или больших параметров. В задачах динамики спутников это может быть связано с наличием демпфирующих устройств или упругих элементов малой массы. Для гироскопических приборов и систем наличие быстрых – нутационных и медленных – прецессионных колебаний хорошо известно и наблюдается почти всегда [1,2]. При моделировании динамики систем твердых тел, характерной особенностью которых является наличие быстрых и медленных движений, обычно используются сингулярно возмущенные дифференциальные системы вида

$$(1) \quad \begin{cases} \dot{x} = f(x, y, t, \varepsilon) \\ \varepsilon \dot{y} = g(x, y, t, \varepsilon) \end{cases}$$

где точкой обозначается дифференцирование по времени t , x и y — векторные переменные, ε — малый положительный параметр [3-8]. В теории автоматического управления модели, описываемые сингулярно возмущенными дифференциальными уравнениями, возникают по целому ряду причин. Такая ситуация естественна для задач управления системами, динамика которых объективно складывается из разнотемповых движений: гироскопические, электромеханические и другие системы. Кроме того, появление сингулярных возмущений может быть связано со спецификой применяемых методов управления и для однотемповых систем. Примерами могут служить задачи с использованием метода штрафа при малом коэффициенте штрафа за управление («дешевое» управление) или задачи стохастической фильтрации с малым шумом в канале наблюдения.

Как известно, удобным аппаратом исследования многомерных систем дифференциальных уравнений является метод интегральных многообразий, использование которого позволяет решать важную для приложений задачу понижения размерности. Можно показать, что при естественных предположениях для системы (1) существует притягивающее интегральное многообразие медленных движений. Построение интегрального многообразия не только позволяет получить систему меньшей размерности, но и сохраняет качественные характеристики движения системы при замене полных уравнений уравнениями меньшей размерности на многообра-

зии. Характерной особенностью динамики систем твердых тел с малой диссипацией, к которым относятся гироскопические системы и манипуляционные роботы, является наличие относительно медленно угаасающих быстрых колебаний, обладающих высокой частотой. С математической точки зрения это означает, основная функциональная матрица сингулярно возмущенной дифференциальной системы, которая получается в результате линеаризации правой части быстрой подсистемы на медленной поверхности, имеет чисто мнимые корни характеристического уравнения. Если в системе присутствует слабая диссипация типа относительно малого вязкого трения, то корни характеристического уравнения сдвигаются в левую комплексную полуплоскость, что обеспечивает существование притягивающего интегрального многообразия медленных движений и сведение задач динамики таких систем к исследованию системы на интегральном многообразии [4, 8]. Размерность системы при этом понижается до размерности медленных переменных. Следует отметить, что в такой ситуации асимптотические методы типа метода пограничных функций неприменимы, а при использовании метода усреднения утрачивается эффект слабого затухания быстрых движений.

Более сложная ситуация возникает при решении задач оптимальной фильтрации и линейно-квадратичных задач оптимального управления. Так, при решении задачи фильтрации для гироскопических систем, возникает необходимость в изучении системы сингулярно возмущенных дифференциальных уравнений Риккати вида

$$(2) \quad \dot{P}_1 = P_2^T + P_2 - P_1 C^T R^{-1} C P_1,$$

$$(3) \quad \varepsilon \dot{P}_2 = \varepsilon P_3 - \varepsilon P_1 N^T - P_2 (G_0 + \varepsilon G_1)^T - \varepsilon P_1 C^T R^{-1} C P_2,$$

$$(4) \quad \varepsilon \dot{P}_3 = -\varepsilon (N P_2 + P_2^T N^T) - P_3 (G_0 + \varepsilon G_1)^T - (G_0 + \varepsilon G_1) P_3 - \varepsilon P_2^T C^T R^{-1} C P_2 + \varepsilon B Q B^T,$$

где $G_0(t)$ – кососимметрическая матрица гироскопических сил, не имеющая нулевых собственных чисел; $G_1(t)$ – симметрическая положительно определенная матрица сил трения; $N(t)$ – матрица неконсервативных сил; $C(t)$ – вектор, характеризующий функцию наблюдения; $B(t)$ – вектор коэффициентов при случайной функции; $Q(t)$ – неотрицательно определенная матрица, характеризующая корреляционную функцию случайного воздействия на систему, $R(t)$ – симметрическая положительно определенная матрица, характеризующая корреляционную функцию шума измерения. Искомая матрица $P(t)$, блоки которой играют роль неизвестных в дифференциальной системе (2)–(4), является корреляционной функцией оптимального фильтра для гироскопической системы.

На первый взгляд только уравнение (2) описывает поведение медленных переменных в этой системе. Однако в подсистеме (4) есть «скрытые» медленные переменные. В постановке задачи присутствует требование о том, чтобы матрица $G_0(t)$ не имела нулевых собственных чисел для всех $t \in R$. Главная часть уравнения (4) может быть представлена как линейный оператор вида

$$(5) \quad LX = XA - BX$$

Известно, что собственные числа линейного оператора L представляют собой всевозможные разности собственных чисел матриц A и B [10]. Матрица G по условию задачи является кососимметрической, то есть в выражении (5) $A=B=G_0$. Следовательно, среди собственных чисел линейного оператора L обязательно есть нулевые. Это означает, что размерность интегрального многообразия медленных движений повышается. Тем не менее, в результате повторного применения процедуры понижения размерности, основанной на применении метода интегральных многообразий, удастся построить фильтр максимально возможного низкого порядка.

В качестве приложений, иллюстрирующих эффективность предлагаемого подхода, рассмотрим задачу динамики и оптимального оценивания для гироскопического маятника и гибкого манипулятора.

1 Гироскопический маятник

Рассмотрим уравнения движения плоского гироскопического маятника с радиальной коррекцией и учетом жидкостного трения в осях вращения подвеса

$$(6) \quad \begin{cases} I_1 \ddot{\alpha} + H \dot{\beta} + lP\alpha + M\beta + n\dot{\alpha} + b\dot{w} = 0, \\ I_2 \ddot{\beta} - H\dot{\alpha} + E\dot{\beta} + \sigma\beta = 0 \end{cases},$$

где α – угол поворота маятника вокруг его оси; β – угол поворота гироскопа вокруг оси его кожуха; I_2, I_1 – соответствующие моменты инерции кожуха и ротора; lP – статический момент маятника; H – кинетический момент гироскопа; M – крутизна момента радиальной коррекции; σ – жесткость пружины, связывающей кожух гироскопа с маятником; E и n – коэффициенты вязкого трения в осях вращения подвеса; $w(t)$ – гауссов случайный процесс типа белого шума с нулевым средним значением.

Предполагается, что угол α поворота гироскопического маятника и угол β поворота кожуха гироскопа, непосредственно недоступны измерению. При помощи измерений может быть получена лишь реализация скалярной случайной функции $z(t) (t \in [t_0, T])$, удовлетворяющей соотношению

$$(7) \quad z(t) = \beta(t) + v(t),$$

где $v(t)$ – случайный гауссов процесс типа белого шума с нулевым средним значением. При этом считаем, что начальное состояние $x(t_0)$ системы (6) представляет собой гауссову случайную векторную величину, не зависящую от $w(t)$ и $v(t)$, со средним значением $\bar{x}_0$ и известной корреляционной матрицей

$$(8) \quad M\{[x(t_0) - \bar{x}_0][x(t_0) - \bar{x}_0]^*\} = \Sigma_0.$$

Корреляционные функции одномерных случайных процессов $w(t)$ и $v(t)$ предполагают следующими

$$(9) \quad \begin{aligned} M[w(t)w(\tau)] &= Q(t)\delta(t-\tau) \\ M[v(t)v(\tau)] &= R(t)\delta(t-\tau), \\ M[w(t)v(\tau)] &= 0 \end{aligned}$$

где q и r – положительные постоянные величины. Для описанной системы построим фильтра Калмана-Бьюси. При этом элементы матрицы (4) в уравнении Риккати имеют следующий вид

$$(10) \quad \begin{aligned} \varepsilon \frac{ds_5}{dt} &= -2\varepsilon \frac{lp}{I_1} s_3 - 2\varepsilon \frac{M}{I_1} s_4 - 2\varepsilon \frac{n}{I_1} s_5 - \frac{2}{I_1} s_8 - \varepsilon \frac{(s_4)^2}{I_1} + \varepsilon \frac{b^2}{I_1^2} q; \\ \varepsilon \frac{ds_8}{dt} &= -\varepsilon \frac{lp}{I_1} s_6 - \varepsilon \frac{M}{I_1} s_7 - \varepsilon \frac{n}{I_1} s_8 - \frac{1}{I_1} s_9 - \varepsilon \frac{\sigma}{I_2} s_4 + \frac{1}{I_2} s_5 - \varepsilon \frac{E}{I_2} s_8 - \varepsilon \frac{s_4}{r} s_7; \\ \varepsilon \frac{ds_9}{dt} &= -2\varepsilon \frac{\sigma}{I_2} s_7 + \frac{2}{I_2} s_8 - 2\varepsilon \frac{E}{I_2} s_9 - \varepsilon \frac{(s_7)^2}{r}; \end{aligned}$$

Матрица главных членов в правой части имеет нулевое собственное значение, а значит, система уравнений Риккати для фильтра гироскопического маятника содержит четыре медленных переменных и шесть быстрых. Для этой системы возможно построение притягивающего интегрального многообразия. Воспользуемся тем фактом, что интегральное многообразие допускает разложение по степеням малого параметра. В ходе работы было построено интегральное многообразие с точностью $O(\varepsilon^3)$.

Уравнения для медленных переменных на интегральном многообразии имеет следующий вид:

$$(11) f(x, h(x, \varepsilon)) = \begin{pmatrix} -\frac{1}{r}x_2^2 + \varepsilon 2\alpha x_2 - \varepsilon^2 \left(\left(\frac{I_2 n}{I_1} + E \right) x_4 - \frac{b^2 q I_2}{I_1} - 2EIPx_1 - 2EMx_2 \right) \\ -\frac{1}{r}x_2x_3 + \varepsilon(\alpha x_3 - IPx_1 - Mx_2) - \varepsilon^2 \left(EIPx_2 + EMx_3 + n\alpha x_2 - \frac{I_1}{r}x_2x_4 \right) \\ -\frac{1}{r}x_3^2 + \varepsilon(2IPx_1 + 2Mx_3) - \varepsilon^2 \left(\frac{nI_2 + EI_1}{2I_2}x_4 - \frac{3b^2 q}{2} + 2n\alpha x_4 - \frac{I_1}{r}x_3x_4 \right) \\ -\frac{nI_2 + EI_1}{I_1 I_2}x_4 + \frac{b^2 q}{I_1} + O(\varepsilon) \end{pmatrix}.$$

В качестве приближенного значения для четвертой переменной можно использовать следующее значение

$$(12) \tilde{x}_3 = \frac{b^2 q I_2}{nI_2 + EI_1}.$$

Таким образом, можно получить скорректированные уравнения движения гироскопического маятника меньшей размерности. Уравнения движения вдоль интегрального многообразия имеют следующий вид

$$(13) \dot{\omega} = \varepsilon \begin{pmatrix} -\varepsilon EIP & -\varepsilon EM + \sigma \\ -IP & -M - \varepsilon n\sigma + \varepsilon \frac{b^2 I_1 I_2}{r(nI_2 + EI_1)} \end{pmatrix} \omega - \varepsilon \begin{pmatrix} 0 \\ b \end{pmatrix} \dot{w} + O(\varepsilon^3),$$

где $\omega = (\alpha \ \beta)^T$.

В ходе работы была написана программа в математическом пакете MATLAB, позволяющая получить результаты моделирования работы фильтра Калмана-Бьюси по полным уравнениям движения и по уравнениям на многообразии. Несколько результатов работы фильтров приведены на рисунке 1.

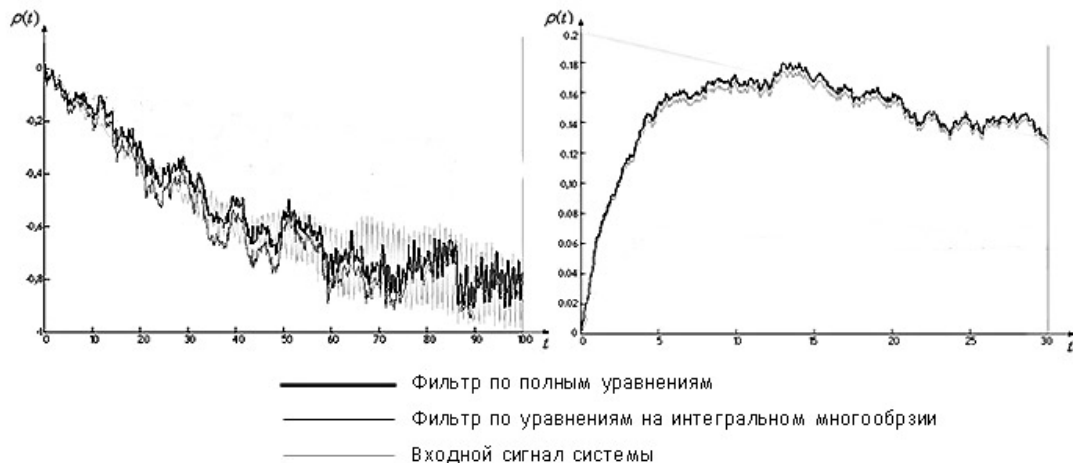


Рисунок 1 – Результаты численного моделирования фильтров Калмана-Бьюси для гироскопического маятника

Как видно из приведенных рисунков, результаты работы фильтра, построенного на основе уравнений на многообразии достаточно близко к результатам работы фильтра по полным

уравнениям, что дает основание утверждать эффективность использования метода интегральных многообразий для понижения размерности задачи фильтрации.

2 Гибкий однозвенный манипулятор

Аналогичная ситуация возникает в задаче оптимального оценивания для однозвенного гибкого манипулятора [11], движения которого описываются уравнением вида

$$(14) \quad EI\psi_p^{[4]}(t, x) + \rho(\ddot{\psi}_p(t, x) + x\ddot{\theta}_p(t)) = 0;$$

$$\tau(t) - J\ddot{\theta}_p(t) - v_p(t) = 0;$$

при начальных условиях

$$(15) \quad \begin{aligned} w_p(t, 0) &= 0; \\ EI\psi_p''(t, 0) &= J_H(\ddot{\theta}_p(t) + \ddot{\psi}_p'(t, 0)) - \tau(t); \\ EI\psi_p''(t, L) &= -J_p(\ddot{\theta}_p(t) + \ddot{\psi}_p'(t, L)); \\ EI\psi_p^{[3]}(t, L) &= M_p(L\ddot{\theta}_p(t) + \ddot{\psi}_p'(t, L)). \end{aligned}$$

Решение этой системы может быть представлено в виде произведения части, зависимой только от времени и части, зависимой только от положения манипулятора

$$(16) \quad \psi_p(t, x) = \sum_{i=1}^{nf} q_{p_i}(t) \phi_{p_i}(x).$$

Ограничиваясь учетом только одной гибкой моды и считая, что внешнего управляющего воздействия на модель нет, получаем уравнения движения гибкого однозвенного манипулятора в следующем виде:

$$(17) \quad \begin{bmatrix} J & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \ddot{q}_p + \frac{1}{\varepsilon} \begin{bmatrix} b_H & 0 \\ 0 & 2\zeta_e \omega \end{bmatrix} \dot{q}_p + \frac{1}{\varepsilon^2} \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & \omega^2 \end{bmatrix} q_p = 0,$$

где J - суммарный момент инерции манипулятора, ε - малый параметр, наличие которого обусловлено большой собственной частотой колебаний манипулятора, b_H - коэффициент трения, связанного с двигателем в основании манипулятора, ζ_e - трение, обусловленное гибкой модой.

Будем считать, что на манипулятор воздействует случайное воздействие типа белого гауссовского шума, при этом наблюдению доступен только угол поворота и скорость вращения основания манипулятора. В этом случае уравнение движения такой системы выражается следующей системой

$$(18) \quad \begin{cases} \dot{q}_1 = \varphi \\ \dot{\varphi} = -\frac{b}{J}\varphi + h_1\dot{w}_1 \\ \varepsilon\dot{q}_2 = z \\ \varepsilon\dot{z} = -2\zeta_e\omega\varepsilon z - \omega^2 q_2 + \varepsilon^2 h_2\dot{w}_2 \end{cases},$$

при этом уравнение наблюдения имеет вид

$$(19) \quad y(t) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & \phi_o(x) & 0 \end{bmatrix} \cdot x(t) + v(t).$$

Корреляционные функции случайных процессов имеет вид, аналогичный (9). Для этой системы построим фильтр Калмана-Бьюси. Уравнение (4) в этом случае выглядит следующим образом

$$\begin{aligned}
 \frac{dp_6}{dt} &= \frac{2}{\varepsilon} p_9 - \frac{p_4 + p_6 \phi_0}{r} p_4 - \frac{p_4 + p_6 \phi_0}{r} \phi_0 p_6; \\
 (20) \quad \frac{dp_9}{dt} &= \frac{1}{\varepsilon} p_{10} - \frac{\omega^2}{\varepsilon} p_6 - 2\zeta_\varepsilon \omega p_9 - \frac{p_4 + p_6 \phi_0}{r} p_7 - \frac{p_4 + p_6 \phi_0}{r} \phi_0 p_9; \\
 \frac{dp_{10}}{dt} &= -2\frac{\omega^2}{\varepsilon} p_9 - 4\zeta_\varepsilon \omega p_{10} - \frac{p_7 + p_9 \phi_0}{r} p_7 - \frac{p_7 + p_9 \phi_0}{r} \phi_0 p_9 + \varepsilon^2 h_2^2 p_2.
 \end{aligned}$$

Матрица главных членов в правой части уравнения имеет нулевое собственное значение, а значит, в системе уравнений Риккати для фильтра имеется четыре медленных переменных и шесть быстрых. Для этой системы так же возможно построение притягивающего многообразия медленных движений четвертого порядка. Таким образом, возможно понижение размерности задачи оптимальной фильтрации для гибкого манипулятора.

Заключение

Были рассмотрены задачи оптимального оценивания для класса дифференциальных систем, содержащих быстрые и медленные движения. Показано, что при помощи метода интегральных многообразий возможно понижение размерности задачи оптимального оценивания для систем твердых тел с малой диссипацией.

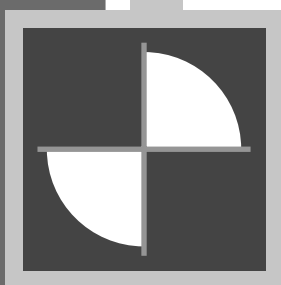
В качестве примера рассмотрены задачи оптимального оценивания для гироскопического маятника и однозвенного гибкого манипулятора. В случае гироскопического маятника возможно построение уравнений движения меньшего порядка, чем исходная система. При этом уравнения на многообразии достаточно точно описывают движения исходной системы.

Благодарности

Работа выполнена при поддержке Программы фундаментальных исследований 15 Отделения энергетики, механики, машиностроения и процессов управления РАН.

Список литературы

- [1] Ишлинский А. Ю. Механика гироскопических систем. М: Наука, 1963.
- [2] Меркин Д. Р. Гироскопические системы. М: Наука, 1974.
- [3] Новожилов И. В. Фракционный анализ. М: Изд-во МГУ, 1991.
- [4] Стрыгин В. В., Соболев В. А. Разделение движений методом интегральных многообразий. М: Наука, 1988.
- [5] Черноушко Ф. Л., Болотник Н. Н., Градецкий В. Г. Манипуляционные роботы: динамика, управление, оптимизация. М: Наука, 1989.
- [6] Ghorbel F., Spong M. W. // Int. J. of Non-Linear Mechanics, 2000, 35, 133–155.
- [7] Naidu D. S., Calise A. J. // Journal of Guidance, Control and Dynamics, 2001, 24, 1057–1078.
- [8] Воропаева Н. В., Соболев В. А. Геометрическая декомпозиция сингулярно возмущенных систем. М: Физматлит, 2009.
- [9] O'Malley R. E., Sobolev V., Mortell M. P., Alexei Pokrovskii A. Singular Perturbations and Hysteresis, Philadelphia: SIAM, 2005.
- [10] Гантмахер Ф. Р. Теория матриц. М: Наука, 1967.
- [11] R.J.M. v.d. Ven Modelling and control of a rotating flexible link, Research project report, Eindhoven University of Technology Department of Mechanical Engineering Systems and Control Group, 2001.



Control and Measurement in Complex Technical Systems
Управление и измерения в сложных
технических системах

УПРАВЛЕНИЕ КВАДРОКОПТЕРОМ НА ОСНОВЕ ОРГАНИЗАЦИИ ДВИЖЕНИЯ ПО ЖЕЛАЕМОЙ ТРАЕКТОРИИ В ПРОСТРАНСТВЕ СОСТОЯНИЙ

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

Институт автоматизации 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) 333-38-63

Ключевые слова: квадрокоптер, управление движением, примеры форматирования, шаблон-заготовка, файл

Abstract

An algorithm for quadcopter control based on organization of a forced motion along the desired trajectory in the system state space, an example of motion along one of the axis at a given height from the underlying surface and the results of the simulation in Matlab/Simulink are presented.

Введение

Развитие беспилотной авиации [1] приводит к появлению всё новых схем летательных аппаратов, реализация возможностей которых требует решения специфических задач управления [2]. Одним из таких аппаратов является квадрокоптер — вертолёт с четырьмя несущими винтами, обладающий широкими возможностями маневрирования в пространстве.

1 Постановка задачи и описание объекта управления

Положение квадрокоптера в трёхмерном пространстве характеризуется координатами x, y, z центра масс аппарата в неподвижной декартовой системе координат и тремя углами Эйлера в собственной локальной системе координат квадрокоптера: ψ - углом поворота вокруг оси z_b (рыскание), φ - углом поворота вокруг оси x_b (крен), ϑ - углом поворота вокруг оси y_b (тангаж). Уравнения, описывающие поведение квадрокоптера в указанных координатах, хорошо известны [3-5]:

$$(1) \quad \begin{cases} m\ddot{x} = (\sin \psi \cdot \sin \varphi + \cos \psi \cdot \cos \varphi \cdot \sin \vartheta) \cdot u_1; \\ m\ddot{y} = (-\cos \psi \cdot \sin \varphi + \sin \psi \cdot \cos \varphi \cdot \sin \vartheta) \cdot u_2; \\ m\ddot{z} = \cos \varphi \cdot \cos \vartheta \cdot u_1 - mg; \\ I_{xx} \cdot \ddot{\varphi} = u_2 - (I_{zz} - I_{yy}) \cdot \vartheta \cdot \dot{\psi}; \\ I_{yy} \cdot \ddot{\vartheta} = u_3 - (I_{xx} - I_{zz}) \cdot \dot{\varphi} \cdot \dot{\psi}; \\ I_{zz} \cdot \ddot{\psi} = u_4. \end{cases}$$

Здесь: m - масса квадрокоптера;

g - ускорение силы тяжести;

I_{xx}, I_{yy}, I_{zz} - моменты инерции относительно соответствующих координатных осей.

Подъёмная сила u_1 и вращающие моменты u_2, u_3, u_4 определяются через силы F_1, F_2, F_3, F_4 , создаваемые винтами квадрокоптера:

$$(2) \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \\ u_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & -l & 0 & l \\ -l & 0 & l & 0 \\ -\lambda & \lambda & -\lambda & \lambda \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ F_3 \\ F_4 \end{bmatrix},$$

где l - расстояние от оси винта до центра масс квадрокоптера; λ - коэффициент пропорциональности между тягой винта и реактивным моментом вращения, создаваемым винтом.

2 Метод решения

Управление объектом, описываемым уравнениями (1), встречает существенные трудности, т. к. объект нелинеен и не имеет устойчивых точек равновесия, кроме положения покоя на поверхности Земли.

Ставится задача определения управляющих параметров $u_1 - u_4$, обеспечивающих устойчивое движение квадрокоптера по желаемой траектории, включающей взлёт, движение в заданную точку пространства с заданной скоростью и посадку в заданном месте.

В предыдущих работах [6, 7] нами предложена система управления, основанная на реализации вынужденного движения управляемого объекта по заданной траектории в пространстве состояний объекта. Далее в докладе будет показана эффективность указанного метода управления на примере реализации движения квадрокоптера по траектории, включающей взлёт в точке $x=0$, подъём на заданную высоту z_{ref} , движение над подстилающей поверхностью на заданной высоте в направлении оси x_b со скоростью v_{ref} и посадку в точке $x = x_{ref}$.

Для выбранного режима полёта выполняются соотношения $\varphi \equiv \psi \equiv 0$, $u_2 = u_4 = 0$ и система уравнений (1) значительно упрощается:

$$(3) \begin{cases} \ddot{x} = \frac{u_1}{m} \cdot \sin \vartheta; \\ \ddot{z} = \frac{u_1}{m} \cdot \cos \vartheta - g; \\ \ddot{\vartheta} = \frac{u_3}{I_{yy}}. \end{cases}$$

Определим управляющие параметры u_1 и u_3 , обеспечивающие полёт из точки x_0 в момент времени t_0 со скоростью $v_{ref} = const$ на высоте h над поверхностью Земли в точку $x=R$ в некоторый момент t и посадку в точке $x=R$. Высота поверхности Земли над нулевой точкой отсчёта задаётся функцией $h_0(x)$. Очевидно, что желаемые высота и скорость полёта на трассе задаются соотношениями: $z_{ref} = h + h_0(x)$, $v = v_{ref}$. При этом $z_{ref} = h_0(0)$ и $v=0$ в момент старта и $z_{ref} = h_0(R)$ и $v=0$ в точке $x=R$.

В соответствии с методикой, предложенной в [6, 7], определяем уравнение желаемой траектории

$$(4) \begin{cases} S_z = \dot{z} + k_z \cdot (z - z_{ref}) = 0; \\ S_v = v - v_{ref} = 0. \end{cases}$$

Выполнение условий (4) обеспечивает движение объекта с заданной скоростью v_{ref} и экспоненциальный выход на заданную высоту z_{ref} . Однако эти условия не выполняются, по крайней мере, в начальной и конечной точках полёта или в любой точке траектории при наличии возмущений.

Необходимыми условиями устранения отклонений от режима, определяемого уравнениями (4), являются соотношения

$$(5) \quad \frac{d}{dt} S_z^2 \leq 0; \quad \frac{d}{dt} S_v^2 \leq 0.$$

При этом знаки равенства в (5) допустимы лишь при $S_z = 0$ и $S_v = 0$. Заменим условия (5) эквивалентными:

$$(6) \quad \dot{S}_z = -\alpha_z \cdot S_z; \quad \dot{S}_v = -\alpha_v \cdot S_v,$$

которые гарантируют экспоненциальное движение величин S_z и S_v к нулю с постоянными времени $\tau_z = \frac{1}{\alpha_z}$ и $\tau_v = \frac{1}{\alpha_v}$.

После дифференцирования соотношений (4) с учётом (6) и с использованием первых двух уравнений системы (3) получим уравнения, определяющие управляющий параметр u_1 и желаемое значение угла $\vartheta = \vartheta_{ref}$:

$$(7) \quad \begin{cases} \frac{u_1}{m} \cos \vartheta_{ref} = g - \alpha_z \cdot S_z - k_z \cdot (\dot{z} - \dot{z}_{ref}) \\ \frac{u_1}{m} \sin \vartheta_{ref} = -\alpha_v \cdot S_v. \end{cases}$$

Введём обозначения

$$(8) \quad \begin{cases} w_1 = g - \alpha_z \cdot S_z - k_z \cdot (\dot{z} - \dot{z}_{ref}) \\ w_2 = -\alpha_v \cdot S_v. \end{cases}$$

С учётом этих обозначений из (7) получим:

$$(9) \quad u_1 = m \cdot \sqrt{w_1^2 + w_2^2}; \quad \vartheta_{ref} = \arctg \frac{w_2}{w_1}.$$

Для вычисления управляющего углом ϑ момента u_3 повторим приведённую выше процедуру. А именно, определим закон изменения ϑ уравнением

$$S_\vartheta = \dot{\vartheta} + k_\vartheta \cdot (\vartheta - \vartheta_{ref}),$$

потребуем выполнения условия $\dot{S}_\vartheta = -\alpha_\vartheta \cdot S_\vartheta$ и после выполнения дифференцирования из третьего уравнения системы (3) получим соотношение

$$(10) \quad u_3 = I_{yy} \cdot (-\alpha_\vartheta \cdot S_\vartheta - k_\vartheta \cdot (\dot{\vartheta} - \dot{\vartheta}_{ref})),$$

которое можно переписать как

$$u_3 = I_{yy} \cdot w_3,$$

где

$$(11) \quad w_3 = -\alpha_\vartheta \cdot S_\vartheta - k_\vartheta \cdot (\dot{\vartheta} - \dot{\vartheta}_{ref}).$$

Управление квадрокоптером в соответствии с (9) и (10) требует знания координат z и x и угла ϑ , а также их производных. Предполагается, что аппарат оборудован средствами для измерения или вычисления соответствующих параметров. Значения $\dot{z}_{ref}$ и $\dot{\vartheta}_{ref}$ можно получить с помощью дифференцирующих фильтров.

3 Устойчивость системы

Для выяснения вопросов устойчивости предлагаемой системы управления подставим значения управляющих параметров u_1 и u_3 из (9) и (10) в уравнения (3). После простых преобразований получим уравнения, описывающие динамику объекта:

$$(12) \begin{cases} \dot{v} + \alpha_v \cdot v = \alpha_v \cdot v_{ref}; \\ \ddot{z} + (\alpha_z + k_z) \cdot \dot{z} + \alpha_z \cdot k_z \cdot z = \alpha_z \cdot k_z \cdot z_{ref} + k_z \cdot \dot{z}_{ref}; \\ \ddot{\vartheta} + (\alpha_{\vartheta} + k_{\vartheta}) \cdot \dot{\vartheta} + \alpha_{\vartheta} \cdot k_{\vartheta} \cdot \vartheta = \alpha_{\vartheta} \cdot k_{\vartheta} \cdot \vartheta_{ref} + k_{\vartheta} \cdot \dot{\vartheta}_{ref} \end{cases}$$

или в операторной форме

$$(13) \begin{cases} v = \frac{1}{T_v \cdot p + 1} \cdot v_{ref}; \\ z = \frac{T_z \cdot p + 1}{T_z^2 \cdot p^2 + 2T_z \cdot p + 1} \cdot z_{ref}; \\ \vartheta = \frac{T_{\vartheta} \cdot p + 1}{T_{\vartheta}^2 \cdot p^2 + 2T_{\vartheta} \cdot p + 1} \cdot \vartheta_{ref}. \end{cases}$$

В (13) приняты следующие обозначения

$$(14) \quad \alpha_v = \frac{1}{T_v}; \quad \alpha_z = k_z = \frac{1}{T_z}; \quad \alpha_{\vartheta} = k_{\vartheta} = \frac{1}{T_{\vartheta}}.$$

Равенство коэффициентов α и k гарантирует монотонные переходные процессы.

Соотношения (12), (13) показывают, что в предлагаемой системе управляющие параметры u_1 и u_3 могут интерпретироваться как нелинейные обратные связи по v, z и ϑ , которые преобразуют нелинейную управляемую систему в устойчивую линейную, описываемую уравнениями второго порядка.

4 Результаты моделирования

Предложенная система управления промоделирована в среде MATLAB/Simulink при следующих величинах параметров: высота полёта над подстилающей поверхностью $h = 5$ м, задание на скорость полёта $v_{ref} = 2$ м/с, момент инерции относительно оси y $I_{yy} = 0.167634$ кгм², масса аппарата $m = 2.2$ кг, ускорение силы тяжести $g = 10$ м/с², дальность полёта $R = 100$ м, коэффициенты в системе управления: $\alpha_z = 1$, $k_z = 1$, $\alpha_{\vartheta} = 20$, $k_{\vartheta} = 20$ и $\alpha_v = 10$, начальное значение угла рыскания $\psi_0 = 0$, $x_m = R/2$. Форма подстилающей поверхности задана функцией $h_0(x) = a \cdot e^{-\gamma \cdot (x - x_m)^2}$, $a = 10$, $\gamma = 0.01$.

На рисунке 1 представлено поведение во временной области уставки высоты полёта (Setting) и траектории полёта (Quadrotor Trajectory) при заданном профиле подстилающей поверхности (Obstacle). На рисунке 2 показана форма траектории вдоль трассы полёта.

Результаты моделирования подтверждают работоспособность предложенного способа управления применительно к летательному аппарату - квадрокоптеру.

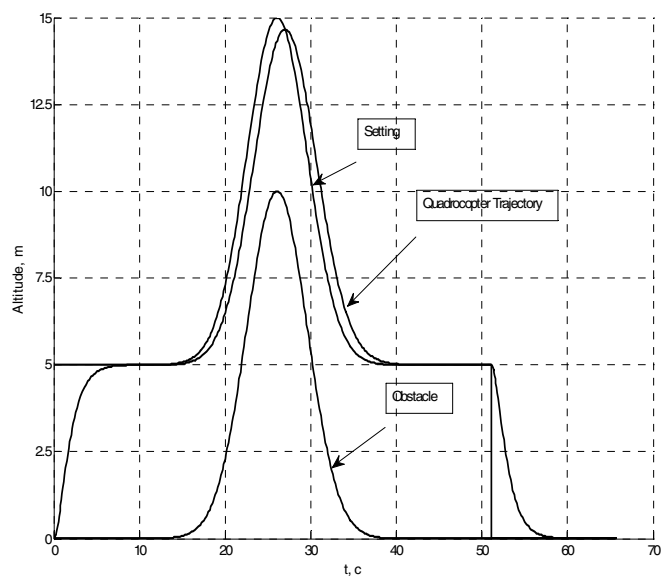


Рисунок 1 – Траектория полёта аппарата во времени

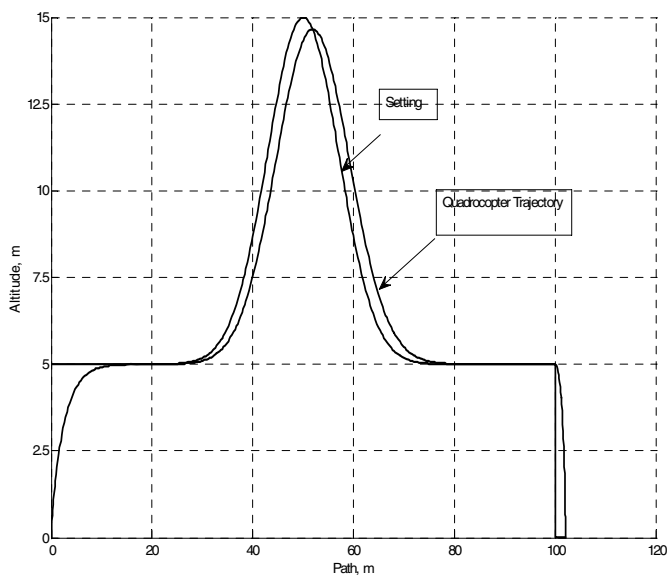


Рисунок 2 – Траектория движения вдоль трассы полёта

Заключение

В докладе представлен способ управления квадрокоптером, основанный на предложенном ранее методе организации вынужденного движения по желаемой траектории в пространстве состояний системы. Полученные при моделировании результаты дают основание надеяться на успех при реализации систем управления беспилотными летательными аппаратами вертикального взлёта и посадки.

Список литературы

- [1] Unmanned Aircraft Systems Roadmap 2005-2030.
http://www.fas.org/irp/program/collect/uav_roadmap2005.pdf, Last visited 14-04-2011.
- [2] Современные информационные технологии в задачах навигации и наведения беспилотных маневренных летательных аппаратов. // Под ред. М.Н. Красильщикова, Г.Г. Себрякова. М., Физматлит, 2009, 556 с.
- [3] Jinhyun Kim, Min-Sung Kang, Sangdeok Park. Accurate Modeling and Robust Hovering Control for a Quad-rotor VTOL Aircraft. // J. Intell. Robot. Syst. (2010) Volume 57, Numbers 1-4, pp. 9-26.
- [4] Randal W. Beard. Quadrotor dynamics and control. Brigham Young University, February 19 2008.
http://quad08topgun.groups.et.byu.net/documents/quadrotor_2_20_2008.pdf, Last visited 14-04-2011.
- [5] Gabriel M. Hoffman. AUTONOMY FOR SENSOR-RICH VEHICLES: INTERACTION BETWEEN SENSING AND CONTROL ACTIONS. PhD thesis, Department of Aeronautics and Astronautics, Stanford University, Stanford, CA, 2008. <http://hoffman.stanford.edu/papers/gmhThesis.pdf>, Last visited 26-07-2010.
- [6] Ю.Н. Золотухин, А.А. Нестеров. Управление перевёрнутым маятником с подвижной точкой подвеса. // В кн. Труды XII Международной конференции "Проблемы управления и моделирования в сложных системах", 21-23 июня 2010 г., Самара, Россия. Самара, Самарский научный центр РАН, 2010, с. 291-297.
- [7] Ю.Н. Золотухин, А.А. Нестеров. Управление перевёрнутым маятником с учётом диссипации энергии. // Автометрия, 2010, с. 3-10.

КОМПЕНСАЦИЯ ТРАНСПОРТНОГО ЗАПАЗДЫВАНИЯ ПРИ УПРАВЛЕНИИ ТРАЕКТОРНЫМ ДВИЖЕНИЕМ ГРУППЫ МОБИЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ

Ю.Н. Золотухин, К.Ю. Котов, А.С. Мальцев, А.А. Нестеров, М.Н. Филиппов

Институт автоматизации и электрометрии СО РАН
630090, Новосибирск, пр. ак. Коптюга, 1, Россия
zol@idisys.iae.nsk.su
тел: +7 (383) 333-26-25

Ключевые слова: группировка подвижных объектов, мобильный робот e-puck, траекторное движение, транспортное запаздывание

Abstract

This article presents an algorithm of the time delay compensation in mobile robot control system in formation. The algorithm is based on the analytical predictor and extended Kalman filter techniques. Experimental results with e-puck mobile robots show the effectiveness of the proposed method.

Введение

В последнее время наблюдается бурное развитие сети Интернет, беспроводных сетей, систем GPS навигации, а также автономных и телеуправляемых систем, таких как системы подвижных роботов [1], [2] манипуляторов [3] и т. п. В связи с этим значительный интерес проявляется к системам управления с запаздыванием, где источником запаздывания является канал передачи данных от датчика к системе управления или от системы управления к объекту [4], [5], а также непосредственно датчики сигналов [6].

Целью данной работы является коррекция транспортного запаздывания в системе управления мобильным роботом с дифференциальным приводом при перемещении в составе маневрирующей группы.

Предложен способ коррекции запаздывания, основанный на использовании аналитической экстраполяции и расширенного фильтра Калмана. Алгоритм управления движением робота построен на основе метода, изложенного в работе [7]. Результаты экспериментов по управлению группой мобильных роботов e-puck подтверждают эффективность предложенного подхода.

1 Постановка задачи и описание объекта управления

В качестве объекта управления используется мобильный робот e-puck с дифференциальным приводом, разработанный в университете EPFL, Швейцария и предназначенный для исследовательских и образовательных целей [8]. Для проведения экспериментов и отладки алгоритмов создан экспериментальный стенд, состоящий из горизонтального стола – поверхности, по которой движутся роботы, видеосистемы для получения абсолютных координат робота, и компьютера, выполняющего функции обработки и передачи информации и управляющих команд роботу [9].

Уравнения движения робота имеют следующий вид:

$$(1) \quad \dot{q}(t) = f(q(t), u(t)),$$

где $q = [x, y, \varphi]^T$ — вектор состояния системы, характеризующий пространственное положение мобильной платформы, $f(q, u)$ — вектор-функция, определяемая уравнениями кинематического

и динамического описания робота [9], $u=[U_1, U_2]^T$ — вектор управляющих воздействий, подаваемых на робот.

Для построения группы роботов использован подход лидер - ведомые, где в составе группы выделен объект-лидер, относительно которого остальные члены группы — ведомые определяют свое положение и за которым следуют. Задачей управления будем считать перевод объекта группы в целевое положение, заданное подвижной точкой на некоторой кривой в плоскости (x, y) с дальнейшим отслеживанием траектории движения данной точки. В качестве алгоритма управления используется метод предложенный в [7].

2 Управление с запаздыванием

Как и в большинстве реальных систем автоматического регулирования, в системе управления роботом неизбежно присутствуют запаздывания, связанные с конечной скоростью работы радиоканала связи с роботом, обработки видеоизображения с CMOS камеры и др. В случае управления группой роботов пренебрежение этими запаздываниями может привести к существенным ошибкам управления.

Представим уравнения (1) в следующем виде

$$(2) \quad \dot{q}(t) = f(q(t), u(t-T)).$$

Общее время запаздывания T в системе связано с периодом квантования Δt соотношением

$$(3) \quad T = (n_1 + n_2)\Delta t = N\Delta t$$

и складывается из величин n_1, n_2 относительного запаздывания в канале управления и измерения выходной координаты системы соответственно.

На рисунке 1а изображена структурная схема системы управления, а на рисунке 1б — блок схема с использованием дискретных передаточных функций соответствующих элементов.

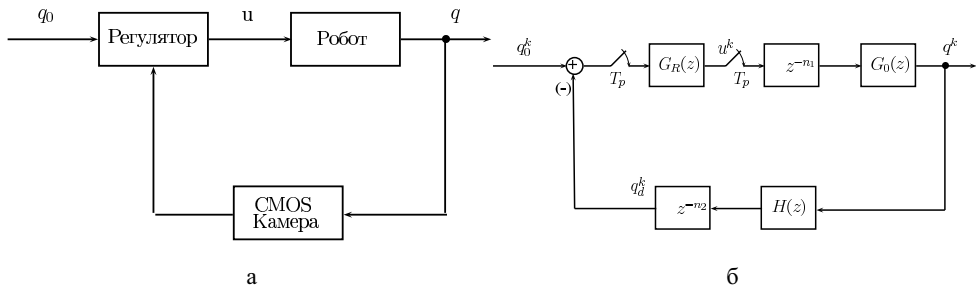


Рисунок 1 – Блок схема системы управления

2.1 Аналитический экстраполятор

Так как ни одна вспомогательная величина, не содержащая запаздывания, недоступна для измерений, воспользуемся для компенсации запаздывания математической моделью объекта управления. Один из способов заключается в пропускинии выходного сигнала системы через модель объекта или получении оценок координат q для текущего момента времени t [10]. Оценки определяются соотношением

$$(4) \quad \hat{q}^k = q_d^k + \sum_{i=k}^{k+N} f(q_m^i, u^{i-N})\Delta t,$$

где $\hat{q}^k$ — оценка вектора состояния с учетом запаздывания T , q_d^k — значение вектора состояния в текущий момент времени $t=k\Delta t$, полученное от системы определения координат, q_m^i — со-

стояние модели (1), $q_m^k = q_d^k$. Отметим, что в данном случае необходимо наличие информации о последних N отсчетах управляющего воздействия u . Структурная схема системы с коррекцией запаздывания приведена на рисунке 2.

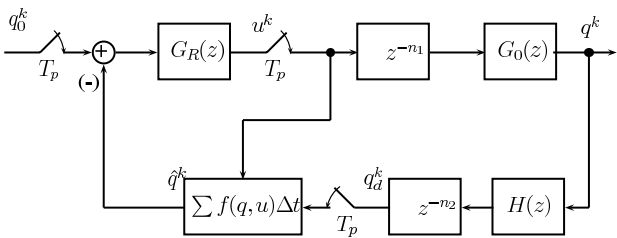


Рисунок 2 – Блок схема системы (7) коррекции запаздывания

Для экспериментальной проверки в систему управления роботом введена искусственная задержка $T=1.35\text{ c}$ в получении координаты от видеокамеры. Траектория движения цели задавалась уравнениями

$$(5) \quad \begin{cases} y_0(t) = v_0 t, & \dot{y}_0(t) = v_0, & x_0(t) = 0, \\ \dot{x}_0(t) = 0 & \text{npu} & 0 \leq t < t_1; \\ y_0(t) = v_0 t_1, & \dot{y}_0(t) = 0, & x_0(t) = v_0 t, \\ \dot{x}_0(t) = v_0 & \text{npu} & t_1 \leq t < 1.5t_1; \\ y_0(t) = v_0(t_1 - t), & \dot{y}_0(t) = -v_0, & x_0(t) = 0.5v_0 t_1, \\ \dot{x}_0(t) = 0 & \text{npu} & 1.5t_1 \leq t < 2.5t_1; \\ y_0(t) = 0, & \dot{y}_0(t) = 0, & x_0(t) = v_0(0.5t_1 - t), \\ \dot{x}_0(t) = -v_0 & \text{npu} & 2.5t_1 \leq t < 3t_1. \end{cases}$$

с параметрами $y_0(0) = 0.1\text{ м}$, $x_0(0) = 0.1\text{ м}$, $v_0 = 0.01\text{ м/с}$, $t_1 = 40\text{ с}$. Результаты приведены на рисунке 3а и 4а, где изображены траектории перемещения робота и цели, а также изменение величин Δx , Δy , $\Delta \varphi$ и U_1 , U_2 во временной области, соответственно. При этом задержка, обусловленная текущей конфигурацией аппаратно-программного обеспечения, не превышала 0.2 с и не оказывала заметного влияния на качество управления.

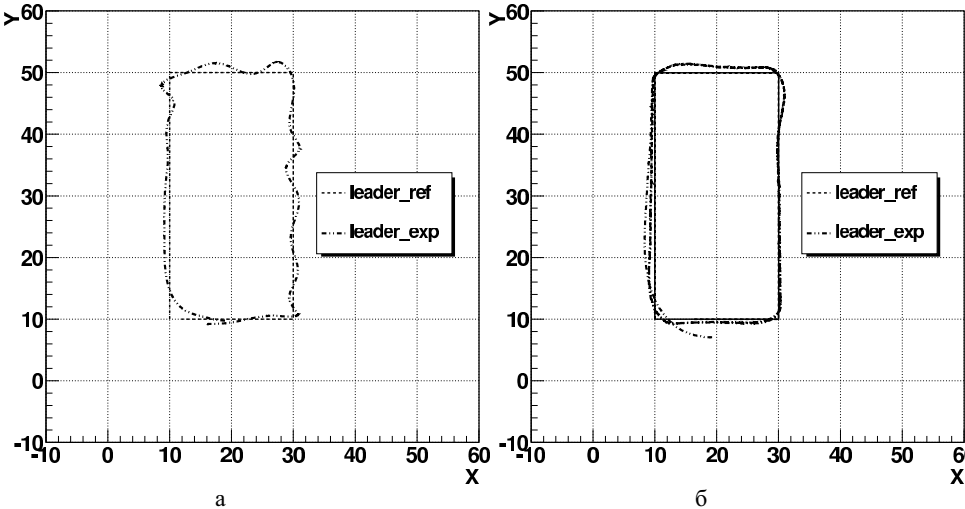


Рисунок 3 – Перемещение робота вдоль траектории (5): а – без коррекции запаздывания, б – с введенной коррекцией (4)

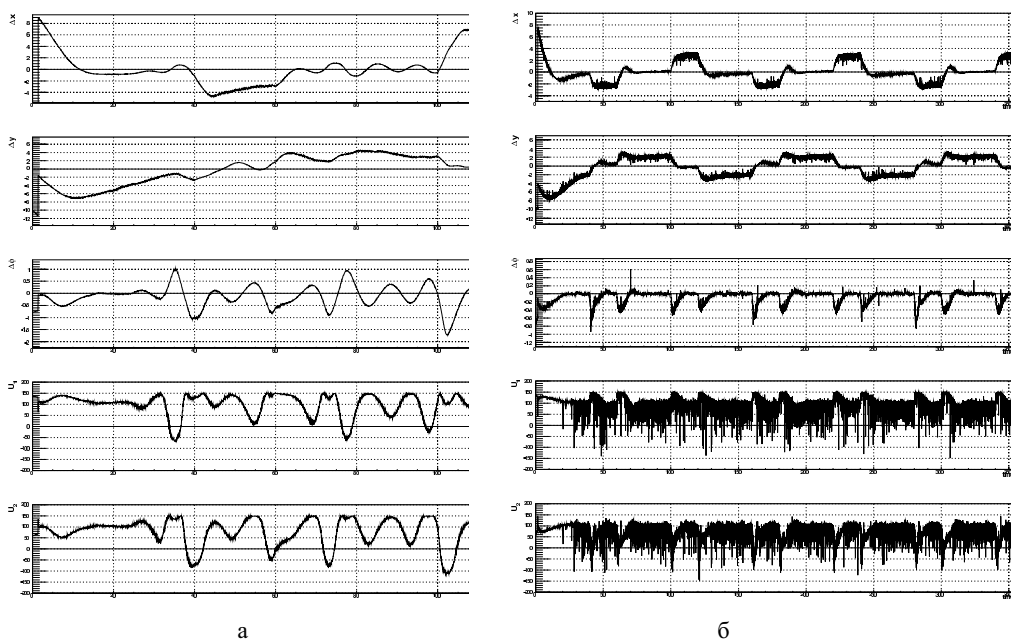


Рисунок 4 – Величины ошибок Δx , Δy , $\Delta \varphi$ и управляющих параметров U_1 , U_2 во временной области:
а – без коррекции запаздывания, б – с введенной коррекцией (4)

Для коррекции запаздывания с помощью выражения (4) необходимо вычислять интеграл на каждом шаге квантования. Кроме того, оказывается существенным влияние на вводимую коррекцию таких эффектов как проскальзывание колес, неровности поверхности при использовании управляющих воздействий, подаваемых на робот. Пренебрежение такими эффектами в модели (1) приводит к накоплению ошибки при интегрировании и, как следствие, появлению выбросов в величинах Δx , Δy , $\Delta \varphi$ и управляющих воздействиях U_1 , U_2 , рисунок 3б, 4б.

2.2 Коррекция оценки аналитического экстраполятора с помощью фильтра Калмана

Для подавления отклонений величин Δx , Δy , $\Delta \varphi$ и выбросов в управляющих воздействиях U_1 , U_2 при использовании описанной выше схемы регулирования (4) воспользуемся рекурсивным фильтром Калмана [11]. Исходную модель объекта управления (1) представим в виде:

$$(6) \quad \begin{cases} q^{k+1} = f(q^k, u^k) + \omega^k, \\ \hat{q}^k = q^k + v^k, \end{cases}$$

где ω^k — нормальный случайный процесс, описывающий погрешности моделирования, с нулевым средним и ковариационной матрицей Q^k ; v^k — белый гауссовский шум измерений с нулевым средним и ковариационной матрицей R^k , $\hat{q}^k$ — выход датчиков измерения состояния q^k объекта.

Модель (6) является нелинейной, поэтому применим расширенный фильтр Калмана (РФК), где модель линеаризуется в некоторой окрестности рабочей точки ($\hat{q}_{ekf}^k$, u^k) с помощью разложения в ряд Тейлора [5]:

$$(7) \quad q^{k+1} \approx f(\hat{q}_{ekf}^k, u^k) + F^k [q^k - \hat{q}_{ekf}^k] + \omega^k,$$

где

$$F^k = \left. \frac{\partial f(q^k, u^k)}{\partial q^k} \right|_{q^k = \hat{q}_{ekf}^k}.$$

Соответствующие выражения экстраполяции и коррекции РФК имеют вид:

$$(8) \quad \hat{q}_{ekf}^{k+1} = f(\hat{q}_{ekf}^k, u^k),$$

$$(9) \quad P^{k+1} = F^k P^k (\hat{F})^T + Q^k,$$

$$(10) \quad K^k = \frac{P^k}{P^k + R^k},$$

$$(11) \quad \hat{q}_{ekf}^{k+1} = \hat{q}_{ekf}^k + K^k [\hat{q}^k - \hat{q}_{ekf}^k].$$

На рисунке 5 показана блок схема системы управления, где выход блока оценки состояния (4) объекта поступает на вход РФК, использующего тот же сигнал управления от регулятора.

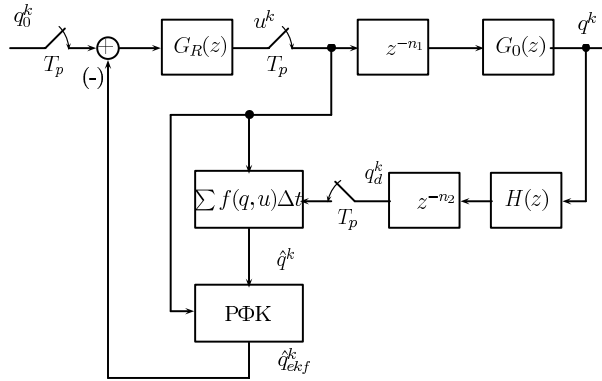


Рисунок 5 – Блок схема системы (4), (11) коррекции запаздывания

На рисунках 6а и 7а приведены результаты эксперимента. Робот совершает три прохода всего маршрута без остановки. Отсутствуют отклонения величин Δx , Δy , $\Delta \varphi$ и выбросы в управляющих воздействиях U_1 , U_2 , а также отклонение робота от заданной траектории движения.

Траектория движения группировки в составе лидер - ведомый при перемещении лидера вдоль траектории заданной уравнениями (5) при $y_0(0) = 0.1 \text{ м}$, $x_0(0) = 0.1 \text{ м}$, $v_0 = 0.007 \text{ м/с}$, $t_1 = 43 \text{ с}$ и параметрах положения ведомого $d_i = 0.12 \text{ м}$, $\alpha_i = \pi/2$ представлена на рисунке 6б. На рисунке 7б показаны величины $\Delta x, \Delta y, \Delta \varphi$ и U_1, U_2 во временной области в системе управления роботом - ведомым. В соответствующую систему управления каждым роботом группы введена искусственная задержка $T = 1.35 \text{ с}$ в получении координаты от видеокамеры. В качестве известного положения объекта – лидера для объекта – ведомого используется оценка состояния $\hat{q}_{ekf}^k$, получаемая в системе управления объектом – лидером.

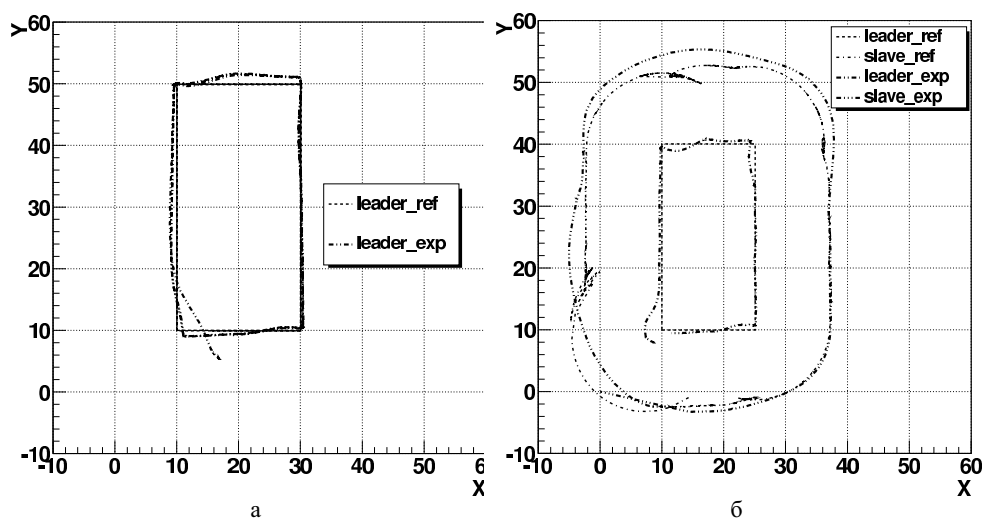


Рисунок 6 – Перемещение робота и группы вдоль траектории (5): а – многократный проход маршрута одним роботом, б – движение группы в составе лидер-ведомый

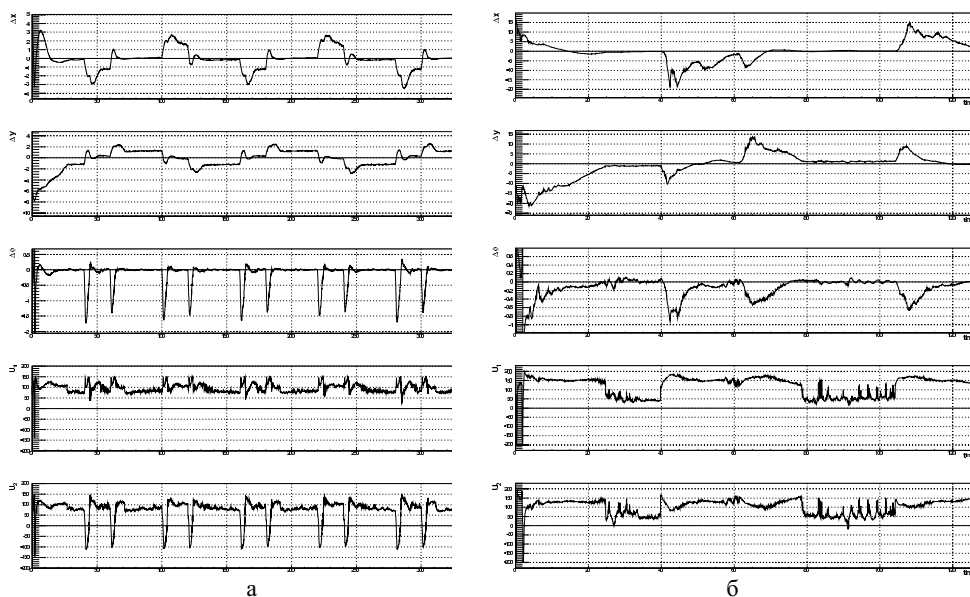


Рисунок 7 – Величины ошибок Δx , Δy , $\Delta \varphi$ и управляющих параметров U_1 , U_2 во временной области: а - многократный проход маршрута одним роботом, б - параметры в системе управления роботом-ведомым

3 Заключение

В работе предложен способ компенсации транспортного запаздывания в системе управления траекторным движением мобильного робота в составе маневрирующей группы, основанный на использовании аналитического экстраполятора и расширенного фильтра Калмана. Результаты экспериментов подтверждают эффективность предложенного подхода.

Список литературы

- [1] Yang Y., Minai A.A., Polyeapou M.M. Decentralized cooperative search by networked uavs in an uncertain environment // Proc. American Control Conf.— Boston, Massachusetts: 2004.— Pp. 5558–5563.
- [2] Kube C. R., Zhang H. The use of perceptual cues in multirobot boxpushing // Proc. IEEE Int. Conf. Robotics and Automation.— Minneapolis, MN: 1996.— Pp. 2085–2090.
- [3] Brady K. Time-delayed control of telerobotic manipulators // Ph.D. dissertation.— Univ. Washington, Seattle: 1997.
- [4] Alt G. H., Lages W. F. Networked robot control with delay compensation // Fifth RealTime Linux Workshop.—Valencia: 2003.
- [5] Oliveira V. M., Lages W. F. Mobile robot control over the internet with delay compensation // 11th IFAC Symposium on Information Control Problems in Manufacturing.— Salvador, Bahia: 2004.
- [6] Emura S., Tachi S. Compensation of time lag between actual and virtual spaces by multisensor integration // Proceedings of 1994 IEEE International Conference on Multisensor Fusion and Integration for Intelligent Systems (IEEE MFI'94).— Las Vegas, Nevada, USA: 1994.— Pp. 463–469.
- [7] Золотухин Ю.Н., Котов К.Ю., Нестеров А.А. Децентрализованное управление подвижными объектами в составе маневрирующей группы // Автометрия, №3, С. 31-39, 2007.
- [8] The e-puck, a robot designed for education in engineering / F. Mondada, M. Bonani, X. Raemy, J. Pugh, C. Cianci, A. Klapacz, S. Magnenat, J.C. Zufferey, D. Floreano, A. Martinoli // Proceedings of the 9th Conference on Autonomous Robot Systems and Competitions.— Vol. 1(1).— 2009.— Pp. 59–65.
- [9] Ю.Н. Золотухин, К.Ю. Котов, А.С. Мальцев, А.А. Нестеров, М.Н. Филиппов, Управление траекторным движением группы мобильных роботов: моделирование и эксперимент // В кн. Материалы X Международной конференции “Актуальные проблемы электронного приборостроения (АПЭП-2010)”, Новосибирск, с. 101-106, Россия: 2010.
- [10] Moore C. F., Smith C. L., Murill P. W. Improved algorithm for direct digital control // Instrum. Control Syst.— Vol. 43(1).— 1970.
- [11] Kalman R. E. A new approach to linear filtering and prediction problems.— 1960.— Vol. 82.— Pp. 35–45.

СОВМЕСТНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОДОМЕТРИИ И СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ КООРДИНАТ МОБИЛЬНОГО РОБОТА

К.Ю. Котов, А.С. Мальцев, М.А. Соболев, М.Н. Филиппов

Институт автоматизации и электрометрии СО РАН
630090, Новосибирск, пр. ак. Коптюга, 1, Россия
kotov@idisys.iae.nsk.su
тел: +7 (383) 333-26-25

Ключевые слова: *мобильный робот e-puck, система навигации, локализация, фильтр Калмана, одометрия*

Abstract

In this paper we introduce an algorithm of coordinate estimation by images of known landmarks produced in the runtime by mobile robot camera. Experimental results with e-puck mobile robot show the effectiveness of the proposed method.

Введение

Задача локализации или определения пространственного положения является одной из основных решаемых задач в навигационной системе автономного мобильного робота. Методы решения задачи локализации включают в себя использование системы одометрии робота [1], оценку координат по активным маякам [2] или специальным меткам [3, 4] и дальнейшее комплексование данных с помощью фильтра Калмана [5]. Как правило, предлагаемые подходы оценки абсолютных координат робота предполагают единовременное получение измерений от нескольких (не менее трех) маяков или меток для вычисления координат с приемлемой точностью. Это обеспечивается специальной конструкцией системы технического зрения, например, с использованием стереоизображений [6], видеокамеры на вращающемся основании [5], видеокамеры с круговым отражателем [7] и др. В качестве навигационных меток на местности могут выступать дверные проёмы и углы в помещении, строительные балки в шахте, перегородки, маяки и т. п. В работе предложен алгоритм оценивания координат робота по моноизображениям отдельных меток, получаемым последовательно во время движения с помощью видеокамеры, жестко закрепленной на роботе. В работе приведены результаты экспериментов с мобильным роботом e-puck [8], подтверждающие эффективность предложенного подхода.

1 Описание объекта управления

В качестве объекта управления используется мобильный робот e-puck, разработанный в университете EPFL, Швейцария и предназначенный для исследовательских и образовательных целей [8]. Этот двухколесный робот представляет собой платформу с независимыми приводами колес, где каждый привод является парой «шаговый двигатель — редуктор» и обеспечивает дискретность 1000 шагов на один полный оборот колеса. Роль третьей опоры играет закругленный край платформы. Робот оснащен микроконтроллером и сигнальным процессором, позволяющими вести обработку информации, получаемой от различных датчиков: видеокамеры, инфракрасных датчиков дальности, датчика ускорения, микрофонов для локализации источника звука и выдавать управляющие команды на исполнительные устройства — приводы колес, светодиоды и динамический громкоговоритель для светозвуковой коммуникации и индикации состояния. Платформа робота имеет диаметр 75 мм и высоту, зависящую от набора дополнительных устройств, рисунок 1а. Коммуникация робота с внешним компьютером может

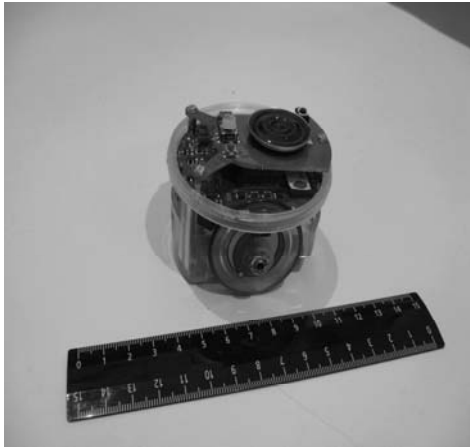
осуществляться посредством беспроводной связи (Bluetooth) или через проводное соединение (RS232). Для проведения экспериментов и отладки алгоритмов создан экспериментальный стенд, состоящий из горизонтального стола – поверхности, по которой движутся роботы, видеосистемы для получения абсолютных координат робота, и компьютера, выполняющего функции обработки и передачи информации и управляющих команд роботу [9].

1.1 Модель объекта

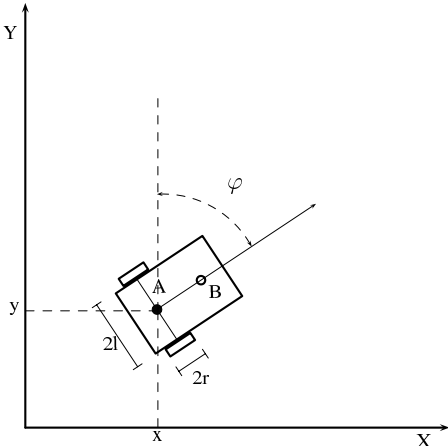
Уравнения кинематического и упрощенного динамического описания робота имеют следующий вид [9]:

$$(1) \quad \begin{cases} \dot{x} = v \cdot \sin \varphi; \\ \dot{y} = v \cdot \cos \varphi; \\ \dot{\varphi} = \omega; \\ v = \frac{1}{2a_0}(U_1 + U_2); \\ \omega = \frac{1}{2a_0 l}(U_1 - U_2), \end{cases}$$

где x, y – координаты объекта на плоскости, v, ω – линейная и угловая скорость объекта ($0 \leq v \leq v_{max}, -\omega_{max} \leq \omega \leq \omega_{max}$), φ – угол, характеризующий направление движения объекта относительно оси ординат, $a_0 = nc/r$, где n – передаточное число редуктора, c – коэффициент электромеханического взаимодействия, r – радиус колес, l – половина расстояния между колёсами. На рисунке 1б приведено схематическое изображение робота с учетом принятых обозначений. Управляющими воздействиями являются сторонние ЭДС U_1, U_2 , приложенные к электродвигателям, $|U_{1,2}| \leq U_{max}$.



а



б

Рисунок 1 – Мобильный робот e-puck

1.2 Система одометрии

На каждом периоде квантования Δt интегрирование шагов двигателя позволяет вычислить угол поворота каждого колеса ($\Delta\alpha_R, \Delta\alpha_L$ – угол поворота правого и левого колеса робота соответственно). Определим перемещение (ΔS) и угол поворота ($\Delta\varphi$) робота относительно точки А, рисунок 1б:

$$(2) \quad \begin{cases} \Delta S = r(\Delta\alpha_R + \Delta\alpha_L)/2 \\ \Delta\varphi = r(\Delta\alpha_R - \Delta\alpha_L)/2l \end{cases}$$

Полученные значения ΔS и $\Delta\varphi$ используются для вычисления координат робота на плоскости:

$$(3) \quad \begin{bmatrix} x^{k+1} \\ y^{k+1} \\ \varphi^{k+1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x^k + \Delta S \cdot \sin(\varphi^k) \\ y^k + \Delta S \cdot \cos(\varphi^k) \\ \varphi^k + \Delta\varphi \end{bmatrix} + W^k,$$

где W^k – вектор, характеризующий внешние возмущения, соответствующие, например, деформациям радиуса колёс, проскальзыванию робота, неровностям поверхности и др. Эти уравнения аппроксимируют траекторию движения робота как кусочно-линейную, где ΔS – длина линейного отрезка траектории. При этом предполагается, что величина $\Delta\varphi/\Delta S$, характеризующая кривизну траектории, в течение периода квантования остаётся неизменной.

Значительный объём информации от датчиков при данной конфигурации программно-аппаратного обеспечения, в частности системы связи, приводит к заметной временной задержке в передаче данных от робота к компьютеру. Это приводит к увеличению периода квантования Δt , вследствие чего снижается точность аппроксимации траектории движения робота с помощью уравнений (3). Для получения требуемой точности аппроксимации целесообразно использовать модель (1), рассогласование которой с (3) не превышает погрешности в определении координат объекта, получаемых с помощью видеокамеры [9].

1.3 Система технического зрения

В качестве системы технического зрения используется жестко закрепленная в передней части мобильной платформы видеокамера [8], позволяющая обнаруживать специальные навигационные метки на местности, относительно которых определяются абсолютные координаты робота и корректируется его траектория движения. В качестве специальных навигационных меток используются вертикальные стержни цилиндрической формы. Для определения абсолютных координат меток используется та же видеосистема, что и для получения абсолютных координат робота.

Обработка изображения с видеокамеры робота включает в себя монохромизацию, пороговую обработку и определение положения робота относительно навигационной метки, заданного углом направления α на метку относительно курсового угла φ и расстоянием d до метки. На рисунке 2а показано положение робота относительно метки.

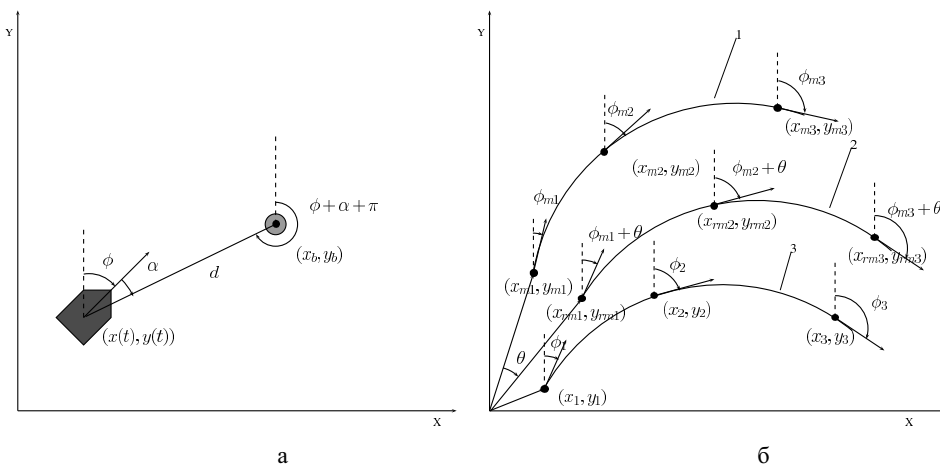


Рисунок 2 – а) Положение робота относительно навигационной метки; б) Траектории движения робота:
1 – траектория модели (1), 2 – траектория модели (1) после поворота на угол θ , 3 – траектория по данным измерений от меток (4)

При известных абсолютных координатах (x_b, y_b) обнаруженной метки и измеренных параметрах α, d мы можем вычислить абсолютные координаты (x, y) положения робота при известном курсовом угле φ :

$$(4) \quad \begin{cases} x = x_b + d_b \cdot \sin(\varphi + \alpha_b + \pi); \\ y = y_b + d_b \cdot \cos(\varphi + \alpha_b + \pi). \end{cases}$$

2 Алгоритм оценивания координат робота и комплексирование данных

2.1 Оценка абсолютных координат по меткам

Будем полагать, что за некоторое время движения по предписанной траектории робот получает N измерений (изображений с видеокamеры) от L меток ($N \geq L$), и траектория движения робота на интервале времени набора измерений является достаточно гладкой для обеспечения малого влияния эффектов, связанных с проскальзыванием колес. Тогда можно считать, что траектория модели (1) имеет некоторое смещение $\Delta x, \Delta y$ и поворот на угол θ относительно истинной (измеренной) траектории движения, рисунок 2б.

После поворота на угол θ относительно начала координат и смещения на $\Delta x, \Delta y$ траектория модели (1) и траектория (4), полученная по данным измерений от меток, должны совпадать с некоторой погрешностью, определяемой эффектами проскальзывания колес и шумами измерений:

$$(5) \quad \begin{cases} \Delta x + x_{mi} \cos \theta + y_{mi} \sin \theta \approx x_{bl} + d_{bli} \sin(\varphi_{mi} + \theta + \alpha_{bli} + \pi), \\ \Delta y - x_{mi} \sin \theta + y_{mi} \cos \theta \approx y_{bl} + d_{bli} \cos(\varphi_{mi} + \theta + \alpha_{bli} + \pi), \end{cases} \quad i = 1, \dots, N, \quad l = 1, \dots, L.$$

Здесь $(x_{mi}, y_{mi}, \varphi_{mi})$ – координаты модели (1), соответствующие моменту времени i -го измерения параметров α_{bli}, d_{bli} для метки с индексом l . Угол поворота θ входит в правую часть (5), так как $\varphi_i = \varphi_{mi} + \theta$ в (4). Соотношения (5) образуют систему нелинейных уравнений, позволяющих вычислить координаты x, y, φ истинного положения робота, для решения которой можно выполнить линеаризацию либо минимизировать следующее выражение:

$$(6) \quad f = \sum_{i=1}^N w_i [Y_{Li} - Y_{Ri}]^2,$$

где Y_{Li}, Y_{Ri} – векторы, соответствующие левой и правой части уравнения (5); w_i – весовой коэффициент, приписываемый измерению i . После нахождения величин $\Delta x, \Delta y, \theta$ вычислим абсолютные координаты робота, соответствующие моменту времени последнего измерения:

$$(7) \quad \begin{cases} x = \Delta x + x_{mN} \cos \theta + y_{mN} \sin \theta; \\ y = \Delta y - x_{mN} \sin \theta + y_{mN} \cos \theta; \\ \varphi = \varphi_{mN} + \theta. \end{cases}$$

2.2 Комплексирование данных с использованием фильтра Калмана

Для комплексирования данных программной модели (1) и оценки (7) положения робота воспользуемся рекурсивным фильтром Калмана. Исходную модель объекта управления (1) представим в виде:

$$(8) \quad \begin{cases} q^{k+1} = f(q^k, u^k) + \omega^k, \\ \hat{q}^k = q^k + v^k, \end{cases}$$

где $q^k = [x^k, y^k, \varphi^k]^T$, $u^k = [U_1^k, U_2^k]^T$ – векторы положения робота и управляющих воздействий в момент времени $t = k \cdot \Delta t$; ω^k – нормальный случайный процесс, описывающий погрешности моделирования, с нулевым средним и ковариационной матрицей Q^k ; v^k – белый гауссовский

шум измерений с нулевым средним и ковариационной матрицей R^k , $\hat{q}^k$ — выход датчиков измерения состояния q^k объекта, т. е. оценка (7).

Модель (8) является нелинейной, поэтому применим расширенный фильтр Калмана (РФК), где модель линеаризуется в некоторой окрестности рабочей точки $(\hat{q}_{ekf}^k, u^k)$ с помощью разложения в ряд Тейлора [10]:

$$(9) \quad q^{k+1} \approx f(\hat{q}_{ekf}^k, u^k) + F^k [q^k - \hat{q}_{ekf}^k] + \omega^k,$$

где

$$F^k = \left. \frac{\partial f(q^k, u^k)}{\partial q^k} \right|_{q^k = \hat{q}_{ekf}^k}.$$

Выражения экстраполяции и коррекции РФК имеют вид:

$$(10) \quad \hat{q}_{ekf}^{k+1} = f(\hat{q}_{ekf}^k, u^k),$$

$$(11) \quad P^{k+1} = F^k P^k (\hat{F})^T + Q^k,$$

$$(12) \quad K^k = \frac{P^k}{P^k + R^k},$$

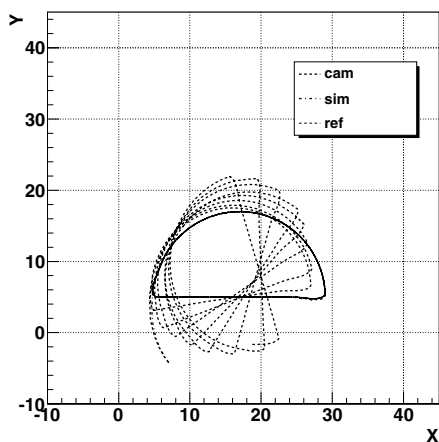
$$(13) \quad \hat{q}_{ekf}^{k+1} = \hat{q}_{ekf}^k + K^k [\hat{q}^k - \hat{q}_{ekf}^k].$$

3 Результаты экспериментов

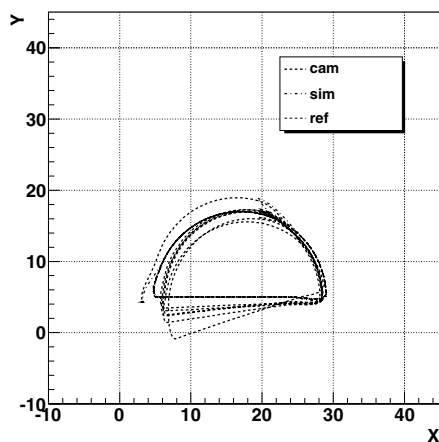
Для проверки эффективности предложенного метода проведён ряд экспериментов по управлению роботом при движении по траектории, заданной уравнением:

$$(14) \quad \begin{cases} x_0(t) = 17 + 12 \sin\left(\frac{\pi}{60}t\right), & y_0(t) = 5 + 12 \cos\left(\frac{\pi}{60}t\right), & \varphi_0(t) = \frac{\pi}{60}t + \frac{\pi}{2}, & \text{при } t < 60; \\ x_0(t) = 29 - 0.7t, & y_0(t) = 5, & \varphi_0(t) = \frac{3\pi}{2}, & \text{при } 60 \leq t \leq 94.3; \end{cases}$$

где x_0, y_0, φ_0 — координаты целевой точки. Алгоритм управления построен на основе метода, изложенного в работе [11]. При движении робота по заданной траектории без коррекции его координат, только с использованием одометрии, возрастает отклонение робота от траектории движения, рисунки 3а, 4а, 5а. Это объясняется наличием внешних возмущений при движении робота — проскальзывания колёс, неровностей поверхности и пр. Результаты эксперимента с введенной коррекцией координат робота по формулам (7), (13) показаны на рисунках 3б, 4б, 5б. Коррекция положения робота во время движения по заданной траектории осуществлялась по двум навигационным меткам с координатами $x_{b1} = 19.78$ см, $y_{b1} = 27.54$ см и $x_{b2} = 32.45$ см, $y_{b2} = 18.49$ см. Для случая движения робота без коррекции навигационная ошибка определяется как геометрическое расстояние между точками траектории робота по данным внешней контролирующей видеосистемы и траектории модели (1), полученными в один и тот же момент времени, рисунок 5а. В случае движения робота с коррекцией, вычисляется ошибка между траекторией робота по данным контролирующей видеосистемы и траекторией по оценке координат РФК, рисунок 5б. На графиках показано согласование оценки координат РФК и координат по данным контролирующей видеосистемы в точках коррекции, а также отсутствие нарастания ошибки навигации.



а



б

Рисунок 3 – Перемещение робота по траектории, вида (14): а - без коррекции, б - с коррекцией



а



б

Рисунок 4 – Величины ошибок $\Delta x, \Delta y, \Delta \varphi$ и управляющих параметров U_1, U_2 во временной области:
а – без коррекции, б – с коррекцией

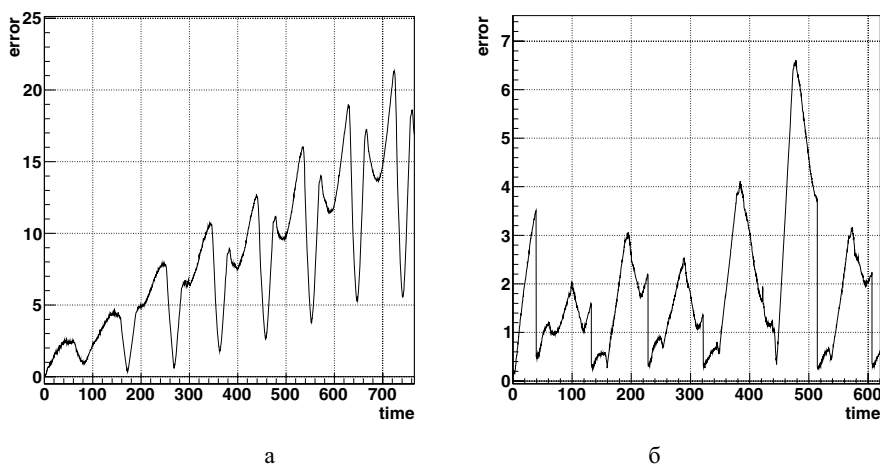


Рисунок 5 – Ошибка навигации в зависимости от времени: а - без коррекции, б – с коррекцией

Заключение

Представлен алгоритм оценивания координат робота по моноизображениям от отдельных навигационных меток, получаемым во время движения с помощью жестко закрепленной на роботе видеокамеры. Алгоритм основан на комплексировании данных одометрии и системы технического зрения робота с применением расширенного фильтра Калмана. Результаты экспериментов подтверждают эффективность предложенного подхода.

Список литературы

- [1] J.L. Crowley, Control of Translation and Rotation in a Robot Vehicle // In Proc. IEEE Conference on Robotics and Automation, May 1989.
- [2] М.В. Платонова, Использование шумоподобных сигналов ИК-диапазона для системы навигации мобильных роботов // Сб. Мобильные роботы и мехатронные системы, М.: Изд-во Моск. Ун-та, с. 148-155, 2009.
- [3] B.C. Bloom, Use of Landmarks for Mobile Robot Navigation // SPIE vol. 579, Intelligent robot and Computer Vision, pp. 351-355, 1985.
- [4] Christof Schroeter, Hans-Joachim Boehme, Horsi-Michael Gross, Extraction of orientation from floor structure for odometry correction in mobile robotics // Proc. 25th DAGM Symposium, Magderburg, Germany, pp. 410-417, 2003.
- [5] Frederic Chenavier, James L. Crowley, Position Estimation for a Mobile Robot Using Vision and Odometry // In Proc. IEEE Int. Conference on Robotics and Automation, Nice, France, pp. 2588-2593, May 1992.
- [6] Stefen Se, David Low Jim Little, Mobile Robot Localization and Mapping with Uncertainty Visual Landmarks // The International Journal of Robotics Research, vol. 21, no. 8, pp. 735-758, August 2002.
- [7] Margrit Betke and Leonid Gurvits, Mobile Robot Localization Using Landmarks // IEEE Transactions on Robotics and Automation, vol. 13, no. 2, pp. 251-263, April 1997.
- [8] Mondada F., Bonani M., Raemy X., Pugh J., Cianci C., Klapotocz A., Magnenat S., Zufferey J.-C., Floreano D., Martinoli A., The e-puck, a Robot Designed for Education in Engineering // Proceedings of the 9th Conference on Autonomous Robot Systems and Competitions, 1(1), pp. 59-65, 2009.
- [9] Ю.Н. Золотухин, К.Ю. Котов, А.С. Мальцев, А.А. Нестеров, М.Н. Филиппов, Управление траекторным движением группы мобильных роботов: моделирование и эксперимент // В кн. Материалы X Международной конференции “Актуальные проблемы электронного приборостроения (АПЭП-2010)”, Новосибирск, с. 101-106, Россия: 2010.
- [10] V.M. Oliveira, W. F. Lages Mobile robot control over the internet with delay compensation // 11th IFAC Symposium on Information Control Problems in Manufacturing, Salvador, Bahia: 2004.
- [11] Золотухин Ю.Н., Котов К.Ю., Нестеров А.А. Децентрализованное управление подвижными объектами в составе маневрирующей группы // Автометрия, №3, С. 31-39, 2007.

MORPHOLOGICAL ASPECT OF DEVELOPMENTAL ROBOTICS

S.S. Moskvichev, R.A. Munasypov

Ufa State Aviation Technical University
450000, Ufa, Karl Marx St, 12, Russia
mosk.sergey@gmail.com, rust40@mail.ru
tel: +7 (927) 341-2734

Keywords: *robot learning, developmental robotics, robot locomotion*

Abstract

В данной статье приведен обзор современных методов построения эволюционных автономных робототехнических систем с акцентом на изменение морфологии автономных роботов в процессе эволюционного развития; предложены ключевые направления для дальнейших исследований в этой области.

Introduction

In 1950 Alan Turing suggested a theoretical concept of machine that can learn like a child, which has been called “child machine” [1]. Due to a severe lack of computer-controlled machinery at the time, Turing suggested a disembodied abstract machine and proposed an “imitation game”, now known as the Turing Test, to test machine intelligence.

The concept of embodied intelligence had not received much recognition in the AI community until the 1980s. The behavior-based approach, popularized by R. Brooks [2], R. Arkin [3] and others, has put situated embodiment back on the AI stage. However, autonomous development of robots had not received attention until the late 1990s when a series of experiments on autonomous cognitive development have been performed using the SAIL robot [4] and the Darwin V robot [5]. The role of autonomous development in both AI and the understanding of natural intelligence have been summarized in [6].

Traditional research paradigms in machine learning have been largely inspired by models of human learning. However, existing behavior-based learning techniques that are typically applied to robot learning differ fundamentally from human mental development [7]. For example, a task-specific representation is designed by the human programmer and only hand-designed parameters are learned by the machine. This greatly limits the power of machine capabilities in dynamic uncontrolled environments, such as vision, audition and language understanding. In contrast, a human child can learn concepts that none of his ancestors knew about (e.g. the concept of the Internet). This and many other differences are still to be investigated.

1 Developmental Robotics

Developmental robotics is an emergent area of research at the intersection of robotics and developmental sciences. It constitutes an interdisciplinary and two-pronged approach to robotics, which on one side employs robots to instantiate and investigate models originating from developmental sciences, and on the other side seeks to design better robotic systems by applying insights gained from studies on ontogenetic development.

The inception of developmental robotics can be traced back to works on subsumption control architecture, behavior-based robotics, physical embodiment, situatedness and sensorimotor coupling with the environment [8,9]. The approach presented in [7] is directed towards the definition of a theory for the construction of complex systems based on development and evolution. The main objective is to show that the

adoption of a framework of biological development can be successfully employed for constructing artificial systems. It has been pointed out that this methodology can be envisioned as a tool for developmental cognitive science [10]. The authors investigated some of the aspects of vision-motor coordination in a humanoid robot. Issues such as the autonomous acquisition of skills, the progressive increase of the task complexity (by increasing the visual resolution of the system) and the integration of various sensory modalities were also explored [11,12]. They've also outlined various aspects relevant to the construction of complex autonomous systems; the ability of recognizing progressively longer chains of cause-effect relationships could be a possible way of characterizing learning in a biomimetic way, because in a natural setting no teacher can provide a detailed learning signal and enough training data [13].

R. Brooks argued that development could lead to new insights into the issues of cognitive and behavioral scaling [14] and made the following assumptions:

- human intelligence is not as general purpose as usually thought;
- it does not require a monolithic control system;
- intelligent behavior does not require a centrally stored model of the real world.

A series of experiments have been performed, in which the humanoid robot had to learn some fundamental sensorimotor and social behaviors [13]. The concept of bootstrapping of skills from previously acquired skills, i.e. layering of new skills on top of existing ones, has been capitalized. The gradual increase of complexity of task environment, sensory input, and motor control was also explored in such tasks as learning to reach toward a visually identified target [15].

Another example of the novel and developmentally inspired approach to robotics was given in [16]. The authors proposed a theory for design and construction of humanoid systems called "cognitive developmental robotics". One of the key aspects of it is to avoid implementing the robot's control structure "according to the designers' understanding of the robot physics", but to have the robot acquire its own "understanding through interaction with the environment". Cognitive developmental robotics also points at how to "prepare" the robot's environment to progressively teach the robot new and more complex tasks without overwhelming its artificial cognitive structure ("scaffolding").

A last example of existing theories in developmental robotics is autonomous mental development (AMD) [6]. According to this paradigm, robots should be designed to go through a long period of autonomous mental development, from "infancy to adulthood". AMD relegates the human to the role of teaching and supporting the robot through reinforcement signals. The requirements for a truly mental development include being non-task-specific, because the task is generally unknown at the design time. For the same reason, the artificial "brain" has to develop a representation of the task, which could not be possibly embedded in advance into the robot by the designer.

2 Morphological Evolution

Morphological changes (e.g. body growth, changes in sensor resolution, number of DOFs, etc.) represent one of the most salient characteristics of an ongoing developmental process. The role played by such changes for the acquisition of motor skills has been investigated in [17] by using a small humanoid robot which had to learn to swing like a pendulum. It has been shown that initial reduction of the number of available biomechanical degrees of freedom (i.e. some of the motors are initially switched off) helps to stabilize the interplay between environmental and neural dynamics (the way patterns of activity in the neural system change with time). The use of all available DOFs from the start reduced the likelihood of the occurrence of physical entrainment, i.e. mutual regulation of body and environmental dynamics. In turn, lack of entrainment led to a reduced robustness of the system against environmental perturbations. Conversely, by initially freezing some of the available DOF, physical entrainment and thus robust oscillatory behavior could occur.

The recent research into the impact of morphological change on robot evolution has been thoroughly described in [18]. The presented system allows a robot's body plan to change while it behaves: robots progress from anguilliform body plans [19] into upright, legged body plans in a simulated environment. Moreover, this morphological change itself changes over phylogenetic time such that later robots exhibit

only the legged form. This is accomplished by starting with an initial population of random neural-network controllers. Each robot is evaluated for a fixed time period using one of the controllers, and its ability to perform light-following behavior (“phototaxis”) is measured. The next generation is generated by probabilistically discarding controllers that produced poor behavior, creating randomly perturbed copies of the remaining controllers, and evaluating the new controllers. Generations elapse in this way until a controller evolves that successfully moves the robot to a light source placed in its environment during a fixed time period. The experiment ends when an upright robot capable of phototaxis is discovered.

This process was found to produce successfully phototacting robots with the upright stance more rapidly, and the resulting behaviors were more robust, compared to the baseline algorithm variant in which morphological change is disabled.

It was also found that the discovered controllers were more robust to novel environmental perturbations than controllers without morphological change. This was accomplished by taking the final controllers (that achieved successful phototaxis) and reevaluating them with slight random perturbations to the robot while it behaved. It was observed that the spine tends to be actuated more and the limbs less in the morphologically changing robots, which results from the fact that only the spine exists to generate locomotion in the infant legless form, and this behavior is retained in the descendent legged robots.

3 Current Progress

As demonstrated in [18], morphological development is an important part of evolutionary process. Since the presented results clearly demonstrate the usefulness of morphological changes as a part of robot development, there are still many aspects to investigate further into. In our work-in-progress we have concentrated on the following problems of morphological robot evolution:

- neural-network controller in use. As shown in [20,21], neural-network based approach can facilitate robot learning, and the presented models should be investigated in the first place;
- complexity of the robots in use. In [18] the simulated robots were 10-DOF quadruped and 16-DOF hexapod, evolving from legless into legged form. Since real robotic systems (especially biomimetic) may contain several times more DOFs, as well as various sensory information sources, evolutionary progress of more complex systems should be investigated too;
- using physical robots. Simulation and real world are fundamentally different in the sense of environment structuredness and uncertainty, especially in relation to autonomous robot control [22]. Since evolution requires many thousands of cycles to approach to optimal control, running the process on physical robots would require years to converge. On the other side, biological organisms have made their way through millions of years before becoming smart enough to demonstrate intelligent behavior; the same goes for ontogenetic evolution over the course of life of a single organism. This problem should be resolved in some way;
- natural selection of evolving morphological changes. In [18] the “evolutionary” process of body plan change was forced and inevitable; on the other side, animal evolution from crawling to walking has occurred under the pressure of natural environmental factors. The same process should be applied to morphologically-evolving robots, allowing them to develop new forms of gait on their own, as a way to achieve their goals more efficiently.

Conclusion

A list of future research directions that are worth pursuing needs to include autonomous learning without a direct intervention from a human designer (of course, this does not exclude interaction with a human teacher). A key aspect of autonomous learning is the study of value systems, gait learning, and drive exploration of body dynamics and environment. Truly autonomous robots of the future should acquire solutions to contingent problems through autonomous exploration and interaction with the real world: generating movements in various situations, while experiencing the consequences of those movements.

In conclusion, the generation of robots populating the years to come will be characterized by many human-like features, not thought to be part of intelligence in the past but considered to be crucial aspects of human intelligence nowadays [23]. The success of the developmental robotics and the research methodology it advocates will ultimately depend on whether truly autonomous robots will be constructed. It will also depend on whether by instantiating models of cognition in developmental robots, predictions will be made that will find empirical validation.

Acknowledgments

This work was supported by Russian Foundation for Basic Research Grants № 11-08-00871-a; № 11-08-97063-p_поволжье_a.

References

- [1] Turing A.M. Computing machinery and intelligence // *Mind*, 59, 1950. – Pp. 433–460.
- [2] Brooks R.A. A robust layered control system for a mobile robot // *IEEE Journal of Robotics and Automation*, 2(1), 1986. – Pp. 14–23.
- [3] Arkin R.C. *Behavior-Based Robotics*. – The MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 1998.
- [4] Weng J., Hwang W. S., Zhang Y. et al. Developmental robots: Theory, method and experimental results // *Proc. 2nd Int. Conf. Humanoid Robots (Tokyo, Japan, October 8–9)*. – IEEE Press, 1999. – Pp. 57–64.
- [5] Almasy N., Edelman G.M., Sporns O. Behavioral constraints in the development of neural properties: A cortical model embedded in a real-world device // *Cerebral Cortex*, 8(4), 1998. – Pp. 346–361.
- [6] Weng J., McClelland J., Pentland A. et al. Autonomous mental development by robots and animals // *Science*, 291(5504), 2001. – Pp. 599–600.
- [7] Weng J. Developmental robotics: Theory and experiments // *International Journal of Humanoid Robotics*, Vol. 1, No. 2, 2004. – Pp. 199–236.
- [8] Brooks R. Intelligence without representation // *Artificial Intelligence*, 47, 1991. – Pp. 139–160.
- [9] Brooks R., Stein, L. Building brains for bodies // *Autonomous Robots*, 1, 1994. – Pp. 7–25.
- [10] Metta G. *Babybot: A Study Into Sensorimotor Development*. PhD thesis, LIRA-Lab (DIST), 2000.
- [11] Panerai F., Metta G., Sandini, G. Learning visual stabilization reflexes in robots with moving eyes // *Neurocomputing*, 48, 2002. – Pp. 323–337.
- [12] Natale L., Metta G., Sandini G. Development of auditory-evoked reflexes: visuo-acoustic cues integration in a binocular head // *Robotics and Autonomous Systems*, 39, 2002. – Pp. 87–106.
- [13] Metta G., Sandini G., Natale L., et al. Development and robotics // *Proceedings of the IEEE-RAS International Conference on Humanoid Robots (Tokyo, Japan)*, 2001. – Pp. 33–42.
- [14] Brooks R., Breazeal C., Irie R. et al. Alternative essences of intelligence // *Proceedings of the 15th National Conference on Artificial Intelligence (AAAI-98) (Madison, WI, United States)*, 1998. – Pp. 961–976.
- [15] Marjanovic M., Scassellati B., Williamson M. Self-taught visually-guided pointing for a humanoid robot // *Proceedings of the 4th International Conference on Simulation of Adaptive Behavior (SAB'96) (Cape Cod, MA, United States)*, 1996. – Pp. 35–44.
- [16] Asada M., MacDorman K., Ishiguro H. et al. Cognitive developmental robotics as a new paradigm for the design of humanoid robots // *Robotics and Autonomous Systems*, 37, 2001. – Pp. 185–193.
- [17] Lungarella M., Berthouze L. Adaptivity through physical immaturity // *Proceedings of the 2nd International Workshop on Epigenetics Robotics (Edinburgh, Scotland)*, 2002. – Pp. 79–86.
- [18] Bongard J. Morphological change in machines accelerates the evolution of robust behavior // *Proceedings of the National Academy of Science*, Vol. 108, No. 4, 2011. – Pp. 1234–1239.
- [19] Ijspeert A.J., Crespi A., Ryczko D. et al. From swimming to walking with a salamander robot driven by a spinal cord model // *Science* 315, 2007. – Pp. 1416–1419.
- [20] Yamashita Y., Tani J. Emergence of functional hierarchy in a multiple timescale neural network model: A humanoid robot experiment // *PLoS Computational Biology*, 4, 2008.
- [21] Lewis F. Neural network control of robot manipulators // *IEEE Expert* 11, 2002. – Pp. 64–75.
- [22] Floreano D., Mondada F. Automatic Creation of an Autonomous Agent: Genetic Evolution of a Neural-Network Driven Robot // *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, Vol. 26, No. 3, 1996. – Pp. 396–407.
- [23] Lungarella M., Metta G., Pfeifer R. et al. Developmental robotics: a survey // *Connection Science*, Vol. 15, No. 4, 2003. – Pp. 151–190.

СТРАТЕГИИ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ КОМПЬЮТЕРНОМ УПРАВЛЕНИИ КРИТИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ

Г.П. Аншаков¹, Я.А. Мостовой²

¹Государственный научно производственный ракетно-космический центр ЦСКБ – ПРОГРЕСС
443009, Самара, ул. Земеца, 18, Россия
csbd@mail.samtel.ru
тел: +7 (846) 992-61-98

²Самарский государственный аэрокосмический университет им. С.П. Королева
(национальный исследовательский университет)
443086, Самара, Московское шоссе, 34, Россия
тел: +7 (846) 337-80-84

Ключевы слова: сложные технические системы, информационная безопасность, компьютерное управление, критические системы, программное обеспечение

Abstract

We consider safety- critical complex systems, consisting of large number mechanical and electronic subsystems to be controlled and coordinated. Safe control in such complex technical system (CTS) is based on the capabilities of the built-in computing machinery to monitor states of the subsystems and CTS as a whole and to make control actions in contingency situation. The problems of safe control in CTS are considered, repulsing from experience of the creation on-board complex control for space vehicles.

Введение

Безопасность информационных взаимодействий определяется защищенностью информации и поддерживающей инфраструктуры от случайных или преднамеренных воздействий, могущих принести ущерб субъектам информационных взаимодействий.

Без преувеличений можно сказать, что наибольший ущерб субъектам и объектам информационных отношений в СТС наносят сбои и отказы аппаратуры СТС и ошибки в ПО системной и встроенных в аппаратуру ЦВМ [4,5]. Практика показывает, что не редки также ошибки эксплуатирующего персонала при задании данных для работы ПО СТС, приводящие к тяжелым последствиям для СТС.

В связи с этим вопросы защиты от злоумышленных действий и внешних атак на СТС в том числе и с использованием злонамеренного ПО, имеющие свою обширную литературу, в данной статье не рассматриваются поскольку авторы являются сторонниками изоляции критических СТС, что является существенным фактором их информационной безопасности.

Для критических по безопасности сложных технических систем (СТС) прекращение нормального функционирования ведет к большим экономическим потерям, ущербу окружающей среде или гибели людей. Использование в СТС системной ЦВМ и аппаратуры также имеющей в своем составе встроенные ЦВМ, образующих локальную сеть, ПО которых во многом определяет концептуальное содержание управления и функциональные возможности СТС, позволяет реализовать при создании критических СТС эффективную стратегию безопасности.

Рассматривая стратегию информационной безопасности критических систем, прежде всего, необходимо рассмотреть принципы создания безопасного ПО.

При этом системное свойство «безопасность» должно «работать» и в том случае, когда свойство «безотказность» уже нарушено по ряду причин.

1 Принципы создания безопасного ПО критических СТС

Концепции, лежащие в основе обеспечения безопасности ПО, имеют несколько базовых идей.

1) Прежде всего необходимо обеспечить безотказность (безошибочность) ПО. Это достигается:

- Уменьшением первичного потока ошибок за счет применения эффективных технологий проектирования ПО
- Конструированием толерантного(устойчивого) к ошибкам ПО. В настоящее время создание в полной мере толерантного ПО для практических применений представляется не реалистичным. Однако, создание ПО толерантного не в полной мере, но обеспечивающего «мягкий останов» ПО и СТС при проявлении ошибки в ПО или исходных данных является задачей вполне выполнимой (см. ниже).
- Проведением отладки ПО с четко сформулированными целями и критериями отлаженности, с использованием эффективных инструментальных средств, например, имитационной математической модели внешней среды, позволяющей воспроизводить детали межпрограммных взаимодействий ПО во всех вариантах «использования» СТС.

2) Принцип изоляции при создании ПО и СТС должен быть использован везде, где это возможно и не только относительно внешних связей СТС с окружающей средой, но и распространяться и на ее внутреннюю среду путем изоляции отдельных процессов управления СТС в рамках имеющихся функциональных возможностей.

Использование принципа изоляции позволяет сохранить «непотопляемость системы» при нарушении целостности ее «информационных отсеков», препятствуя распространению ошибочной информации и обеспечивая решение задач информационной устойчивости [2,3]. При этом, решая задачу изоляции, одновременно необходимо обеспечить возможность реализации необходимых связей между структурными частями СТС, связей между СТС и системами более высокого уровня иерархии.

Поскольку связи подсистем в рассматриваемых СТС осуществляются на программном уровне системной ЦВМ изоляция и взаимодействие процессов необходимо обеспечивать соответствующим распределением памяти, защитой этого распределения средствами системной ЦВМ и ее операционной системы, реализации межпроцессного обмена информацией только через операционную систему.

3) Не возможно создать большое абсолютно защищенное ПО. Но возможно создать небольшое усиленно защищенное ядро безопасности, принимающее все решения, касающиеся защиты ПО. Таким ядром для ПО является программа управления в нештатных ситуациях – программа «аварийной защиты». Всё остальное ПО будет действовать на менее защищенных уровнях.

4) Фиксированный набор задач, решаемых встроенными в системы ЦВМ, позволяет применить для хранения ПО и используемых констант постоянное запоминающее устройство (ПЗУ). Это повышает защищенность ПО, так как изменение информации в ПЗУ связано с использованием специальных технических средств, привлечение которых требует санкции.

5) Для многих СТС условия их работы не позволяют оперативно проводить коррекцию ПО встроенных ЦВМ из-за отсутствия прямого физического доступа, невозможности приостановки работы ПО без прекращения функционирования СТС, а также из - за использования для хранения ПО ПЗУ. Однако доступность оперативной коррекции ПО может стать для таких систем важным преимуществом, влияющим на безопасность, например, в случаях устранения ошибок ПО или компенсации ошибок аппаратуры СТС путем изменения алгоритма обработки информации с нее. Применение технологий, позволяющих дистанционно и оперативно вносить коррекцию в ПО является еще одним принципом обеспечения безопасности ПО СТС.

Эта операция должна проводиться либо без прекращения процесса функционирования СТС, либо с переводом СТС в запасное устойчивое состояние, в котором ее функционирование ограничено и безопасно[5].

2 Системные методы ,реализующие стратегию безопасности при управлении критическими СТС

В рамках рассматриваемой стратегии можно выделить ряд общесистемных методов по обеспечению информационной безопасности, которые лучше изложить на базе примера, в качестве которого рассмотрим БКУ КА.

1) Создание методов встроенного контроля работоспособности подсистем СТС и бортового ПО, который осуществляется на многих уровнях:

- аппаратными средствами системной ЦВМ обобщенно с выходом на внутренние прерывания в случае обнаружения аппаратурой ЦВМ нештатных ситуаций типа переполнения регистра результатов, нарушения распределения памяти, «зависания» и т.п.;
- средствами операционной системы системной ЦВМ обобщенно с выходом на программное прерывание в случае обнаружения нештатных ситуаций, типа превышения допустимого времени занятости процессора одной задачей определенного приоритета, занесения отрицательной уставки времени и т.п.;
- средствами бортового ПО, осуществляющими функциональный контроль типа выполнения заданной функции за заданное время и т.п. Эти встроенные в ПО средства распределены по функциональным алгоритмам бортового ПО.

2) Разработка при проектировании СТС перечня аварийных (нештатных ситуаций), выход из которых так же прорабатывается на стадии проектирования СТС. Рассмотрение этого перечня, методов распознавания этих ситуаций и методов выхода из них приводит:

- К созданию ситуационных планов управления в нештатных ситуациях, которые в конечном итоге оформляются в виде инструкций по управлению в эксплуатационной документации.
- К созданию программ бортового ПО, обеспечивающих автономное управление в нештатных ситуациях и реализующих в том числе функцию «аварийной защиты» СТС.

Техника реализации « аварийной защиты» связана с наличием в бортовом ПО «таблицы» предусмотренных нештатных ситуаций, входы в которую и предусмотренные управляющие выходы по одному из сценариев, связанных с разной степенью вынужденного, но допустимого ухудшения качества функционирования СТС, содержатся в бортовом ПО.

Создание стратегии управления в «непредусмотренных нештатных ситуациях», отсутствующих в упомянутой таблице.

3) Создание методов, обеспечивающих возможность оперативной и дистанционной коррекции по радиолинии «зашитого» в ПЗУ БЦВМ бортового программного обеспечения в процессе штатной эксплуатации КА на орбите.

По мере развития электронных технологий последовательно разрабатывались различные варианты такой коррекции, причем все они сохранили свое значение и могут быть использованы совместно.

Технология коррекции программ ПЗУ в полете базировалась на предусмотренной при проектировании бортового ПО возможности обхода исполнения тех или иных участков программ в ПЗУ с заменой их на фрагменты исполняемых из ОЗУ программ, передаваемых на борт по радиолинии. После появления в БЦВМ флеш памяти были созданы технологии коррекции содержимого флеш памяти в том числе без прекращения штатного функционирования БЦВМ.

4) Создание системных средств контроля за функционированием СТС, который проводится путем записи, и передачи на Землю в виде телеметрической информации (ТМИ)

всех событий на борту КА, а также дискретной записи состояний его внутренней среды. Период дискретизации позволяет восстановить все физические процессы, протекающие на борту КА. Для сбора ТМИ, на борту КА, имеется своя телеметрическая сеть сбора.

5) Создание резервов аппаратуры СТС, обеспечивающих выполнение целевой функции СТС с заданной вероятностью. Если для аппаратуры СТС методы обеспечения надежности, связанные с внесением избыточности в аппаратные средства, являются достаточными в большинстве случаев для обеспечения целостности и доступности информации, то для системной ЦВМ, реализующей управление «аварийной защитой» при возникновении в СТС нештатных ситуаций, требуется достижение отказосбоекостойчивости. Свойство отказосбоекостойчивости просто подключением резервной аппаратуры вместо отказавшей не обеспечивается даже при использовании автоматического перехода на резерв по результатам работы встроенного контроля – необходимо обеспечить также и информационную устойчивость.

Здесь под информационной устойчивостью понимается свойство информации восстанавливать целостность после прохождения ее искажений (возмущений) вследствие сбоя, отказа или информационной атаки. Именно наличие организованной при проектировании СТС информационной устойчивости позволяет продолжить штатное функционирование СТС после подключения резервных устройств взамен отказавших. Методы обеспечения информационной устойчивости рассмотрены в [2,3].

6) Использование в контуре управления СТС стенда, в котором работает реальное системное ПО, совместно с реальной системной ЦВМ или сетью реальных системных ЦВМ. В составе этого стенда реальное ПО работает совместно с имитационной математической моделью внешней среды, структура и характеристики которой позволяют реализовать все варианты «использования системы» в штатных и нештатных ситуациях.

Наличие такого стенда позволяет предварительно моделировать и отрабатывать все управленческие решения в нештатных ситуациях, перед тем как использовать их в реальной СТС.

Требование к имитационной математической модели внешней среды, в этом случае, такие же, как при отладке бортового ПО - полностью «подыгрывать» прохождению потоков данных и управления в бортовом ПО для всех вариантов его использования. При этом, если при отладке ПО используются специальные отладочные наборы входных данных, то для проверки управленческих решений используются реальные данные СТС для конкретной рассматриваемой ситуации.

В случае использования данного стенда в контуре управления СТС для контроля правильности подготовленных исходных данных перед их вводом в СТС могут быть обнаружены ошибки в подготовке этих данных. При этом быстроедействие инструментальной машины должно быть максимально возможным с целью не превышения технологического времени подготовки исходных данных.

Использование такого контроля представляется важным и полезным, так как объем и структура исходных данных для работы СТС могут быть весьма значительными и, как показывает опыт, их подготовка сопровождается частыми ошибками особенно в нестандартных ситуациях..

Использование принципа изоляции процессов управления в СТС нами рассмотрено выше, как весьма эффективное средство обеспечения информационной безопасности. Так при создании космического аппарата «Ресурс-ДК» [1,6] итальянская научная аппаратура «Памела», установленная на данном аппарате, имела выход на бортовую локальную сеть по ГОСТ 26765.52-87 (1553В), по которой она управлялась со стороны БКУ КА и по которой она передавала полученную ею научную информацию в радиолинию БКУ для передачи на Землю.

Наличие «чужой» активной аппаратуры иностранного производства в одной локальной сети шинной топологии с целевой аппаратурой, аппаратурой системы угловой ориентации и стабилизации и т.п. КА создавало проблему безопасности, так как работу в сети в принципе возможно было нарушить при отказах аппаратуры «Памела», качество разработки и изготовления которой нами не контролировалось. Задача безопасности была решена путем изоляции аппаратуры «Памела» на специально выделенной для нее локальной бортовой сети. При этом в системной БЦВМ БКУ пришлось установить второй сетевой адаптер специально выделенный под аппаратуру «Памела», благо, что техническая возможность этого имелась.

Заключение

Рассмотренные вопросы политики информационной безопасности для КА имеют общенаучное и общетехническое значение и могут быть применены для любой сложной технической системы, использующей в своем составе ЦВМ или сеть ЦВМ.

Список литературы

- [1] Аншаков Г.П., Макаров В.П., Мантуров А.И., Мостовой Я.А. Методы и средства управления в высоко информативном наблюдении из космоса // Сборник материалов XIV С-Пб международной конференции по интегрированным навигационным системам. Научный совет РАН по проблемам управления движением и навигации, ЦНИИ Электроприбор .С-Пб. 2007, С. 165-173.
- [2] Аншаков Г.П., Мостовой Я.А., Соллогуб А.В. Устойчивость информационных взаимодействий в сложных технических системах. // Труды VI международной конференции по проблемам управления и моделирования в сложных системах. Сам. НЦ РАН, ИПУСС РАН. Самара. 2004, С. 425-430.
- [3] Ахметов Р.Н., Мостовой Я.А., Соллогуб А.В. Информационная устойчивость управления сложными техническими системами. // Труды I X международной конференции по проблемам управления и моделирования в сложных системах. Сам. НЦ РАН, ИПУСС РАН. Самара. 2007, С. 264-272.
- [4] Галатенко В.А.. Основы информационной безопасности. – М.: Интернет – Университет Информационных Технологий. Бином. Лаборатория знаний, 2008, – 205 с.
- [5] Козлов Д.И., Аншаков Г.П., Мостовой Я.А., Соллогуб А.В. Управление космическими аппаратами зондирования земли: Компьютерные технологии. – М.: Машиностроение. 1998. – 386с.
- [6] Аншаков Г.П., Мостовой Я.А. Безопасное управление сложными техническими системами. / Управление большими системами. Выпуск 32, М : ИПУ РАН, 2011, С. 194-204.

СТРУКТУРНО-ГРАДИЕНТНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ КАТАСТРОФООУСТОЙЧИВЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

А.Н. Павлов¹, Б.В. Соколов¹, А.Я. Фридман², О.В. Фридман²

¹Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации Российской академии наук
199178, Санкт-Петербург, 14 линия, 39, Россия
sokol@iias.spb.su

тел: +7 (812) 328-01-03, факс: +7 (812) 328-44-50

²Институт информатики и математического моделирования Кольского научного центра РАН
184209, Апатиты Мурманской обл., Ферсмана, 24А, Россия
fridman@iimm.kolasc.net.ru

тел: +7 (81555) 797-82, факс: +7 (81555) 740-50

Ключевые слова: управление структурной динамикой, катастрофоустойчивая информационная система, ситуационное моделирование, градиентная оптимизация

Abstract

The paper describes main methods forming an original information technology for designing and maintaining disaster-proof information systems (DIS). The technology provides acceptable parameters during the whole life cycle of DISs functioning both in a comparatively stable environment and under emergencies of different origin.

Введение

В докладе дан обзор методов разработанной авторами информационной технологии построения и эксплуатации катастрофоустойчивых информационных систем (КИС), позволяющей поддерживать приемлемые характеристики функционирования подобных систем на всех этапах их жизненного цикла, как в условиях нормальной работы, так и при появлении нештатных (чрезвычайных) ситуаций различной природы [1-3].

В настоящее время спектр угроз экономической, физической и информационной безопасности, а также перечень уязвимостей технической инфраструктуры бизнеса (производственных процессов), и в частности, информационных систем (ИС), постоянно растет. В этих условиях обеспечение непрерывности бизнес-процессов и повышение катастрофоустойчивости соответствующих бизнес-систем является одним из важнейших стратегических направлений развития любой компании. Это обусловлено необходимостью сохранять устойчивость и стабильность функционирования компании и ее ИС при различных вариантах неблагоприятного воздействия внешних и внутренних факторов техногенного и/или природного характера. В этих условиях исследовать и решать задачи обеспечения катастрофоустойчивости ИС необходимо уже в рамках междисциплинарного подхода, интерпретируя данные задачи структурно-функционального синтеза ИС как задачи управления структурной динамикой (УСД) [1] указанных систем. Задачи УСД ИС по своему содержанию относятся к классу задач структурно-функционального синтеза облика ИС и формирования соответствующих программ управления их развитием (модернизацией). К настоящему времени рассматриваемый класс задач исследован недостаточно глубоко. Получены новые научные и практические результаты в рамках следующих направлений исследований: синтез технической структуры ИС при известных законах функционирования основных элементов и подсистем ИС (1 направление); синтез функциональной структуры ИС или, по-другому, синтез программ управления основными элементами и подсистемами ИС при известной технической структуре ИС (2 направление); синтез программ создания и развития новых поколений ИС без учёта этапа совместного функционирования

ния существующей ИС и внедряемой ИС. Известен ряд итерационных процедур получения совместного решения задач, исследования которых проводятся в рамках 1 и 2 направлений. В целом все существующие модели и методы структурно-функционального синтеза облика ИС и формирования программ их развития (модернизации) используются на этапах внешнего и внутреннего проектирования облика ИС, т.е. тогда, когда фактор времени не является существенным. Однако на практике, при возникновении нештатных, критических и аварийных ситуаций в ИС, характеризующихся неточной и противоречивой информацией, время становится одним из важнейших параметров, с помощью которого оценивается эффективность мероприятий, связанных с поддержанием и восстановлением бизнес-процессов.

Существующие зарубежные и отечественные инструментальные средства обеспечения планирования непрерывности бизнеса (Business Continuity Planning) позволяют: использовать универсальные архитектуры баз данных для упрощения процедур анализа риска и развития планов по восстановлению и непрерывности бизнеса; упростить процессы поддержки текущих планов непрерывности бизнеса; синхронизировать и поддерживать актуальную информацию, используя интерфейсы других приложений; корректировать управление компанией с учетом планов непрерывности бизнеса. Вместе с тем, они не обеспечивают проведения комплексной автоматизации процессов управления структурной динамикой ИС в целях повышения их безопасности, слабо адаптируются к ситуациям, при которых возможно появление нерасчетных нештатных ситуаций. Таким образом, в настоящее время весьма актуальной становится разработка методологических и методических основ комплексной автоматизации процессов адаптивного планирования и управления модернизацией и функционированием катастрофически устойчивых ИС на основе разработки концепций, принципов, моделей, методов и алгоритмов анализа и управления структурной динамикой ИС в реальных условиях неполноты, неопределенности, неточности и противоречивости информации о складывающейся обстановке и при наличии неустраняемого порогового ограничения времени на цикл формирования и реализации решений по предотвращению возможных критических, чрезвычайных и аварийных ситуаций.

1 Теоретическое обоснование подхода

Главное отличие и новизна предлагаемого подхода к решению задач создания и применения КИС состоит в том, что предложенная управленческая интерпретация задач структурно-функционального синтеза данного класса позволяет с единых позиций подойти к решению всего спектра проблем УСД, используя при этом фундаментальные научные результаты, полученные к настоящему времени в системно-кибернетической отрасли научных знаний, включающей в себя, в первую очередь, такие дисциплины как системология, кибернетика, информатика. Достоинство разрабатываемого комплекса динамических макро- и микромоделей по сравнению с ранее созданными моделями предметных областей состоит также в том, что с их помощью можно решать не только задачи анализа жизненных циклов КИС, но и одновременно решать задачи адаптивного многокритериального выбора как облика соответствующих информационных технологий и систем, так и программ их модернизации и функционирования в различных условиях обстановки [1-3]. При этом предлагаемая авторами динамическая интерпретация происходящих процессов позволит непосредственно (в аналитическом виде) связать потоковые динамические модели (модели системной динамики) с динамическими моделями распределения не складываемых (складируемых) ресурсов на сетях с перестраиваемой структурой. Такой подход к организации и проведению комплексного моделирования позволил провести формализацию и исследование нового класса прикладных задач, а именно, задач управления структурной динамикой социотехнических объектов, возникающих в различных предметных областях (экономике, бизнесе, информатике и т.д.). Применение предлагаемых динамических моделей, как показывает предварительный анализ, позволит:

- широко использовать в ходе моделирования ИС фундаментальные научные результаты, полученные к настоящему времени в современной теории управления сложными динамическими системами с перестраиваемой структурой;
- существенно сократить размерность задач управления структурной динамикой (УСД) ИС, решаемых в каждый момент времени (за счёт рекуррентного описания моделей);
- достаточно конструктивно проводить согласование и взаимную интерпретацию результатов, полученных на аналитических и имитационных моделях УСД ИС как на концептуальном, так и на алгоритмическом, информационном, программном уровнях описания;
- обоснованно подходить к выбору временных интервалов работы элементов и подсистем, входящих в состав ИВС;
- существенно сократить затраты оперативной памяти ЭВМ, повысить оперативность решения задач УСД ИС при использовании перспективных гибридных вычислительных систем, позволяющих проводить декомпозицию и распараллеливание вычислительного процесса;
- проводить поиск программ управления модернизацией и функционированием ИС в оверлейных режимах.

Кроме того, полученные с помощью разработанных комбинированных методов и алгоритмов оптимальные программы управления структурной динамикой ИИС используются в качестве эталонных решений, относительно которых на практике уже выбираются эвристические решения. Достоинство данного подхода к формированию управляющих воздействий состоит в том, что при использовании эвристических подходов удается оценить их погрешность. К настоящему времени разработаны и реализованы в ряде критических прикладных областей инструментальные средства и соответствующие интеллектуальные информационные технологии мониторинга и управления структурной динамикой ИИС [1, 3].

2 Основы программно-алгоритмической организации среды моделирования

Программным ядром разрабатываемой информационной системы служит ситуационная концептуальная модель (СКМ) сложной системы (СС), включающая в себя три множества элементов - объекты, процессы и ресурсы (данные) [4]. Для каждого множества определяются внутренние и внешние связи и отношения. Модель допускает иерархию объектов и процессов, что отражает их организационные взаимоотношения и систему контроля за альтернативами. Использование отношений иерархии позволяет однозначно сопоставить любой составной (сложный) объект СКМ с определенным подмножеством ГИС-элементов, формирующих его визуальное отображение, с учетом всех необходимых характеристик. Каждому объекту может приписываться набор процессов, имитирующих преобразование входных ресурсов в выходные. Все ресурсы имеют наборы атрибутов в виде списков допустимых значений, используемых для числовых и ранжированных переменных. В состав СКМ, в роли исполнителей процессов и ресурсов, входят геоинформационная и экспертная системы, позволяющие учитывать временные и пространственные параметры.

Одним из важных критериев обеспечения промышленно-экологической безопасности СС является анализ возможных сценариев аварий на опасных объектах, а также комплексная оценка последствий. Для описания процесса синтеза сценариев в системе используется логическая модель безопасности (ЛМБ). Элементами сценария являются инициирующие события и условия, а также связи между ними. При разработке ЛМБ влияющие на безопасность ресурсы атрибутированы диапазонами безопасного функционирования. Выход за пределы соответствующего диапазона интерпретируется как *функционально-порожденное* инициирующее событие. Таким образом, модели подобных событий в СКМ рассматриваются как расширение моделей нормального функционирования элементов СС, что не противоречит здравому смыслу. Специфицированы еще две категории ИС, появление и развитие которых зависит от простран-

ственных и/или временных характеристик элементов СКМ. Они названы *пространственно-порожденными* и *время-порожденными*, возможны и их комбинации. Условия возникновения событий этих категорий формируются экспертным путем в функции от времени и доступных в СКМ графических характеристик элементов.

3 Моделирование надежности и безопасности при проектировании КИС

В состав СС, как правило, входят высоконадежные элементы. Показатель надежности всей системы практически нечувствителен к изменению показателей надежности отдельных элементов в реализуемом диапазоне значений. Это обуславливает важность использования структурных методов анализа влияния отказов элементов на работоспособность системы. Для исследования надежности СС, связанной с ее структурным построением (структурной надежности) используют структурные функции: функции надежности, безопасности, живучести, работоспособности, минимальных сечений отказов - путем ортогонализации монотонных и немонотонных функций алгебры логики (ФАЛ), замещения логических аргументов в ФАЛ вероятностями их истинности и соответствующих логических операций арифметическими.

Для систем, у которых замена отказавшего элемента на исправный не может привести к отказу системы, логическая функция работоспособности системы (ФРС) монотонна, так как всякая ФАЛ, записанная через конъюнкцию и дизъюнкцию (без отрицания), задает некоторую монотонную функцию. Для монотонных структур ФРС можно записать в виде дизъюнкции кратчайших путей успешного функционирования (конъюнкций минимально необходимых наборов работоспособных элементов) или в виде конъюнкции минимальных сечений отказов системы (конъюнкций минимально необходимых наборов неработоспособных элементов).

По аналогии с [5], ЛМН и ЛМБ предлагается строить на основе ФАЛ, описывающих причинно-следственные связи между работоспособными и неработоспособными, безопасными и опасными состояниями элементов СКМ. Поскольку именно информационные связи отражают взаимовлияние элементов СКМ, характеристики надежности и безопасности определяются прежде всего для ресурсов (данных).

В ЛМН каждому ресурсу приписывается логическая переменная, отражающая структурную надежность его получения. Для ресурсов, поступающих извне, она задается априорно, а для ресурсов, формируемых элементами СКМ, - вычисляется в ходе моделирования. При этом соответствующая ФАЛ учитывает надежность элемента СКМ, вырабатывающего этот ресурс, надежность обеспечения самого элемента входными ресурсами и возможность отказов при передаче ресурсов между объектами, которые по определению имеют в СКМ географическую привязку.

При необходимости легко учесть возможность отказов при передаче ресурсов между объектами, поскольку последние по определению имеют в СКМ географическую привязку. В общем случае надежность некоторого входного ресурса объекта вычисляется как конъюнкция надежности его выработки порождающим объектом и надежности передачи между объектами, зависящей от взаимного расположения последних.

Монотонность полученной ФРС позволяет применять к ней все предложенные в [5] методы канонического представления для конструирования кратчайших путей успешного функционирования и/или минимальных сечений отказов СС. Более того, предложенное здесь использование понятия выработки каждого ресурса как основы разработки ЛМН СС в принципе позволяет оценивать частичную работоспособность фрагментов СС при отказе тех или иных элементов, учитывая уже имеющиеся в модели значения текущих количеств всех материальных ресурсов и скорость их расходования для расчета допустимого времени восстановления отказавших элементов.

В отличие от ЛМН СС, основанной на надежности выработки ресурсов, атомарными единицами ЛМБ СС являются объекты СКМ, поскольку они имеют географическую привязку.

ЛМБ каждого объекта должна учитывать возможность возникновения на нем ИС всех введенных выше типов.

Основная особенность предложенного подхода (по сравнению с известными методами создания логических моделей надежности и безопасности СС с опорой на структурную схему [5]) состоит в том, что детальность моделирования СС повышена до отдельного ресурса, то есть любого материального или информационного сигнала, которым могут обмениваться элементы СС. Это, по мнению авторов, позволяет существенно повысить достоверность результатов анализа логической модели за счет более полного учета взаимосвязей элементов СС, особенно в части выявления сложных (многократных) комбинаций отказов этих элементов.

К преимуществам представленного в настоящем разделе подхода к имитационному моделированию надежности и безопасности можно отнести следующее:

- возможность спецификации и формализованного описания типичных для СС классов функционально-, пространственно- и время-порожденных отказов, инициирующих событий и инициирующих условий, появление и развитие которых зависит от пространственно-временных характеристик элементов СС;
- принципиальную возможность оценки частичной работоспособности фрагментов СС при отказе тех или иных элементов, с учетом текущих количеств материальных ресурсов и скорости их расходования для расчета допустимого времени восстановления отказавших элементов и анализа последствий отказов;
- обеспечивается возможность формирования и исследования альтернативных логических моделей, что актуально при проектировании СС, при создании систем управления надежностью и безопасностью СС;
- в практическом аспекте – использование единой инструментальной среды и методологии для моделирования как нормальных, так и критических режимов функционирования СС, что позволяет аккумулировать разнородные знания об объекте исследования с целью их комплексного применения.

4 Координация

На интервалах времени, когда структурная оптимизация, методы которой представлены в предыдущих разделах, не проводится, необходимы средства поддержания приемлемого функционирования СС в сравнительно стабильной окружающей среде. С этой целью представляется разумным использовать градиентные (инкрементные) методы координации, обычно не требующие изменения структуры СС.

Предлагаемый принцип координации такой системы с точки зрения системного анализа соответствует внешнему (объективному) подходу к оценке эффективности функционирования подсистем в составе метасистемы. Этот принцип состоит в следующем [4, 6]: задачи подобъектов будут скоординированы относительно задачи координатора, если знак градиента (приращения) обобщенного критерия координатора по его текущему доминирующему скалярному критерию совпадает со знаками градиентов этого обобщенного критерия по всем текущим значениям скалярных критериев подобъектов. Полученные в [6] достаточные условия координируемости аналогичны идеям обеспечения устойчивости локального управления в коллективах автоматов [7], где требуется положительность частных производных обобщенного критерия по входным параметрам соответствующего элемента коллектива.

Эффективность рассмотренного метода координации подтверждена результатами моделирования для линейного объекта управления [8], выполненного с целью выявления диапазонов устойчивости локальных управлений и координирующих сигналов к изменениям динамических характеристик объекта (вариациям, в том числе структурным, матрицы динамики объекта) и уровней задающих воздействий. Модельная задача решалась в детерминированной постановке для линейного управляемого объекта. Показано, что подключение управления и

координации расширяет диапазон устойчивости системы к структурным возмущениям и повышает ее быстродействие в несколько раз.

Среда моделирования, пригодная для исследования рассмотренных задач, и применение методов структурной динамики для виртуальных предприятий описаны в [9].

5 Обсуждение

Градиентные методы просты в реализации (по сравнению с методами структурной оптимизации, в частности, с методами управления структурной динамикой), но в общем случае применимы только к системам, где неопределенность порождается случайными событиями и процессами (иногда для их описания применяют термин "игры с природой"). Проблема состоит в том, что в реальных системах сложно априорно определить, имеется ли сознательное или вызванное катастрофой противодействие сигналам координатора.

Изложенное позволяет предложить следующий алгоритм совместного применения обоих подходов. На этапе проектирования для синтеза предпочтительной конфигурации КИС используются методы УСД. На этапе мониторинга применяется вышеописанный инкрементный метод координации и оценивается его эффективность по степени снижения отклонений фактических значений сигналов обратной связи с нижнего уровня от ожидаемых. Если за заданное время требуемое снижение этих отклонений не наблюдается, то диагностируется неэффективность инкрементного метода координации и производится реконфигурация КИС с помощью УСД.

Данная работа была выполнена при финансовой поддержке Российского Фонда Фундаментальных Исследований (гранты 11-08-01016, 11-07-90411-Укр-а, 09-07-00066, 10-07-00311, 10-08-90027-Бел-а), ОНИТ РАН (проект №2.3) и Президиума РАН (проект 4.3 Программы № 15).

Список литературы

- [1] М. Ю. Охтилев, Б. В. Соколов, Р. М. Юсупов. Интеллектуальные технологии мониторинга и управления структурной динамикой сложных технических объектов. М.: Наука, 2006. 410 с.
- [2] Павлов А.Н. Нечетко-возможностный подход к анализу и оцениванию безопасности сложных организационно-технических систем// XI Санкт-Петербургская международная конференция «Региональная информатика-2008 (РИ-2008)», РФ, г. Санкт-Петербург, 22 - 24 октября 2008 г.: Материалы конференции, С. 48-49.
- [3] Павлов А.Н., Соколов Б.В. Многокритериальная кластеризация структурных состояний катастрофически устойчивых информационных систем// XV Международная конференция "Проблемы управления безопасностью сложных систем", РФ, г. Москва, 17 декабря 2008 г. : Материалы конференции. С. 150–153.
- [4] Фридман А.Я. Ситуационное моделирование природно-технических комплексов / А.Я. Фридман, О.В. Фридман, А.А. Зуенко. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2010. 436 с.
- [5] Рябинин И.А. Надежность и безопасность структурно-сложных систем. - СПб.: Политехника, 2000. - 248 с.
- [6] Фридман А.Я. Условия координируемости двухуровневого коллектива динамических интеллектуальных систем // Одиннадцатая национальная конф. по искусственному интеллекту с международным участием КИИ-2008 (28 сентября - 3 октября 2008 г., Дубна, Россия): Труды конференции. Т.1. – М.: ЛЕНАНД, 2008, с. 25-31.
- [7] Стефанюк В.Л. Локальная организация интеллектуальных систем. – М.: Физматлит, 2004. – 328 с.
- [8] Alexander Fridman, Olga Fridman. Incremental Coordination in Collaborative Networks // Proceedings of International Congress on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems (ICUMT-2010), October 18-20, 2010, Moscow, Russia.
- [9] Boris Sokolov, Dmitry Ivanov, Alexander Fridman. Situational Modelling for Structural Dynamics Control of Industry-Business Processes and Supply Chains. In: Intelligent Systems: From Theory to Practice, 2010 Springer-Verlag Berlin Heidelberg, pp.279-308.

**РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ ИНТЕГРИРОВАННОГО
НАЗЕМНО-КОСМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА
НА БАЗЕ ОБЪЕДИНЕНИЯ РЕСУРСОВ НАУЧНЫХ,
ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ
СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО РЕГИОНА**

В.И. Хименко¹, В.А. Зеленцов¹, А.П. Ковалев¹, М.Ю. Охтилев¹, Б.В. Соколов²

¹Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения
190000, С-Петербург, ул. Большая Морская, 67, Россия
vera@aanet.ru

тел/факс: +7 (812) 710-65-10

²Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации РАН
199178, С-Петербург, 14 линия В.О., 39, Россия
zvarambler@rambler.ru

тел: +7 (812) 328-01-03, факс: +7 (812) 328-44-50

Ключевые слова: космическая деятельность, интеграция, мониторинг, научно-образовательный центр

Abstract

Organizational problems of space activity results implementation are considered, the structure and the basic tasks of scientific and educational center for the integration of terrestrial and space-based monitoring are presented.

Введение

В настоящее время космическая деятельность является одним из приоритетных направлений модернизации российской экономики. Основные направления работы по использованию результатов космической деятельности (РКД) в интересах социально-экономического развития субъектов Российской Федерации определены в Перечне поручений Президента Российской Федерации от 13 апреля 2007 г. № Пр-619-ГС, подписанного по итогам заседания Президиума Государственного совета РФ по вопросу «О повышении эффективности использования результатов космической деятельности в интересах социально-экономического развития Российской Федерации» (29 марта 2007 г., г. Калуга).

При комплексном и повсеместном внедрении РКД на практике главной решаемой проблемой была и остается проблема устранения существующего противоречия между уникальными возможностями динамично развивающегося космического потенциала, накопленного в Российской Федерации и в мире, и его недостаточным использованием для решения актуальных задач социально-экономического развития и повышения конкурентоспособности Российской Федерации и её регионов.

Будучи одним из лидеров в освоении космического пространства, РФ до последнего времени занимала места в пятом-шестом десятке на рынке космических услуг. В стране нарабатан огромный промышленный и научный потенциал, который не конвертируется в предоставление реальных услуг населению, органам власти и управления, а также в конкурентоспособность на глобальных рынках.

Вместе с тем, как показывает мировой и отечественный опыт, работа по решению этой проблемы способна придать экономике регионов инновационный характер, усилить рыночные механизмы, повысить качество жизни населения.

1 Организационные аспекты внедрения РКД

Главное направление работ по использованию РКД - максимальная интеграция результатов космической деятельности с реальными социально-экономическими процессами, протекающими в регионах, создание качественно новой региональной навигационно-информационной инфраструктуры, обеспечивающей объективный и комплексный мониторинг основных отраслей экономики – сельское, водное, лесное хозяйство, транспорт, строительство, природопользование, территориальное планирование, градостроительство, жилищно-коммунальный и топливно-энергетический комплекс и другие.

Вклад космических систем в развитие различных отраслей может составлять от 50% (мониторинг сельского хозяйства, лесного хозяйства) до 95% (при использовании единого навигационного поля, системы единого времени в таких отраслях хозяйства, как транспортные интермодальные перевозки, управление в чрезвычайной обстановке).

Использование РКД в общем случае включает:

- использование данных дистанционного зондирования земли (ДЗЗ);
- использование спутниковой навигации;
- использование систем космической связи;
- использование космической инфраструктуры.

Эффективное использование РКД предполагает в настоящее время переход от внедрения отдельных космических технологий, продуктов и услуг к их *интеграции* не только между собой, но и с существующими наземными системами мониторинга сложных организационно-технических систем.

В настоящее время координирующая роль по внедрению результатов космической деятельности возложена на Федеральное космическое агентство (Роскосмос), которым разработан проект Федеральной целевой программы «Использование результатов космической деятельности в интересах социально-экономического развития Российской Федерации и ее регионов» Одновременно ведется организационная работа по использованию РКД в регионах, включающая два основных этапа:

- подписание Соглашений о сотрудничестве между субъектом федерации и Роскосмосом;
- формирование и выполнение региональных целевых программ.

Однако ключевым моментом в успешной подготовке и реализации соответствующих соглашений и программ является необходимость координации внедрения РКД на уровне федерального округа. Подобный подход уже начали применять на практике Приволжский, Уральский и Южный Федеральные округа. Необходимость такой координации обусловлена следующими обстоятельствами:

- 1) Глобальностью космической информации, межрегиональным характером ее применения, необходимостью исключения дублирования бюджетного финансирования одних и тех же разработок. В частности, обеспечение органов власти данными космического мониторинга из единого Центра обеспечит достоверность и однозначность информации, используемой государственными структурами федерального округа, прозрачную ценовую политику, исключение дублирования при заказе одной и той же космической информации. Аналогично, единая идеология построения сетей высокоточного позиционирования обеспечит единство координатной основы, упрощение создания и ведения государственного кадастра объектов недвижимости, повышение качества координатного обеспечения выполняемых работ, сокращение числа базовых станций, удешевление сервиса и метрологического обслуживания.
- 2) Необходимостью рационального использования научно-технических ресурсов. Сдерживающим фактором внедрения РКД может являться отсутствие специалистов и организаций в области космической деятельности в удаленных от центра субъектах РФ. Координация работ на уровне федерального округа позволит использовать научно-технический и

инновационный потенциал предприятий научных и производственных центров, обеспечивающих космическую деятельность, в интересах всех субъектов РФ.

Единство методических подходов к использованию РКД в регионах, обеспечение создания «единого окна» взаимодействия с Роскосмосом, может быть обеспечено в этом случае при условии создания *координирующей (интегрирующей)* структуры, систематизирующей работу по использованию РКД в субъектах федерации, оказывающей им методическую поддержку по данным вопросам, а также организующей взаимодействие с органами государственной власти субъектов при разработке и реализации проектов и программ использования результатов космической деятельности.

2 Интеграция науки, образования и производства на базе Северо-западного центра космического мониторинга

Внедрение РКД является технологически сложным и наукоемким видом деятельности. Практика показала необходимость поиска и использования новых организационных форм для ведения такой деятельности, которые соединяли бы в себе обеспечение фундаментальности проводимых разработок и одновременную подготовку необходимых специалистов. Наиболее эффективной формой в этом смысле является создание центров космического мониторинга с участием научных организаций, ВУЗов, и производственных организаций. Такие центры позволяют решить три группы задач одновременно:

- образовательные – подготовку и переподготовку специалистов, обладающих современными знаниями в области РКД и используемых в современных системах поддержки принятия решений;
- научно-исследовательские – разработку новых методов приема и обработки космической информации, а также технологий мониторинга с использованием данных ДЗЗ;
- производственно-коммерческие – проведение мониторинга территорий и оперативное предоставление объективной информации для принятия решений по управлению хозяйствующим субъектам и органам исполнительной власти.

В настоящее время в стране функционирует уже несколько центров космического мониторинга на базе ВУЗов, в частности, в г.г. Самаре, Ростове-на-Дону, Тюмени, Москве, и ряде других городов.

В Северо-западном регионе также формируется такой центр, его структура показана на рис. 1.

Как видно из рисунка, в состав центра входит ведущее предприятие космической отрасли в Северо-западном регионе - ФГУП «КБ «Арсенал им. М.В.Фрунзе», представитель фундаментальной науки - Учреждение Российской академии наук Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации РАН (СПИИРАН), ВУЗ в лице Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения (ГУАП), производственное предприятие, специализирующееся на разработке систем мониторинга (ЗАО Специализированное конструкторское бюро «Орион»). В каждой из организаций центра созданы специализированные подразделения, что видно из таблиц 1-4.

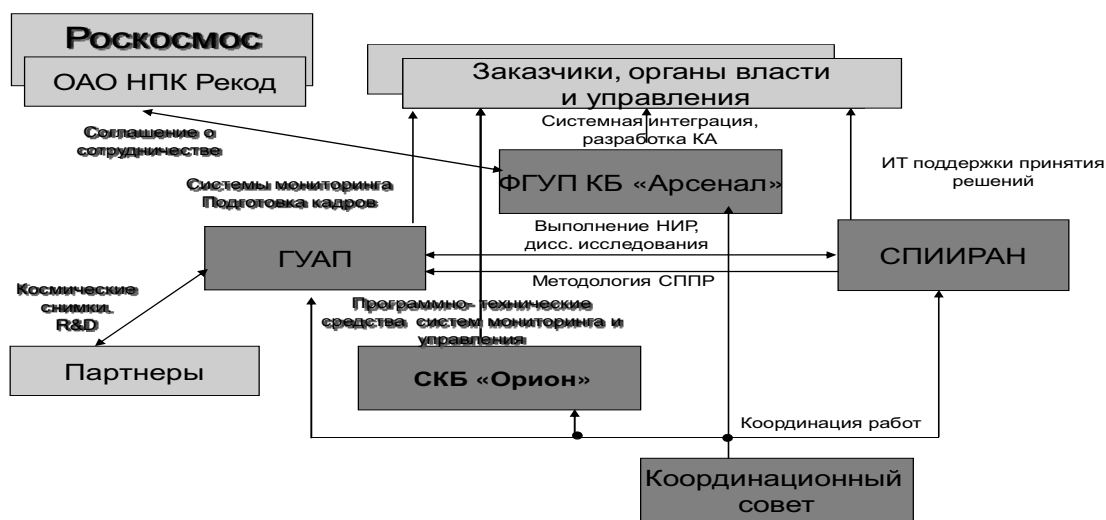


Рисунок 1 – Структура Северо-западного центра космического мониторинга

Потенциал организаций – участниц центра позволяет решать самые сложные задачи информационного обеспечения управления с использованием РКД. В этих условиях практически реализуемой становится перспективная интегрированная технология получения, обработки и анализа космической информации, которая в данном случае будет включать в себя как создание космических аппаратов дистанционного зондирования Земли новых поколений, так и специальных аппаратно-программных средств, обеспечивающих тематическую обработку снимков в различных диапазонах.

В настоящее время к числу первоочередных управленческих задач, безусловно, относится разработка средств и технологий информационно-аналитического обеспечения функционирования ситуационных центров различного уровня и принадлежности (для органов государственной власти, МЧС, нефтегазовой отрасли, других потенциально опасных объектов критических инфраструктур, и т.д.). Поэтому основное тематическое направление деятельности создаваемого центра формулируется как обеспечение органов управления:

- тематическими космическими снимками;
- научно-обоснованной методологией интегрированного мониторинга и ситуационного управления на базе междисциплинарного подхода;
- комплексом новых информационных технологий поддержки принятия решений с использованием аэрокосмической информации;
- подготовленным персоналом.

Особо необходимо отметить, что в рамках создаваемого Центра появляется возможность подготовки уникальных специалистов - системных аналитиков в области интегрированного использования космической информации в системах поддержки принятия решений как для ситуационных центров, так и других областей деятельности в XXI веке.

Функции организаций-участниц Центра в рамках данных направлений показаны на рис. 1 и в таблицах 1-4.

К настоящему времени у организаций-участниц уже накоплен огромный опыт реализации масштабных проектов в области создания космических систем, информатизации регионов, разработки и внедрения интеллектуальных информационных технологий и систем мониторинга объектов космического назначения и атомной энергетики, сквозной подготовки специалистов – от среднего профессионального образования до специалистов высшей квалификации (кандидатов и докторов наук). Объединение уникальных возможностей и опыта данных орга-

низаций в рамках единого центра позволяет получить дополнительный положительный эффект. Он заключается, в частности, в следующем:

- обеспечивается практическая интеграция фундаментальной, вузовской и отраслевой науки при решении задач социально-экономического развития регионов и снижения рисков природных и техногенных катастроф, повышается уровень выполнения разработок в области информационно-аналитического обеспечения деятельности органов управления;
- достигается эффективное использование научных, производственных и образовательных ресурсов Санкт-Петербурга в интересах социально-экономического развития регионов Северо-Запада;
- решается задача одновременного создания наукоемких продуктов и подготовки персонала для работы с ними.

Таблица 1 – Характеристика ФГУП КБ «Арсенал»

Профиль основной деятельности	Разработка и эксплуатация космических комплексов и космических аппаратов различного назначения
Лицензии	Роскосмос, ФСБ, МО, СМК
Персонал	800 чел.
Функции в составе Центра	Взаимодействие с Роскосмосом; Системная интеграция на уровне Федерального округа; Разработка КА; Тематическая обработка ДЗЗ
Специализированные подразделения по профилю Центра	Конструкторско-производственные отделы, рабочие места по тематической обработке данных ДЗЗ, сертифицированные специалисты

Таблица 2 – Характеристика ГУАП

Профиль основной деятельности	Образовательная деятельность, фундаментальные и прикладные научные исследования. 14 факультетов, 45 кафедр, более 100 образовательных программ ВПО.
Лицензии	Роскосмос, ФСБ, Минобрнауки
Персонал	ППС - 550 чел, в т.ч. по профилю Центра – 110 дтн, 380 ктн
Функции в составе Центра	• Взаимодействие с Минобрнауки; • Разработка и сопровождение систем мониторинга, математических моделей и алгоритмов и обработки аэрокосмической информации; • Тематическая обработка ДЗЗ; • Подготовка, переподготовка и повышение квалификации специалистов; докторантура и аспирантура.
Специализированные подразделения по профилю Центра	• Научно-образовательный центр AeroSpaceInfo; • ПО тематической обработки ДДЗЗ ; • Сертифицированные специалисты

Таблица 3 – Характеристика СПИИРАН

Профиль основной деятельности	Проведение фундаментальных и прикладных исследований по вопросам автоматизации и информатизации в различных предметных областях
Лицензии	Роскосмос, ФСБ, МО
Персонал	Персонал -205 чел, из них дтн- 35. ктн- 59, в т.ч. по профилю Центра – 21 дтн, 33 ктн
Функции в составе Центра	• Взаимодействие с РФФИ. • Разработка методологии создания и применения СППР, интеллектуальных информационных технологий для ситуационных центров; • Тематическая обработка ДЗЗ; • Подготовка кадров
Специализированные подразделения по профилю Центра	• Научно-исследовательская группа космических информационных технологий и систем; • ПО тематической обработки данных ДЗЗ; • Сертифицированные специалисты; • Кластер системы распределенных вычислений.

Таблица 4 – Характеристика СКБ «Орион»

Профиль основной деятельности	Проектирование, изготовление, поставка, внедрение, сопровождение систем мониторинга и управления технологическими процессами и объектами народно-хозяйственного и оборонного значения
Лицензии	Роскосмос; РосАтом, ФСБ; СМК; МО
Персонал	150 чел., в т.ч. по профилю Центра – 1 дтн, 4 ктн.
Функции в составе Центра	Разработка программно-технических средств автоматизированных систем мониторинга
Специализированные подразделения по профилю Центра	Специализированные стенды по разработке и испытаниям интегрированных технологий и систем мониторинга. Сертифицированные специалисты отделов: • конструкторского, • разработки специального и прикладного ПО, • комплексной отработки программно-технических комплексов на специализированных стендах, • внедрения и сопровождения программно-технических комплексов на объектах заказчика

Кроме того, в случае тесного взаимодействия с органами исполнительной власти обеспечивается возможность координации работ по использованию РКД, выполняемых в интересах органов управления в различных регионах Северо-Запада.

Заключение

Таким образом, создание и функционирование Северо-западного центра космического мониторинга создают основу механизма широкого внедрения космических информационных технологий в регионе, позволяют на практике реализовать идею интеграции науки, образования и производства и использовать все преимущества этой интеграции в такой высокотехнологичной и наукоемкой сфере, как использование результатов космической деятельности.

ИНФОРМАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ И СИСТЕМА ИНФОРМАЦИОННОЙ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПО КОНТРОЛЮ В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ СОСТОЯНИЯ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ

В.И. Хименко, М.Ю. Охтилев, В.А. Каргин

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения
190000, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 67, Россия

vera@aanet.ru

тел/факс: +7 (812) 710-65-10

Ключевые слова: *информационная технология, поддержка принятия решений, система информации, мониторинг состояния космических средств, реальный масштаб времени*

Abstract

Systematic analysis of the results of tests of space-rocket complexes is presented. Solutions on application of the elements of information technology for monitoring the state of complex technical objects in real time during testing of rocket and space technology are proposed.

Введение

Стратегический характер и сложность задач, возлагаемых на средства ракетно-космической техники, с одной стороны, обусловили резкое ужесточение временных и других ресурсных ограничений на процесс принятия решений, как при проведении испытаний, так и штатной эксплуатации космических средств (КС), а с другой - привели к возрастанию объемов информации, поступающей в центры управления полетами (ЦУП), на командные пункты (КП), контрольно-измерительные станции заводов-изготовителей (ЗИ), технические (ТК) и стартовые комплексы (СК) космодромов. Это происходит на фоне снижения уровня квалификации технического персонала и большой текучести кадров на заводах-изготовителях, на космодромах и объектах наземной космической инфраструктуры (НКИ). Заказчики ракетно-космических комплексов (РКК) не имеют возможности оперативно и эффективно воздействовать на эксплуатирующие организации, предприятия-разработчики и изготовителей по вопросам повышения надежности и безопасной эксплуатации РКК [1].

Основная часть

Для обеспечения процесса испытаний РКК и управления ими создана и функционирует система информации о техническом состоянии и надежности РКК, основная цель которой - достоверная оценка состояния КС и их подсистем для определения готовности к выполнению поставленных задач. При оценивании технического состояния и надежности РКК обычно различают два основных этапа - этапы первичной и вторичной обработки информации. В настоящее время найдены достаточно приемлемые решения по вопросам автоматизации первичной обработки отдельных видов информации (телеметрической, баллистической, командно-программной, навигационной) без их системной интеграции с задачами мониторинга состояния ракетно-космической техники [2-3].

По вопросам вторичной обработки или автоматизированного анализа информации, хотя этой проблеме и уделялось серьезное внимание, за последние 20-25 лет нельзя отметить сколько-нибудь значительных сдвигов, приведших к кардинальным изменениям. Для отдельных КС (как правило, обитаемых КА) существуют версии специального программного обеспечения автоматизированного анализа информации. Однако трудозатраты на разработку этих

версий столь велики, а используемые в их основе методы (алгоритмы) столь уникальны, что ни сами версии, ни опыт их разработки неприемлемы для широкого круга потребителей информации (ЦУП, КП, контрольно-измерительные станции ЗИ, СК, ТК), обеспечивающих как процессы проведения испытаний, так и непосредственно управление сложными динамическими объектами [4-5].

Традиционно решение задач анализа и оценивания технического состояния и надежности, принятие решений по управлению РКК возлагаются на руководителей дежурных смен и расчетов подготовки и пуска, на технических руководителей при проведении испытаний РКК. Практика испытаний показывает, что при возникновении неисправностей, отказов или аварий лица, принимающие решения, из-за сложности интерпретации результатов мониторинга не справляются с оперативным оцениванием гигантских объемов разнородной информации и, как следствие, не своевременно формируют управляющее воздействие. Комплексный анализ результатов испытаний РКК и управления ими позволил выявить и обобщить недостатки, присущие системе информации о техническом состоянии и надежности РКК [6]:

- 1) Разнообразный по назначению и принципам построения широкий спектр программно-аппаратных средств взаимодействия потребителей информации с контролируемыми РКК в большинстве своем морально и физически устарел.
- 2) Отсутствует единая для всех потребителей автоматизированная база данных и знаний обо этапах жизненного цикла РКК от проектирования до вывода из эксплуатации, что приводит:
 - к низкой оперативности получения информации о качестве функционирования и надежности РКК (особенно при возникновении нештатных и аварийных ситуаций) и принятию несвоевременных решений по их дальнейшей эксплуатации;
 - к низкому уровню достоверности и объективности оценки технического состояния и степени надежности РКК вследствие ограниченного доступа к имеющейся у потребителей (предприятий разработчиков, изготовителей, эксплуатирующих организаций) информации о причинах неисправностей, отказов и аварий, а также об эффективности проведенных доработок.
- 3) Отсутствует единая технология разработки программных средств для решения конкретных задач информационного обеспечения, что не позволяет достичь приемлемых характеристик функционирования системы информации о техническом состоянии и надежности РКК.

Для устранения указанных недостатков предлагается создать распределенную автоматизированную систему информационной поддержки принятия решений (АСИППР), в которой за счет перехода от эвристических алгоритмов оценивания технического состояния к построению теоретически и методически обоснованных алгоритмов анализа состояний РКК, будет обеспечено эффективное решение задач мониторинга РКК в реальном масштабе времени (РМВ).

Основным назначением создаваемой АСИППР должно стать:

- максимальное взаимодействие со всеми участниками проекта, учет их знаний и интересов за счет интеграции существующих специализированных программных комплексов в единую кроссплатформенную систему мониторинга;
- повышение надежности и эффективности мониторинга объектов РКК за счет информационной поддержки в принятии решений по предупреждению аварий и катастроф, в поиске причин возникновения неисправностей;
- обеспечение автоматизированной обработки потоков информации с объекта мониторинга и отображение обобщенных результатов мониторинга состояния КА, РН, объектов НКИ и других объектов управления в РМВ в интерактивно формируемом пользователем режиме;
- возможность автоматизированной идентификации состояния объекта мониторинга и формирование рекомендаций по управлению им лицам, принимающим решение в условиях жестких временных ограничений;

- возможность моделирования в РМВ реакции объекта управления на различные управляющие воздействия и оперативное уточнение в ходе разработки сложных динамических моделей функционирования технологических процессов с возможностью индивидуальной настройки параметров функционирования АСИППР;
- возможность получения пользователями справочной информации по устройству, принципам функционирования, правилам эксплуатации объекта мониторинга, а также статистических данных о параметрах функционирования РКК.

Следует отметить, что реализация АСИППР для конкретных целей и условий своего применения возможна на основе использования экспертных эвристических методик, а также на основе информационных технологий, которые ориентированы на нечеткость и слабую формализуемость достигаемых при информационном обеспечении целей, выполняемых задач и принимаемых решений. При создании АСИППР предлагается использовать как элементы интеллектуальной информационной технологии (ИИТ) автоматизации процессов мониторинга и управления состоянием сложных технических объектов в РМВ, так и возможности, открывающиеся при практическом применении характеристик пересечений уровней в задачах мониторинга ракетно-космической техники в реальном времени [7-12].

Такая интеграция позволит:

- технологам предметной области осуществлять сбор, формализацию, верификацию и коррекцию всех необходимых данных и знаний о состоянии КС;
- организовать вычисления в составе распределенной системы имитационного моделирования, позволяющей создавать системы разнородных математических моделей, достаточно адекватных контролируемым процессам и явлениям, даже при наличии факторов, разрушающих информацию и снижающих ее достоверность;
- для пользователя разработать диалоговый интерфейс с информационной системой и возможностью отображения (представления) обработанных данных с помощью средств когнитивной графики (см. рис.1-2);

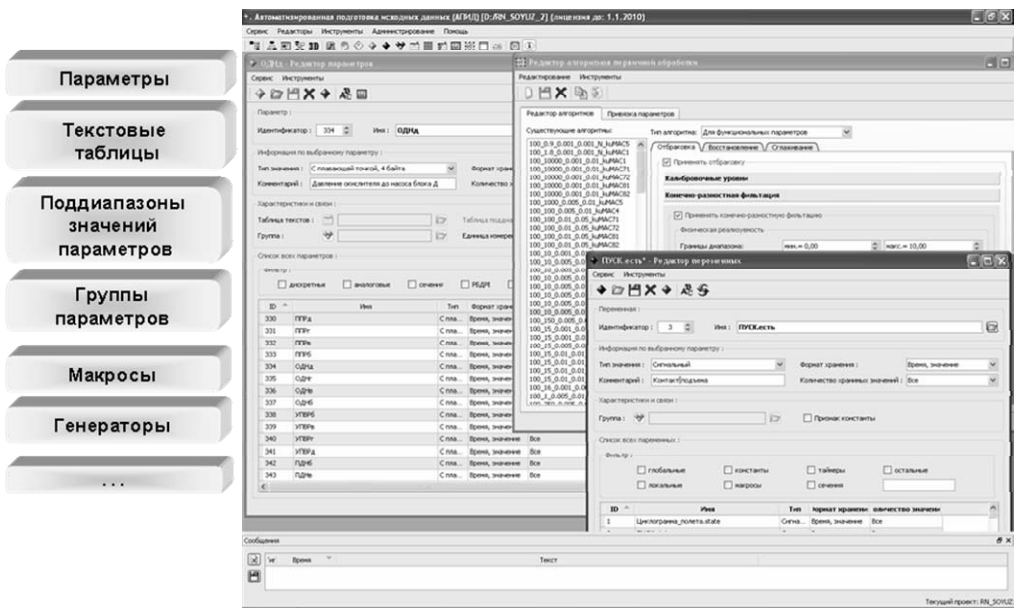


Рисунок 1. Вариант представления диалогового интерфейса автоматизированного средства технолога, занимающегося подготовкой данных и знаний для комплекса мониторинга технического состояния ракеты-носителя типа «Союз»

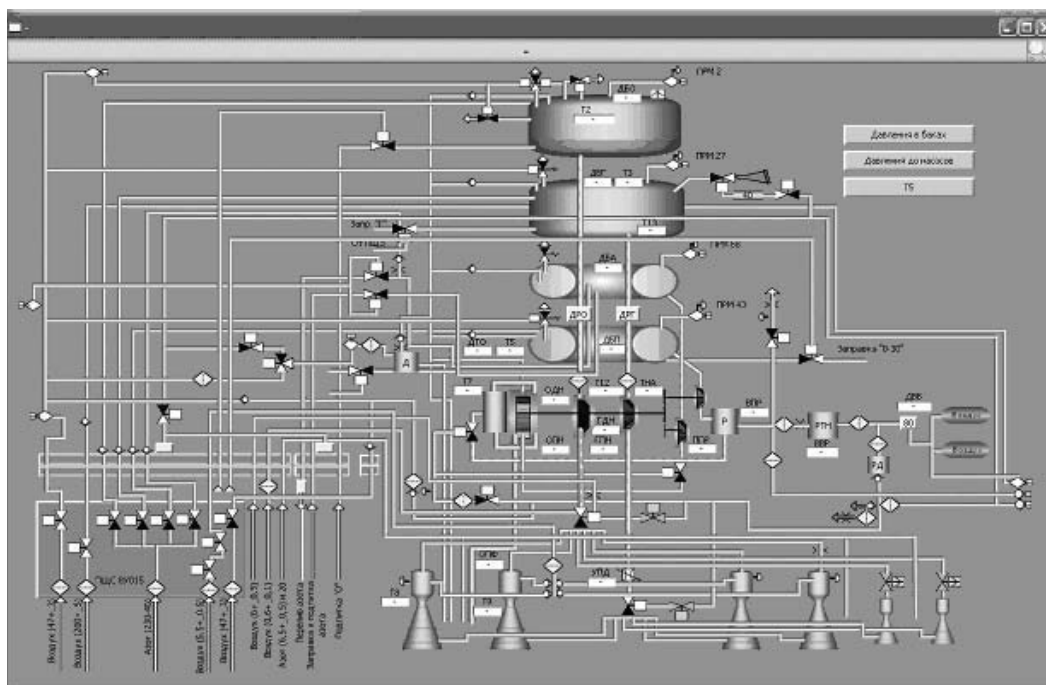


Рисунок 2. Пример графического изображения пневмогидросхемы двигательной установки одного из блоков ракеты-носителя «Союз-2» (мнемосхема), на основе которой разрабатываются экранные формы для отображения. Внешний вид представления может быть различным: близким к конструктивной, принципиальной, электрической схемам объекта, либо к некоторой условной схеме, описывающей объект и (или) процесс его функционирования.

- для всех потребителей создать единую автоматизированную базу данных и знаний об этапах жизненного цикла РКК - от проектирования до вывода из эксплуатации;
- проектировать и разрабатывать различные программно-аппаратные средства (от устройств управления силовым оборудованием до человеко-машинного интерфейса) по единой технологии;
- организовать серийное производство унифицированных программно-технических комплексов с применением оптимальных технологических процессов разработки, существенно сокращающих сроки и расходы на создание или модификацию АСИППР;
- осуществлять резервирование информации на аппаратно-программном уровне с применением отработанных средств самодиагностики оборудования.

Заключение

Реализация АСИППР, построенной на базе ИИТ автоматизации процессов мониторинга и управления состоянием КС в РМВ, позволит сформировать единую базовую систему информационного обеспечения мониторинга РКК, существенно повысить достоверность, оперативность получения всеми потребителями информации, необходимой для принятия решения по выполнению задач по предназначению, а также повысить эффективность деятельности технического руководства всех уровней.

Список литературы

- [1] Каргин В.А., Майданович О.В., Охтилев М.Ю., Россиев А.Ю. Автоматизированная система управления подготовкой и пуском ракет космического назначения как корпоративная информационная система // Информационно-измерительные и управляющие системы, 2010, № 7. С. 78-83.
- [2] Статистические методы обработки результатов наблюдений / Под редакцией доктора технических наук, профессора Р.М. Юсупова // МО СССР, 1984, - 563 с.
- [3] Козырев Г.И., Назаров А.В., Обрученков В.П., Шитов И.В. и др. Современная телеметрия в теории и на практике. – СПб.: Наука и Техника, 2007. – 668 с.
- [4] Стёпкин В.С., Шмыголь С.С. Автоматизированная обработка и анализ измерительной информации. – МО СССР, 1980, 515 с.
- [5] Дмитриев А.К., Юсупов Р.М. Идентификация и техническая диагностика. – МО СССР, 1987, 521 с.
- [6] Каргин В.А., Россиев А.Ю. Анализ основных проблем при создании автоматизированных систем управления подготовкой и пуском ракет космического назначения // Научная сессия ГУАП: Сб. докл.: в 3 ч., ч. II, Технические науки, СПб.:ГУАП, 2010. – С.173-175.
- [7] В.И. Тихонов, В.И. Хименко Выбросы траекторий случайных процессов. – М.: Наука, 1987. – 304 с.
- [8] В.И. Тихонов, В.И. Хименко Проблема пересечений уровней случайными процессами. Радиофизические приложения // Радиотехника и электроника, 1998, том 43, № 5, С.501-523.
- [9] Охтилев М.Ю. Соколов Б.В., Юсупов Р.М. Интеллектуальные технологии мониторинга и управления структурной динамикой сложных технических объектов. – М.: Наука, 2006, 410 с.
- [10] Охтилев М.Ю., Соколов Б.В., Чуприков А.Ю., Черников А.Д. и др. Перспективные направления развития информационных технологий мониторинга состояния сложных технических объектов в реальном масштабе времени //Авиакосмическое приборостроение, 2004, №11. С.50-59.
- [11] Каргин В.А., Николаев Д.А., Нездоровин Н.В., Самойлов Е.Б. Особенности обработки телеметрической информации ракет-носителей в реальном масштабе времени // Информация и Космос, 2009, № 4. С. 77-82.
- [12] Охтилев М.Ю., Ничипорович О.П., Чуприков А.Ю. и др. Унифицированная информационная технология мониторинга динамически изменяющихся состояний космических средств и средств НКУ на основе измерительной информации и представления его результатов на индивидуальных и коллективных средствах отображения //Авиакосмическое приборостроение, 2007, №5. С.20-24.

НЕЙРОСЕТЕВОЙ ПОДХОД ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ МЕСТООПРЕДЕЛЕНИЯ НАЗЕМНОГО ПОДВИЖНОГО ОБЪЕКТА В СИСТЕМЕ ГЛОНАСС

И.П. Болодурина¹, В.Н. Решетников², М.Г. Таспаева¹

¹Оренбургский государственный университет
460018, Оренбург, пр. Победы, 13, Россия
prmat@mail.osu.ru
тел: +7(3532) 37-25-36

²МАТИ – Российский государственный технологический университет им. К.Э.Циолковского
Москва, Берниковская наб., 14, Россия
kt-mati@mail.ru
тел: +7 (495) 915-35-40

Ключевые слова: система ГЛОНАСС, точность местопределения наземного подвижного объекта, система мониторинга «АвтоГРАФ», нейросетевой подход, комплексная обработка информации

Abstract

The question of location accuracy of ground moving object in the GLONASS system. Propose a method of filtering data based on the use of multilayer perceptrons to predict the navigational options at the current step of the measurements in the previous steps.

Введение

Система ГЛОНАСС представляет второе поколение спутниковых навигационных систем. Создание ее вызвано потребностями потребителей, нуждавшихся в высокоточной привязке своего положения во времени и пространстве. В качестве таких потребителей выступают авиация, морской флот, наземные транспортные средства.

Основное назначение спутниковых навигационных систем (СНС) второго поколения ГЛОНАСС - глобальная оперативная навигация приземных подвижных объектов: наземных (сухопутных, морских, воздушных) и низкоорбитальных космических. Термин «глобальная оперативная навигация» означает, что подвижной объект, оснащенный навигационной аппаратурой потребителей, может в любом месте приземного пространства в любой момент времени определить параметры своего движения - три координаты и три составляющие вектора скорости [1].

Система ГЛОНАСС состоит из трех основных сегментов (космический сегмент, сегмент управления и сегмент потребителя) и ряда вспомогательных элементов, таких как каналы связи, средства вывода спутников на орбиту и пр. На рисунке 1 представлена структура системы ГЛОНАСС.

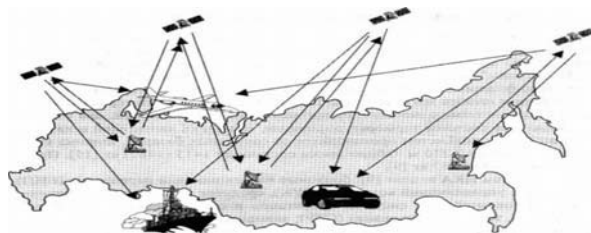


Рисунок 1 – Структура ГЛОНАСС

К космическому сегменту относятся спутники, выведенные на орбиту Земли. Для определения пространственных координат и точного времени требуется принять и обработать навигационные сигналы не менее чем от четырех спутников ГЛОНАСС. Основное назначение навигационного спутника — формирование и излучение сигналов, по которым вычисляется местоположение потребителя и определяется исправность самого аппарата.

Сегмент управления состоит из главной станции, совмещенной с вычислительным центром, группы контрольно-измерительных станций и наземного эталона времени и частоты. Контрольно-измерительные станции стараются размещать как можно равномернее по поверхности Земли.

К сегменту потребителей относится приемное оборудование всех пользователей СНС. Основная задача навигационной аппаратуры потребителей - прием информации со спутников, ее интерпретация и вывод на дисплей либо в канал связи в надлежащем виде. Для этих целей специалистами ООО «ТехноКом» разработана система спутникового мониторинга «АвтоГРАФ» на основе самых современных технологий в области спутниковой навигации, а также каналов передачи и обработки данных. Система «АвтоГРАФ» позволяет проконтролировать в режиме реального времени местонахождение транспортного средства (ТС), направление его движения, пробег и объем затрачиваемого горючего. Современные спутниковые технологии позволяют это осуществить. Для этого достаточно на борту каждого ТС установить прибор, принимающий сигналы навигационных спутников, а на диспетчерском пункте - соответствующую программу. Устройство, размещенное на борту ТС, накапливает информацию о своем местоположении с заданным периодом либо, анализируя характер движения ТС, производит запись маршрута движения, что значительно экономит объем передаваемых данных - время хранения маршрута в приборе может достигать до нескольких лет.

На рисунке 2 изображена функциональная схема контроллера системы «АвтоГРАФ».

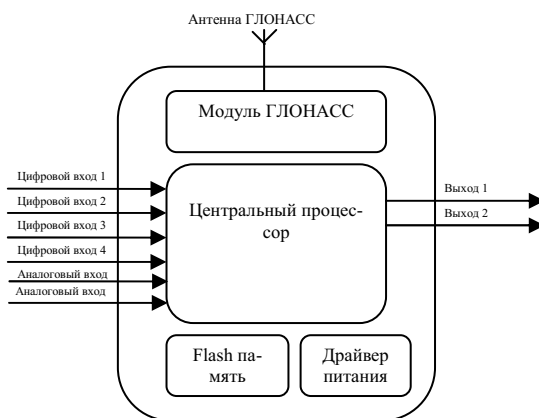


Рисунок 2 – Функциональная схема контроллера системы «АвтоГРАФ»

Модуль ГЛОНАСС с помощью внешней активной антенны принимает кодовые сигналы со спутников системы ГЛОНАСС и, с помощью внутреннего вычислителя, определяет географические координаты местоположения приемника, а также точное время, скорость и направление движения. Полученные данные по протоколу NMEA поступают с выхода модуля в блок центрального процессора. Центральный процессор - это ядро контроллера АвтоГРАФ, связывающее все компоненты системы воедино и обеспечивающее их взаимодействие, согласно заложенной в него программе. В качестве процессора выступает быстродействующая однокристалльная микроЭВМ, обеспечивающая скорость и точность вычислений, достаточную для решения различных навигационных и сервисных задач.

Точность позиционирования транспортного средства зависит от многих факторов, в том числе от метода нахождения координат. Свою погрешность вносят все элементы СНС. Кроме того, «естественный» источник погрешности — атмосфера. Воздушная оболочка (точнее, тропосфера и ионосфера) Земли искривляет траекторию распространения сигнала, что приводит к появлению задержек относительно расчетного времени. Проблема заключается в том, что этот эффект не всегда удастся спрогнозировать, а вносимая ошибка может достигать десятка метров. Тем не менее, разработан ряд алгоритмов, которые позволяют по различным признакам оценить задержки распространения.

Еще одним фактором, вносящим погрешность при определении координат, является многолучевое распространение сигнала со спутника. Все здания, горы и прочие возвышенные объекты вблизи пользователя являются преградами для сигнала. Достигнув препятствия, он отражается. В условиях большого города переотраженных сигналов становится слишком много. Если на антенну приемника пользователя одновременно поступит несколько таких сигналов, между ними возникнет взаимная интерференция, которая приведет к невозможности определения координат пользователя. Кроме того, высокие объекты вблизи пользователя уменьшают зону видимости приемника, тем самым сокращая количество доступных космических аппаратов.

Задачей комплексной обработки навигационной информации является совместная обработка данных навигационного счисления для определения основных навигационных параметров движущегося объекта с максимально возможной точностью. Эта точность зависит от качества навигационных измерителей (датчиков навигационной информации) и алгоритмов обработки навигационных сигналов.

Объединение (комплексирование) устройств и систем обработки информации в единый функционально, структурно и конструктивно взаимосвязанный навигационный комплекс позволяет полнее использовать имеющуюся на борту ТС избыточность информации, благодаря чему появляется возможность повышения точности, помехоустойчивости, непрерывности и надежности навигационных определений.

В настоящей статье рассматривается комплексирование на уровне вторичной обработки информации спутниковой радионавигационной системы ГЛОНАСС.

Комплексирование на уровне вторичной обработки информации

Информация, предоставляемая навигационным сигналом, излучаемых спутниками системы ГЛОНАСС обеспечивает при использовании приемников возможность определения:

- горизонтальных координат с точностью 50-70 м (вероятность 99,7%);
- вертикальных координат с точностью 70 м (вероятность 99,7%);
- составляющих вектора скорости с точностью 15 см/с (вероятность 99,7%)
- точного времени с точностью 0,7 мкс (вероятность 99,7 %).

Минимальная ошибка достигается на открытых участках местности. Значительная ошибка (до нескольких сотен метров) может кратковременно наблюдаться при работе в помещениях или дворах-колодцах (влияние переотраженных сигналов), а также, если приемник ГЛОНАСС только что был включен. Значения этой ошибки могут быть уменьшены за счет применения вторичной обработки показаний аппаратуры пользователя ГЛОНАСС.

Процесс разделения обработки аппаратных измерений в навигационных системах на первичную и вторичную получил широкое распространение. Первичная обработка представляет собой задачу наблюдения, которая состоит в оценке вектора состояния регулируемой системы. Разного рода возмущения и помехи на входе системы в задаче наблюдения не учитываются. Под вторичной обработкой информации понимают выполняемую в ЭВМ обработку выходных данных самих измерителей, результаты которой используются для определения и уточнения

координат и скорости движения, углов ориентации ПО и источников погрешностей измерителей [2].

Передаваемые каждым космическим аппаратом (КА) системы ГЛОНАСС в составе оперативной информации сигналы описывают положение фазового центра передающей антенны данного КА в связанной с Землей геоцентрической системе координат ПЗ-90.02, определяемой следующим образом:

- начало координат расположено в центре масс Земли;
- ось Z направлена на Условный полюс Земли, как определено в рекомендации Международной службы вращения Земли (IERS);
- ось X направлена в точку пересечения плоскости экватора и начального (нулевого) меридиана, установленного Международным бюро времени (BIH);
- Ось Y дополняет геоцентрическую прямоугольную систему координат до правой.

В этой системе координат положение точки в пространстве определяется значениями координат X, Y, Z . Система «АвтоГРАФ» выдает значения координат и проекций скорости ТС в дискретные моменты времени через заданный интервал, посредством их расчета по псевдодальностям до КА. Псевдодальности рассчитываются по временным задержкам T_i сигнала по трассе "i-й КА - потребитель" и известной скорости распространения радиоволн [3].

На рисунке 3 изображен график движения ТС на стоянке. Кривая отображает зависимость от времени t (секунды) средней для координат x, y среднеквадратической ошибки определения координат S (в метрах). Здесь наблюдается пробег из-за дрейфа координат, возникающего при переотражении сигналов.

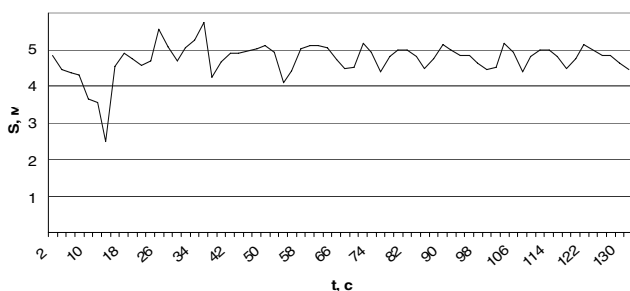


Рисунок 3 – График движения ТС на стоянке

Запишем формальную дискретную модель движения ТС с помощью формул (1), (2):

$$(1) \quad x(k+1) = A(k)x(k) + V(k), \quad k \geq k_0,$$

$$(2) \quad y(k) = C(k)x(k) + w(k).$$

Недоступный непосредственному наблюдению фазовый вектор $x(k)$ имеет размерность n . Измеряемый вектор $y(k)$ имеет размерность m . Параметры системы $A(k)$ и $C(k)$ представляют собой известные матрицы соответствующей размерности. Вектор возмущений $V(k)$ размерности n и ошибка измерений $w(k)$ размерности m представляют собой векторные случайные процессы с дискретным временем.

В радиолокационных станциях автоматического сопровождения и обработки сигналов в инерциальных навигационных системах наиболее распространенным алгоритмом вторичной обработки является фильтр Калмана.

В алгоритме типа многомерной калмановской фильтрации начальными условиями на каждом новом цикле служат оценка состояния системы и величина, характеризующая ее погрешность. Данный алгоритм последовательно обрабатывает заново поступающие векторы

измерений, учитывая при этом значения, вычисленные на предшествующем цикле. Эта черта отличает способ фильтра Калмана от рекуррентных алгоритмов, которым ради работы требуется оберегать целый массив обрабатываемых данных. На следующем шаге с помощью обрабатываемых на данном цикле измерений уточняются начальные условия. По мере последовательной обработки новых измерений происходит накопление фильтром полезной информации, вследствие этого если элементы вектора состояния твердо выражаются сквозь измеренные величины, то суммарная погрешность оценок, как правило, должна снижаться [4].

Для повышения точности местоопределения наземного подвижного объекта предложен метод контроля и диагностики информационных нарушений в навигационных системах, использующий нейросетевые технологии. Принципиальное преимущество нейронных сетей перед фильтрами Калмана при решении задачи контроля и диагностики информационных нарушений [5] состоит в следующем: 1) они позволяют аппроксимировать произвольные плотности распределения вероятности; 2) могут обучаться на реальных измерениях, а не на модели погрешностей, что позволяет обойти неопределенности модели; 3) алгоритмы, использующие нейронные сети, проще в вычислительном смысле для рассмотренных случаев; 4) внутренний параллелизм, присущий нейронным сетям, легко реализуем на вычислительных системах с массовым параллелизмом, которые сейчас активно развиваются.

Предложенный алгоритм реализуется следующим образом. На вход сети подаются измерения в навигационной системе. В выходном слое два нейрона: один отвечает за формирование оценки плотности распределения вероятности входного сигнала, при условии перехода из состояния S_j в состояние S_i , а второй оценивает вероятность противоположного события. Скрытый слой содержит радиальные базисные функции с центрами в точках из обучающей выборки. На рисунке 4 представлена архитектура предиктора.

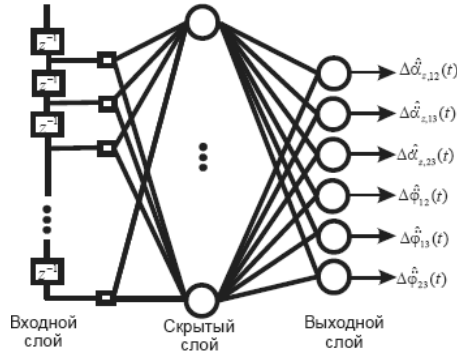


Рисунок 4 – Архитектура предиктора

Измерения подаются на входной слой сети и хранятся в элементах кратковременной памяти z^{-1} . Сети для разных состояний системы имеют одинаковую структуру.

На вход каждой сети подается вектор измерений предыдущего шага $y(t-1) = \{\Delta\alpha_{z,12}(t-1), \Delta\alpha_{z,13}(t-1), \Delta\alpha_{z,23}(t-1), \Delta\phi_{12}(t-1), \Delta\phi_{13}(t-1), \Delta\phi_{23}(t-1)\}$, на выходе получается оценка измерений текущего шага $\tilde{y}_i(t) = \{\Delta\tilde{\alpha}_{z,12}(t), \Delta\tilde{\alpha}_{z,13}(t), \Delta\tilde{\alpha}_{z,23}(t), \Delta\tilde{\phi}_{12}(t), \Delta\tilde{\phi}_{13}(t), \Delta\tilde{\phi}_{23}(t)\}$ для каждого состояния системы $S_i, i=0,1,2,3$. При обучении использован алгоритм обратного распространения ошибки и функция тренировки.

Заключение

Одной из важнейших задач глобальной навигации в системе ГЛОНАСС является точное определение пространственных координат наземных подвижных объектов. Эта задача должна решаться комплексно. При первичной обработке оценивается вектор состояния наблюдаемой системы. Вторичная обработка информации предполагает уточнение координат и скорости движения объекта.

Следует ожидать, что предложенный метод фильтрации данных в навигационных системах, основанный на применении многослойных персептронов для прогнозирования навигационных параметров на текущем шаге по измерениям на предыдущих шагах может повысить эффективность управления наземным подвижным объектом, использующих систему ГЛОНАСС.

Список литературы

- [1] Решетников В.Н. Космические телекоммуникации (Начала). – Тверь: Изд-во ЗАО НИИ ЦПС, 2009, 128 с.
- [2] Сучилин В.И., Волобуев Г.Б. Оценка возможностей повышения точности местоопределения наземного подвижного объекта путем вторичной обработки показаний аппаратуры пользователя систем GPS NAVSTAR и/или ГЛОНАСС. //Сб. докладов VIII Международной научно-технической конференции «Кибернетика и высокие технологии XXI века». Воронеж, 2007, т.2, с. 1066-1073
- [3] Глобальная навигационная спутниковая система ГЛОНАСС. Интерфейсный контрольный документ. Навигационный радиосигнал в диапазонах L1, L2 с открытым доступом и частотным разделением (редакция 5.1). М., 2008.
- [4] Браммер К., Зиффлинг Г. Фильтр Калмана-Бьюси. Пер. с нем. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1982 г.
- [5] Деева А.С. Математическое и алгоритмическое обеспечение диагностики информационных нарушений инерциальных навигационных систем на основе нейросетевого подхода. – Автореф. дис. ... канд. техн. наук. Челябинск: Изд-во ЮурГУ, 2010. – 22 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМОВ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ СБОРА И ОБРАБОТКИ ДАННЫХ В МНОГОПОТОЧНЫХ QT-ПРИЛОЖЕНИЯХ ДЛЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ АТМОСФЕРНЫХ МИКРОВОЛНОВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

Е.В. Баранов, В.М. Дёмкин

Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики» – Нижний Новгород
603155, Нижний Новгород, ул. Б. Печерская, 25/12, Россия
valerdem@mail.ru
тел: +7 (831) 416-95-49

Ключевые слова: платформа Windows, язык программирования C++, графический интерфейс пользователя, приложение, класс, библиотека Qt (Qt Development Frameworks), потоки, библиотека CUDA, графические процессоры, система автоматизации

Abstract

This article presents some results of research of mechanisms of optimization of processes of data acquisition and processing in multithreaded applications for the systems of automation of atmospheric microwave observations. Software development is oriented to use Qt library from Nokia's Qt Development Frameworks and C++ for Microsoft Windows platform. The project decisions of realization data acquisition and processing algorithms are presented both for the traditional uniprocessor systems and the facilities of CUDA library (NVIDIA) extended due to bringing in for graphic processors.

Введение

Одной из характерных особенностей процесса разработки программного обеспечения временных систем автоматизации микроволновых спектральных атмосферных исследований, проводимых с помощью созданных в ИПФ РАН уникальных радиометрических комплексов, является стремление к созданию этих систем в виде как однопоточных, так и многопоточных Qt-приложений для платформы Windows [1-2].

Каждый из таких радиометрических комплексов “по-своему” ориентирован на современную вычислительную технику и универсальное или специализированное интерфейсное оборудование. Каждый из них так же “по-своему” ориентирован на проведение многочасовых спектральных измерений методом наземного микроволнового зондирования атмосферы: для одних комплексов это наблюдения стратосферного озона [3-6], для других – зондирование термической структуры стратосферы [7-8].

Функциональной основой для создания высокопроизводительных Windows-приложений является широко известная библиотека Qt (Trolltech – с 1996 г.; Qt Software – с 2008 г. и Qt Development Frameworks – с 2009 г. как подразделения Nokia) [10].

Однопоточные Windows-приложения весьма просты, они до сих пор востребованы и нашли свое отражение во многих системах автоматизации, разрабатываемых в ИПФ РАН [1-2]. Однако, как отмечалось, разработчики программного обеспечения систем автоматизации микроволновых атмосферных исследований зачастую были вынуждены мириться с тем, что процесс вторичной обработки данных может не выполняться в рамках главного потока вместе с процессами сбора и первичной обработки данных. В этом случае разработчики были вынуждены проектировать два независимых однопоточных приложения, которые могли бы работать как автономно, так и вместе: одно приложение по завершении очередного цикла сбора данных записывает файлы первичных данных в архив, а другое – извлекает их оттуда для последующей обработки. Практика показала, что такой подход оказался вполне оправданным.

В частности, именно такой особенностью обладают современные мобильные озонметры, где сбор данных, первичная обработка данных и управление режимами наблюдений осуществляются под управлением независимого однопоточного Windows-приложения [3-6]. Для большинства дистанционных методов микроволнового зондирования верхней атмосферы в экспериментах, связанных с наблюдением резонансных радиолиний молекул примесных газов, характерное время накопления сигнала радиометра составляет единицы минут, что позволяет в реальном масштабе времени осуществлять сбор и первичную обработку данных, а также поддержку архива файлов первичных данных. Вторичная обработка, как правило, требует тщательного анализа данных, поэтому в экспедиционных условиях проведения наблюдений она редко используется в фоновом режиме непосредственно во время измерений. Селекция спектрограмм, как правило, поначалу производится в ручном режиме, а затем уже – в автоматизированном или автоматическом режиме [9].

Одним из приемлемых проектных решений реализации архитектуры однопоточных приложений для систем автоматизации микроволновых атмосферных исследований оказался вариант архитектуры, показанный на рисунке 1. Здесь представлен характерный перечень процессов, которые могут “безобидно” функционировать в рамках главного потока. Процессы записи первичных данных в архив и соответственно извлечения их оттуда легко встраиваются в архитектуру однопоточных приложений.

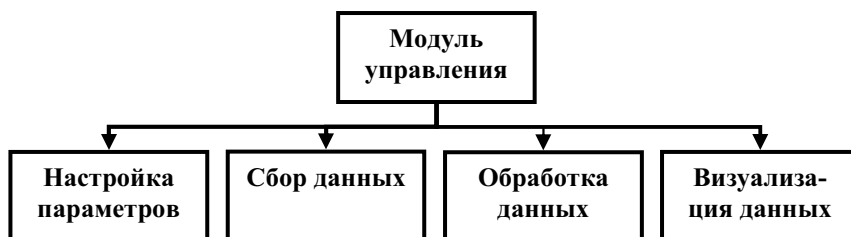


Рисунок 1 – Общая архитектура однопоточного приложения

Многочасовые наблюдения зачастую требуют обеспечения возможности проведения оперативного контроля функционирования узлов экспериментального оборудования, а также текущего состояния процессов в системе. Эффект “замораживания” интерфейса однопоточных Windows-приложений препятствует проведению таких мероприятий, поэтому для перехода к многопоточным приложениям был предложен вариант архитектуры, который показан на рисунке 2. Как видно из рисунка, главный поток приложения взаимодействует с двумя его второстепенными потоками, каждый из которых “отвечает” за свой процесс. Не исключено, что процесс визуализации данных может быть и перераспределен между второстепенными потоками. Не исключено также, что таких потоков может быть и больше, чем два. Главным здесь является стремление избежать эффекта “замораживания” интерфейса.

Многопоточные Windows-приложения по сравнению с однопоточными в большей степени востребованы именно тогда, когда наряду с процессами сбора и первичной обработки данных, которые всегда требуют оперативного контроля функционирования узлов экспериментального оборудования, требуется привлечь и процесс вторичной обработки, от результата которой зависит сам ход эксперимента. В частности, именно такой особенностью обладают разрабатываемые в ИПФ РАН современные радиометрические комплексы, предназначенные для дистанционного зондирования термической структуры стратосферы [7-8]. К тому же, благодаря возможности применения методик измерения теплового радиоизлучения атмосферы, опирающихся на одновременную работу сразу нескольких уникальных узлов оборудования, второстепенных потоков сбора данных, как и соответствующих им второстепенных потоков обработки данных, может быть и больше, чем показано на рисунке 2.

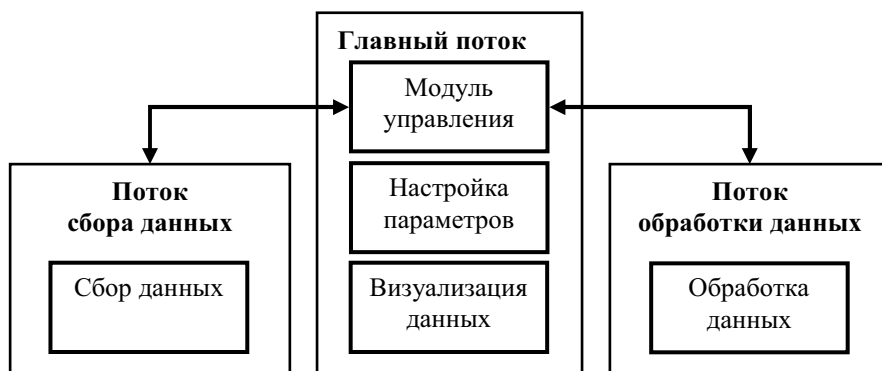


Рисунок 2 – Общая архитектура многопоточного приложения

В экспериментах по дистанционному зондированию в миллиметровом диапазоне волн в случае определения термической структуры стратосферы по сравнению с измерениями содержания озона особые требования предъявляются к расходованию оперативной памяти для хранения как первичных данных, так и промежуточных результатов их первичной обработки.

Причина в том, что характерное время накопления сигнала радиометра с твердотельным модулятором-калибратором в режиме автоматической калибровки может составлять десятки минут, в этом случае при максимально высокой частоте дискретизации сигнала в 400 кГц на один канал спектроанализатора традиционные средства в виде динамических циклических структур данных могут и не обеспечить поддержку многочасовых наблюдений. Очевидно, что без оптимизации процессов сбора и обработки данных здесь уже не обойтись, поэтому были предприняты шаги по привлечению новых средств, поначалу программных, а затем и аппаратных для обеспечения этого режима измерений.

1 Механизмы оптимизации процессов сбора и обработки данных – первый шаг

Перед тем как перейти к обсуждению механизмов оптимизации процессов сбора и обработки данных, отметим характерные особенности проведения измерений в режиме «Автоматическая калибровка» и определим ключевые терминологические понятия, связанные с процессами сбора и обработки данных.

Накопление сигнала для каждого канала спектроанализатора радиометра осуществляется непрерывно порциями, каждая из которых включает в себя три промежутка времени: t_1 , t_2 и t_3 , где $t_3 = t_1 + t_2$. Характерная длительность промежутков времени t_1 и t_2 составляет от десятков миллисекунд до десятков секунд. Порции или «циклы измерения» на временной диаграмме сгруппированы в «серии циклов измерения», характерная длительность которых составляет десятки минут. Серии циклов измерения составляют основу для проведения многочасовых наблюдений. В каждом цикле измерения промежуткам времени t_1 , t_2 и t_3 соответствуют свои фиксированные значения напряжения на модуляторе. Итак, для процесса сбора первичных данных временную диаграмму следует рассматривать как непрерывную совокупность циклов измерения, сгруппированных в серии.

Для каждого промежутка времени t_1 , t_2 и t_3 цикла измерения вычисляются средние значения сигнала для каждого канала спектроанализатора. Для вычисления единичного значения яркостной температуры наблюдаемой нагрузки необходимо выполнить единичный цикл измерения. Единичные значения яркостных температур затем используются при вычислении кумулятивных. Перед началом наблюдений каналы спектроанализатора калибруются по известным эталонным нагрузкам в режиме «Первичная калибровка». В результате первичной калибровки все каналы спектроанализатора «знают» свои значения эффективных температур калибратора, которые затем используются при вычислении яркостных температур.

Обратимся к первому механизму оптимизации процессов сбора и обработки данных, для апробации которого было разработано многопоточное Qt-приложение, эмулирующее реальный прототип системы автоматизации. Отправной точкой для реализации первого механизма оптимизации послужила концепция “разумного” расхода оперативной памяти в результате препроцессинга первичных данных. “Разумность” такого подхода основывается на разбиении блоков первичных данных предполагаемого размера при передаче их процессу обработки на блоки меньшего размера, средние значения для которых вычисляются в процессе накопления уже следующего блока данных за переданным. Тем самым, захватывая меньшие по размеру ресурсы свободной оперативной памяти, вычисляя средние и освобождая захваченные ресурсы, можно добиться существенного сокращения оперативной памяти для каждого цикла измерения и “облегчить” процесс первичной обработки.

Рассчитаем максимально возможный выигрыш при использовании препроцессинга на простом примере. Предположим, что обрабатываемый блок первичных данных составляет 16 элементов, а размер элемента – 2 байта (например, short int в C++). Если вместо блока предполагаемого размера взять два блока по 8 элементов, то ресурс оперативной памяти уменьшится с 32 байтов до 20 в предположении, что для хранения среднего используется 4 байта (например, float в C++), т.е. с 16 единиц до 10, если считать в количестве элементов.

Нетрудно получить формулу для вычисления максимально возможного ресурса оперативной памяти в количестве элементов (V), зная предполагаемое количество элементов блока первичных данных (N), отношение размера элемента, использующегося для хранения среднего (тип с плавающей точкой), к размеру элемента в байтах (k) и количество разбиений предполагаемого блока данных на меньшие по размеру блоки (n):

$$V = \frac{N}{n} + k(n-1)$$

Отсюда легко получить выражения для оптимальных значений n_{opt} и N_{opt} :

$$n_{opt} = \sqrt{\frac{N}{k}}$$

$$N_{opt} = 2\sqrt{kN} - k$$

Так как параметр n должен быть целым числом и являться одним из делителей параметра N , то на практике n будет ближайшим к n_{opt} делителем числа N .

Итак, используя препроцессинг первичных данных при передаче их процессу обработки, можно увеличивать время накопления сигнала радиометра до сотен минут, оставляя неизменной аппаратную платформу и не теряя входных данных.

2 Механизмы оптимизации процессов сбора и обработки данных – второй шаг

Обратимся теперь ко второму механизму оптимизации процессов сбора и обработки данных, для апробации которого так же было разработано многопоточное Qt-приложение, эмулирующее будущий прототип системы автоматизации. Отправной точкой для реализации второго механизма оптимизации послужила концепция расширения аппаратной платформы традиционных однопроцессорных систем (CPU) благодаря привлечению средств библиотеки CUDA (NVIDIA) для графических процессоров (GPU) [11].

Для проверки работоспособности средств библиотеки CUDA была выделена самая затратная по ресурсам процессора часть (вычисление среднего значения для блока первичных данных), после этого были выполнены замеры промежутков времени обработки данных на CPU и GPU соответственно.

Перечислим компоненты расширенной аппаратной платформы, на которой проводились испытания:

- процессор Intel Core i5-650, 2 ядра (с поддержкой технологии Hyper-Threading), работающих на частоте 3.20 ГГц;
- 4 Гб оперативной памяти DDR3, работающей на частоте 1333 МГц;
- видеокарта NVIDIA GeForce GTX 470, архитектура Fermi, 448 потоковых ядер, работающих на частоте 1215 МГц, 1280 Мб памяти DDR5;
- ОС Ubuntu 10.10 с 64-битным ядром версии 2.6.35.28;
- компилятор для программы CPU (gcc 4.4.5);
- пакет CUDA SDK версии 3.2.

Целевая функция рассчитывала среднее значение от 1 до 2500 блоков по 102400 элементов типа float. При слишком малом количестве элементов время запуска нового потока будет больше, чем время самих расчетов, поэтому размер блока и максимальное количество блоков были выбраны таким образом, чтобы уменьшить влияние накладных расходов, связанных с запуском дополнительных потоков, на общее время исполнения, но при этом разместить все обрабатываемые элементы в памяти CPU и GPU соответственно.

При вычислениях на CPU учитывалось время создания потоков и непосредственно обработки, а при вычислениях на GPU – в дополнение к вышеперечисленному – время выделения памяти на GPU и копирования данных с CPU на GPU и обратно. Время вычислений считалось как среднее арифметическое по 3 замерам.

Сначала подбиралось наилучшее количество потоков для CPU, после чего лучшие результаты CPU сравнивались с результатами GPU. На рисунке 3 представлены графики зависимости времени обработки блоков (в микросекундах) от количества блоков.

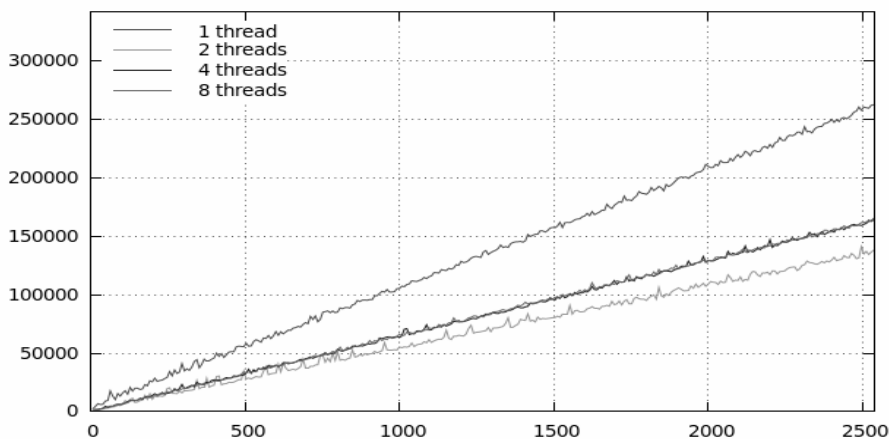


Рисунок 3 – Зависимость времени обработки блоков от количества блоков для CPU

Как видно из рисунка, при переходе от использования одного потока (верхний график) к двум (нижний график) скорость обработки возрастает почти в два раза, что связано с использованием двух ядер CPU, однако дальнейшее увеличение количества потоков до 4 и 8 (между верхним и нижним графиками) приводит к падению производительности. Данное обстоятельство связано с издержками на обслуживание потоков исполнения: для того чтобы переключить контекст исполнения потока, необходимо сохранить в памяти состояние регистров процессора, оставшееся от предыдущего потока, а после этого загрузить значения регистров для нового потока. Таким образом, наибольшая производительность достигается при обработке данных двумя исполнительными потоками, поэтому именно этот вариант был выбран для сравнения с обработкой данных на GPU (см. рисунок 4).

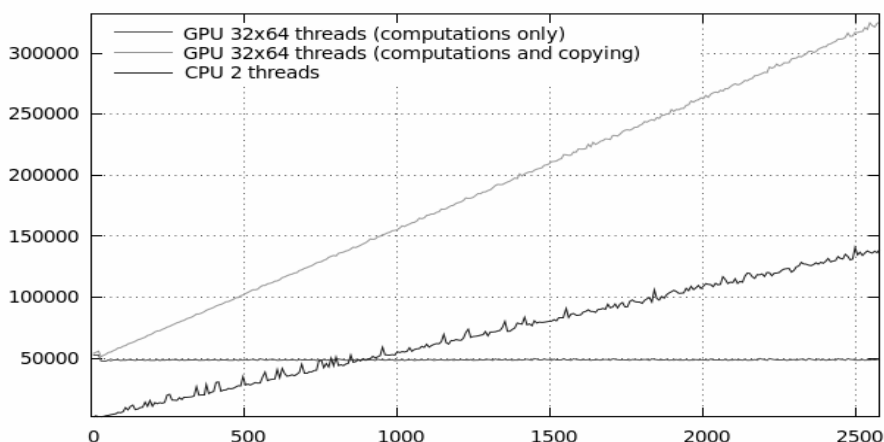


Рисунок 4 – Зависимость времени обработки блоков от количества блоков для GPU и CPU

Сравнивая обработку данных (до 700 блоков) для CPU с использованием двух потоков (нижний график на рисунке 3 или его фрагмент на рисунке 4) и для GPU (график на рисунке 4, параллельный оси абсцисс), можно отметить, что CPU работает быстрее. Это связано с тем обстоятельством, что тактовая частота CPU превосходит частоту GPU в 2 раза. Однако при достижении некоторого порога обработка на CPU становится значительно медленнее, чем на GPU. Как можно заметить, при увеличении количества обрабатываемых блоков данных время обработки на CPU растет линейно, в то время как на GPU оно практически не меняется. Это можно объяснить легковесностью потоков GPU и огромным количеством параллельно работающих ядер. Таким образом, практически все 2500 блоков данных обрабатываются на GPU параллельно. Следовательно, если сравнивать только процесс обработки, то CPU является более эффективным на малых выборках входных данных, а GPU – на средних и больших.

Картина несколько меняется, если кроме времени обработки учесть и время копирования данных в память GPU и обратно в оперативную (верхний график на рисунке 4): общее время обработки, как видим, растет линейно. Таким образом, использование GPU на алгоритмах с достаточно простыми вычислениями может оказаться весьма неэффективным из-за влияния на общее время обработки накладных расходов по копированию данных.

Заключение

Сформулируем основные результаты работы:

- 1) Выявлены характерные особенности проведения многочасовых наблюдений с помощью систем автоматизации микроволновых спектральных атмосферных исследований.
- 2) Исследованы и апробированы два механизма оптимизации процессов сбора и обработки данных в многопоточных Qt-приложениях при проведении измерений в режиме «Автоматическая калибровка». Первый механизм опирается на использование препроцессинга первичных данных при передаче их процессу обработки. Второй механизм опирается на привлечение средств библиотеки CUDA (NVIDIA) для графических процессоров.
- 3) Предложенные механизмы оптимизации могут обеспечить поддержку многочасовых наблюдений в экспериментах по дистанционному микроволновому зондированию верхней атмосферы.

Благодарности

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 10-05-00849-а (2010-2012 гг.).

Список литературы

- [1] Гинзбург А.Н., Дёмкин В.М. Использование многопоточных приложений в системах автоматизации физического эксперимента // Проблемы управления и моделирования в сложных системах: Труды X Международной конференции (Самара, 23-25 июня 2008 г.). – Самара: Самарский научный центр РАН, 2008, с. 518–521.
- [2] Гинзбург А.Н., Дёмкин В.М. Принципы проектирования многопоточных Qt-приложений в системах автоматизации атмосферных исследований // Проблемы управления и моделирования в сложных системах: Труды XI Международной конференции (Самара, 22-24 июня 2009 г.). – Самара: Самарский научный центр РАН, 2009, с. 652–657.
- [3] Куликов Ю.Ю., Красильников А.А., Дёмкин В.М., Рыскин В.Г. Вариации концентрации мезосферного озона во время полного солнечного затмения 29 марта 2006 года по данным микроволновой радиометрии // Известия РАН. Физика атмосферы и океана, 2008, т.44, №4, с.522–526.
- [4] Yu.Yu.Kulikov, A.A.Krasilnikov, V.M.Demkin Fast variations of thermal emission of middle atmosphere in a line of ozone at frequency 110.8 GHz on plateau Shatzhathmas-Kislovodsk // Abstr. of the 31 st Annual Apatity seminar “Physics of Auroral Phenomena”. – Apatity, 2008, p.72–73.
- [5] Белоглазов М.И., Дёмкин В.М., Красильников А.А., Кукин Л.М., Куликов Ю.Ю., Рыскин В.Г., Шанин В.Н. Микроволновые измерения содержания озона в зимней стратосфере Арктики. // Геомагнетизм и аэронавигация, 2010, т.50, №2, с.265–272.
- [6] Красильников А.А., Куликов Ю.Ю., Дёмкин В.М., Кукин Л.М., Михайловский В.Л., Рыскин В.Г., Шанин В.Н., Шейнер М.З., Шумилов В.А., Щитов А.М. Мобильный микроволновый озонметр для атмосферных исследований // Приборы и техника эксперимента, 2011, №1, с.127–133.
- [7] Федосеев Л.И., Швецов А.А., Шкаев А.П., Дёмкин В.М., Караштин Д.А., Кукин Л.М., Божков В.Г., Геннеберг В.А., Петров И.В., Щитов А.М. Радиометры миллиметрового диапазона длин волн с твердотельными модуляторами-калибраторами // Материалы 18-й Международной Крымской конф. “СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии” (КрыМиКо’ 2008). Тез. докл. – Севастополь, 2008, с.878–879.
- [8] Швецов А.А., Дёмкин В.М., Караштин Д.А., Скалыга Н.К., Федосеев Л.И. Микроволновый спектро-радиометрический комплекс для дистанционного исследования термической структуры стратосферы // Известия ВУЗов. Радиофизика, 2009, т.52, №8, с.671–677.
- [9] Гинзбург А.Н., Дёмкин В.М. Алгоритмы селекции спектрограмм в системах автоматизации атмосферных микроволновых наблюдений // Проблемы управления и моделирования в сложных системах: Труды XII Международной конференции (Самара, 21-23 июня 2010 г.). – Самара: Самарский научный центр РАН, 2010, с. 304–309.
- [10] <http://qt.nokia.com>
- [11] http://www.nvidia.ru/object/cuda_home_new_ru.html

СИНТЕЗ ЛОКАЛЬНЫМ МЕТОДОМ ОПТИМАЛЬНОГО ПО БЫСТРОДЕЙСТВИЮ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПОСТОЯННОГО ТОКА ПРИ ЗАДАНИИ ОГРАНИЧЕНИЯ НА ПОТРЕБЛЯЕМУЮ МОЩНОСТЬ

Н.В. Фалдин, А.В. Моржов

Тульский государственный университет

300600, Тула, пр-т Ленина, 92, Россия

info@tsu.tula.ru

тел: +7 (4872) 35-34-44, факс: +7 (4872) 33-13-05

Ключевые слова: *следающий электропривод, оптимальное управление, быстродействие, локальный метод, ограничение мощности*

Abstract

The local method of synthesis of the time-optimal DC servo electrodrive under the power consumption constraint is considered. According to this method limitation of the system possible initial conditions area is taken into account completely. This approach simplifies the procedure of synthesis.

Введение

При синтезе оптимальных по быстродействию систем часто возникает серьезная проблема, обусловленная высоким порядком объекта управления. Для преодоления этой проблемы авторами работы предложены два метода: *базовый* и *локальный*. Базовый метод можно успешно использовать, если в математической модели объекта управления удастся выделить звенья, содержащие большие и малые постоянные времени (медленные и быстрые движения) [1, 2]. В локальном методе решение проблемы высокого порядка основано на том, что в реальных технических системах область возможных начальных состояний ограничена и при синтезе оптимального управления следует ориентироваться именно на эту область. Синтез оптимального управления локальным методом, строго говоря, выполняется в пространстве, размерность которого совпадает с размерностью указанной ограниченной области.

В настоящей работе рассматривается синтез локальным методом оптимального по быстродействию следающего электропривода постоянного тока при задании ограничения на потребляемую мощность. Синтез выполняется по нелинейной динамической модели привода. Учитывается наличие в электроприводе ограничителя тока, который оказывает большое влияние на длительность переходных процессов.

В любой следающей системе, в том числе в следающем электроприводе, максимальная мощность потребляется в переходном процессе. На практике из-за некачественных переходных процессов мощность исполнительного двигателя оказывается существенно завышенной. Потребную мощность двигателя можно радикальным образом уменьшить, если использовать в приводе оптимальный по быстродействию закон управления, синтезированный при соответствующем задании ограничения на потребляемую мощность.

Синтез базовым методом оптимального по быстродействию следающего электропривода постоянного тока выполнен в [2]. В настоящей работе рассматривается ситуация, когда параметры привода таковы, что использование базового метода невозможно. Кроме того, в отличие от [2], синтез выполняется при задании ограничения на потребляемую мощность.

1 Постановка задачи

На рисунке 1 изображена структурная схема электропривода как объекта управления. Здесь $D_1=120$ А, $R=0,15$ Ом, $T=1,5 \cdot 10^{-2}$ с, $C=0,052$, $J=0,0093$ Н·м·с²/рад. На напряжение наложено ограничение $|u| \leq A$, где $A=27$ В. Привод работает на инерционную нагрузку. В динамической модели привода учитывается ограничитель тока.

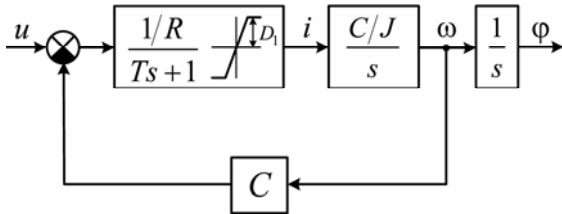


Рисунок 1 – Структурная схема электропривода как объекта управления

Максимальная потребляемая приводом мощность $P_{\max}=D_1 A=3240$ Вт. Введем ограничение мощности $P \leq D_2$, где $D_2=0,5 P_{\max}=1620$ Вт. Ограничение мощности задается неравенством

$$-D_2 \leq ui \leq D_2.$$

Граничное значение напряжения, обусловленное этим неравенством, определяется соотношениями $u=-D_2/i$, $u=D_2/i$.

В следящих системах входные сигналы заранее не известны. Как и в [2], при синтезе оптимального управления будем полагать, что система должна обрабатывать сигналы вида

$$y=g_1 t+g_0,$$

где g_1 и g_0 – любые числа. Во-первых, это позволит упростить процедуру синтеза, а во-вторых, как показывают выполненные исследования, получаемый закон управления обеспечивает хорошее быстродействие и при других возможных входных сигналах.

Введем ошибки по фазовым переменным $\Delta \varphi=y-\varphi=g_1 t+g_0-\varphi$, $\Delta \omega=g_1-\omega$, $\Delta i=-i$. Из рисунка 1 следует

$$(1) \quad \begin{cases} \frac{d\Delta i}{dt} = \begin{cases} -\frac{1}{T} \left[\frac{1}{R} (u - C(g_1 - \Delta \omega)) + \Delta i \right] & \text{при } |\Delta i| < D_1 \text{ или} \\ |\Delta i| = D_1 \text{ и } \frac{1}{R} (u - C(g_1 - \Delta \omega)) + \Delta i = 0; \\ 0, & \text{если } |\Delta i| = D_1 \text{ и } \left[\frac{1}{R} (u - C(g_1 - \Delta \omega)) + \Delta i \right] \text{sign}(\Delta i) < 0, \end{cases} \\ \frac{d\Delta \omega}{dt} = \frac{C}{J} \Delta i, \quad \frac{d\Delta \varphi}{dt} = \Delta \omega. \end{cases}$$

Ограничение мощности приводит к неравенству

$$(2) \quad -D_2 \leq u \Delta i \leq D_2.$$

На рисунке 2 изображен вид переменной области управления. Верхняя граница области задается уравнениями

$$u = \begin{cases} A & \text{при } |\Delta i| \leq \Delta i^*; \\ (D_2/\Delta i) \cdot \text{sign}(\Delta i) & \text{при } |\Delta i| > \Delta i^*, \end{cases}$$

а нижняя граница – уравнениями

$$u = \begin{cases} -A & \text{при } |\Delta i| \leq \Delta i^*; \\ -(D_2/\Delta i) \cdot \text{sign}(\Delta i) & \text{при } |\Delta i| > \Delta i^*. \end{cases}$$

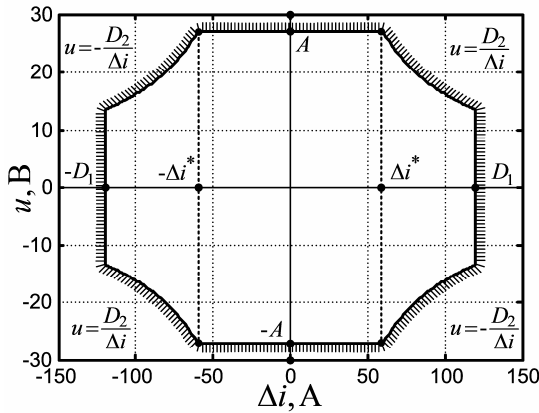


Рисунок 2 – Переменная область управления

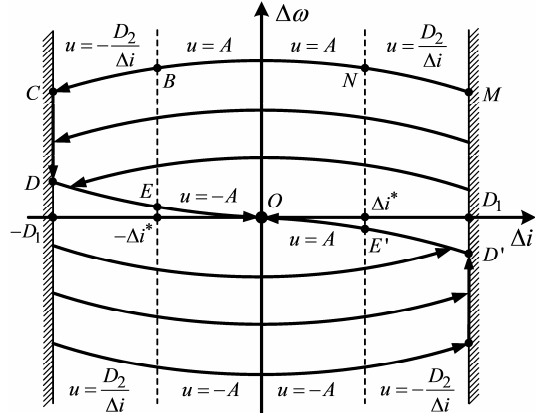


Рисунок 3 – Вид оптимальных траекторий

Синтез оптимального по быстродействию управления будем выполнять, предполагая, что привод выходит на режим слежения из состояния покоя, т.е. в качестве возможных начальных состояний будем рассматривать следующие величины: $\Delta\varphi(0)$, $\Delta\omega(0)=g_1$, $\Delta i(0)=0$. При идеальном слежении за входным сигналом $\Delta\varphi(t)=0$, $\Delta\omega(t)=0$, $\Delta i(t)=0$. Таким образом, требуется найти закон управления, который переводит любую фазовую точку системы (1), принадлежащую заданному множеству начальных состояний, в начало координат за минимально возможное время. При этом на каждой оптимальной траектории должно выполняться ограничение (2).

2 Синтез интегрирующего привода

Так как объект управления содержит интегратор (см. рисунок 1), то это позволяет существенно упростить выделение для заданного множества начальных состояний оптимальных траекторий и оптимального управления. Будем решать задачу синтеза в два этапа. Сначала выполним синтез оптимального интегрирующего привода, а затем с помощью полученного оптимального закона управления для каждого начального состояния легко определим оптимальную траекторию движения электропривода.

Движение интегрирующего привода при $|\Delta i| < D_1$ задается уравнениями

$$(3) \quad \frac{d\Delta i}{dt} = -\frac{1}{T} \left[\frac{1}{R} (u - C(g_1 - \Delta\omega)) + \Delta i \right]; \quad \frac{d\Delta\omega}{dt} = \frac{C}{J} \Delta i,$$

а при $|\Delta i| = D_1$ – уравнениями

$$\frac{d\Delta i}{dt} = 0, \quad \frac{d\Delta\omega}{dt} = \frac{C}{J} \Delta i.$$

На рисунке 3 изображен вид оптимальных по быстродействию траекторий, выделенных с помощью необходимых условий оптимальности [3]. Линия $DEOE'D'$ является линией переключения. DEO представляет собой траекторию движения системы (3) при

$$u = \begin{cases} D_2/\Delta i, & \text{если } \Delta i < -\Delta i^*; \\ -A, & \text{если } -\Delta i^* \leq \Delta i \leq 0, \end{cases}$$

а линия $D'E'O$ – траекторию при

$$u = \begin{cases} D_2/\Delta i & \text{при } \Delta i > \Delta i^*; \\ A & \text{при } 0 \leq \Delta i \leq \Delta i^*. \end{cases}$$

Для определения линии переключения целесообразно воспользоваться принципом попятного движения Фельдбаума [4].

Обозначим $\Delta\omega=f(\Delta i)$ уравнение линии переключения. В соответствии с рисунком 3 для интегрирующего электропривода оптимальный по быстродействию закон управления задается равенством

$$(4) \quad u=u^*(\Delta i) \cdot \text{sign}[\Delta\omega-f(\Delta i)],$$

здесь

$$u^*(\Delta i) = \begin{cases} D_2/\Delta i & \text{при } \Delta i > \Delta i^*, \\ A & \text{при } |\Delta i| \leq \Delta i^*, \\ -D_2/\Delta i & \text{при } \Delta i < -\Delta i^*. \end{cases}$$

Остановимся кратко на обосновании оптимальности выделенных на рисунке 3 траекторий. Воспользуемся необходимыми условиями оптимальности, как они формулируются для системы с переменной областью управления [3].

При $|\Delta i| < D_1$ функция Гамильтона задается равенством

$$(5) \quad H_1(\psi, \Delta i, \Delta\omega, g_1) = -\psi_1 \frac{1}{T} \left[\frac{1}{R} (u - C(g_1 - \Delta\omega)) + \Delta i \right] + \psi_2 \frac{C}{J} \Delta i,$$

а при $|\Delta i| = D_1$ – равенством

$$H_2(\psi, \Delta i) = \psi_1 \cdot 0 + \psi_2 \frac{C}{J} \Delta i.$$

Из условия максимума по управлению u функции (5) следует, что при $|\Delta i| < D_1$ оптимальное управление

$$u = -u^*(\Delta i) \cdot \text{sign}(\psi_1(t)).$$

Рассмотрим траекторию $MNBCDEO$. Пусть точке N соответствует момент времени t_1 , точке B – момент времени t_2 и т.д. Поскольку в точках N, B, C, E управление соответствует угловым точкам границы переменной области управления (рисунок 2), то в моменты t_1, t_2, t_3, t_5 должно выполняться условие скачка [5]. В момент t_1 , например,

$$\psi_1(t_1 + 0) = \psi_1(t_1 - 0) + \mu_1, \quad \psi_2(t_1 + 0) = \psi_2(t_1 - 0),$$

где μ_1 – некоторое число. Из условия непрерывности функции Гамильтона следует, что в моменты t_1, t_2, t_5 вектор-функция $\psi(t)$ является непрерывной, т.е. соответствующие параметры μ равны нулю. Условие непрерывности функции Гамильтона в момент t_3 приводит к соотношениям

$$\psi_1(t_3 - 0) = 0, \quad \psi_1(t_3 + 0) = \mu_3, \quad \psi_2(t_3 + 0) = \psi_2(t_3 - 0).$$

Здесь μ_3 – любое число.

В момент t_4 происходит переключение управления и, следовательно, $\psi_1(t_4) = 0$. Таким образом, получены два уравнения

$$(6) \quad \psi_1(t_3 - 0) = 0, \quad \psi_1(t_4) = 0.$$

Записав дифференциальные уравнения для вектора $\psi(t)$, с помощью уравнений (6), аналогично тому, как это было сделано в [2], можно определить начальное значение $\psi(0)$ ($\psi_1(0) = -1$) и параметр μ_3 . Это дает возможность полностью задать вектор $\psi(t)$ и проверить выполнение необходимых условий оптимальности.

Для траектории $MNBCDEO$ соответствующие вычисления были выполнены и установлено, что траектория удовлетворяет всем условиям оптимальности. Аналогичным образом проверяется оптимальность остальных траекторий.

3 Оптимальный по быстродействию закон управления следящим электроприводом

Равенство (1) задает математическую модель, которая содержит неохваченное обратной связью интегрирующее звено. Для такой системы изменение начального условия y переменной $\Delta\varphi$ при неизменном управлении $u(t)$ и неизменных начальных условиях по остальным переменным приводит к смещению фазовой траектории вдоль оси $\Delta\varphi$. Если, например, задаться начальными условиями $\Delta i(0)=0$, $\Delta\omega(0)=g_1$, $\Delta\varphi(0)=\Delta\tilde{\varphi}$ и проинтегрировать в интервале $0 \leq t < t_1$ систему уравнений (1), положив $u(t) = u^*(\Delta i)$, а при $t > t_1$ перейти на закон управления (4), то конечная точка траектории будет лежать на оси $\Delta\varphi$, т.е. в конечный момент времени T $\Delta i(T)=0$, $\Delta\omega(T)=0$, $\Delta\varphi=\Delta\varphi(T)$. Если сохранить управление $u(t)$, а в качестве начальных значений выбрать $\Delta i(0)=0$, $\Delta\omega(0)=g_1$, $\Delta\varphi(0)=\Delta\tilde{\varphi}-\Delta\varphi(T)$, то получим идущую в начало координат оптимальную по быстродействию траекторию.

Пусть $\mathbf{x}(t) = (\Delta i(t), \Delta\omega(t), \Delta\varphi(t))$ – идущая в начало координат некоторая оптимальная траектория. На этой траектории оптимальное управление переключается два раза: в момент t_1 , который выбирается свободно (им определяется коррекция начальной точки переменной $\Delta\varphi$), и в момент t_2 , определяемый законом управления (4). Проведем через точки $\mathbf{x}(t_1)$, $\mathbf{x}(t_2)$ и начало координат плоскость. Коэффициенты этой плоскости однозначно определяются начальными значениями $\Delta\varphi(0)$ и $\Delta\omega(0)=g_1$. Такую плоскость можно построить для каждой начальной точки из заданного множества. Это дает возможность задать оптимальный по быстродействию закон управления в виде

$$(7) \quad u = u^*(\Delta i) \cdot \text{sign}[\Delta\varphi - C_1(\Delta\varphi(0), \Delta\omega(0)) \cdot \Delta i - C_2(\Delta\varphi(0), \Delta\omega(0)) \cdot \Delta\omega].$$

При формировании закона управления (7) предполагалось, что начальные отклонения лежат в диапазоне $-300 \text{ рад} \leq \Delta\varphi(0) \leq 300 \text{ рад}$, $-300 \text{ рад/с} \leq \Delta\omega(0) \leq 300 \text{ рад/с}$, где $\Delta\omega(0) = g_1$. Для заданного диапазона начальных состояний указанным выше способом были рассчитаны около тысячи значений каждого из коэффициентов $C_1(\Delta\varphi(0), g_1)$ и $C_2(\Delta\varphi(0), g_1)$. Так как численно заданные функции $C_1(\Delta\varphi(0), g_1)$ и $C_2(\Delta\varphi(0), g_1)$ имеют разрывы, то для более качественной аппроксимации были выделены две области, в которых указанные функции являются гладкими. Далее, отдельно для каждой из этих областей выполнялась аппроксимация функций $C_1(\Delta\varphi(0), g_1)$ и $C_2(\Delta\varphi(0), g_1)$ при помощи метода наименьших квадратов с использованием аппроксимирующего полинома вида

$$C_k(\Delta\varphi(0), g_1) = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^m K_{ij} \cdot \Delta\varphi(0)^i \cdot g_1^j.$$

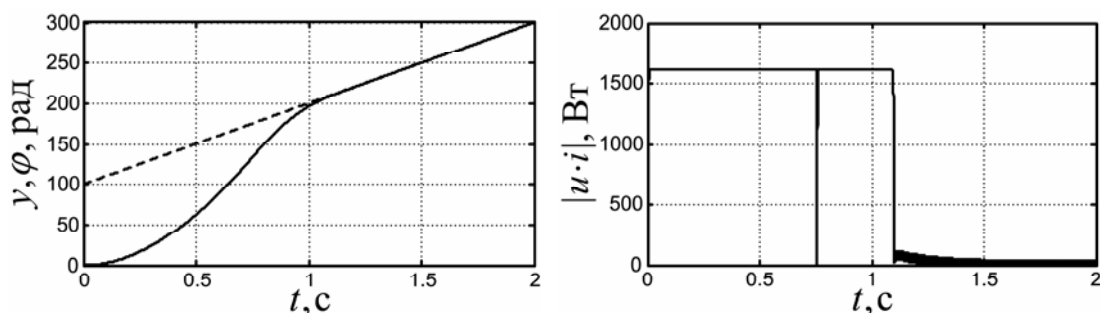


Рисунок 4 – Осциллограммы отработки приводом входного сигнала $y = 100t + 100$

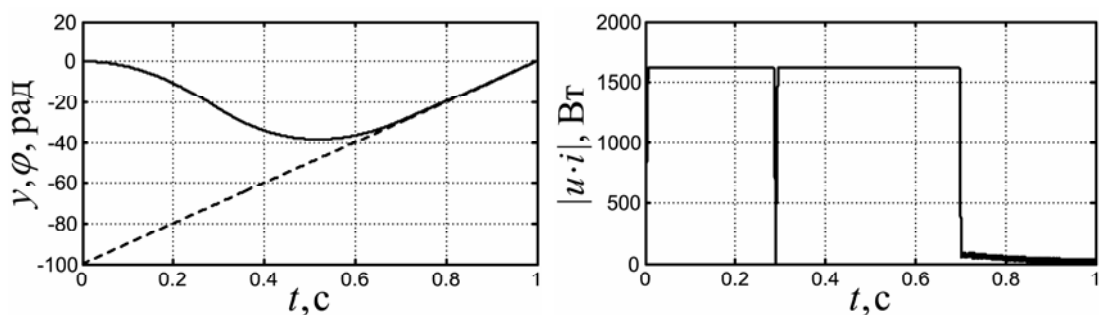


Рисунок 5 – Осциллограммы отработки приводом входного сигнала $y=100t-100$

На рисунках 4 и 5 приведены осциллограммы отработки синтезированным приводом входных сигналов $y=100t+100$ и $y=100t-100$, полученные с помощью компьютерного моделирования. Моделирование показало также, что привод обладает высоким быстродействием и при отработке гармонических сигналов. При этом четко выполняется заданное ограничение на потребляемую мощность.

Заключение

В работе излагается синтез локальным методом оптимального по быстродействию электропривода постоянного тока при задании ограничения на потребляемую мощность. Получаемый при этом закон управления имеет достаточно простой вид. Важным достоинством локального метода синтеза является то обстоятельство, что его можно успешно использовать для широкого класса технических объектов управления.

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке по гранту РФФИ (грант № 09-08-00332).

Список литературы

- [1] Фалдин Н.В., Липатов А.Ю., Моржов А.В. Синтез оптимального по быстродействию объемного силового гидропривода при задании ограничения на потребляемую мощность // Мехатроника, автоматизация, управление. 2010, №3 – С. 39 – 44.
- [2] Фалдин Н.В., Липатов А.Ю. Синтез оптимального по быстродействию следящего электропривода постоянного тока // Проблемы управления и моделирования в сложных системах: Труды XII Международной конференции. – Самара: Самарский научный центр РАН, 2010. – С. 370 – 375.
- [3] Иванов В.А., Фалдин Н.В. Теория оптимальных систем автоматического управления. – М.: Наука, 1981. – 331 с.
- [4] Фельдбаум А.А. Основы теории оптимальных автоматических систем. – М.: Физматгиз, 1963. – 552 с.
- [5] Пупков К.А., Фалдин Н.В., Егупов Н.Д. Методы синтеза оптимальных систем автоматического управления. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2000. – 510 с.

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ДВИЖУЩИХСЯ ОБЪЕКТОВ В СЛОЖНЫХ УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЯЮЩЕЙСЯ ОСВЕЩЕННОСТИ

Н.Н. Васин, Р.Р. Диязитдинов

Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики
443010, Самара, ул. Льва Толстого, 23, Россия
vasin@psati.ru, rinat.diyazitdinov@gmail.com
тел: +7 (846) 332-08-05

Ключевые слова: идентификация объектов контроля, изменяющаяся освещенность, компьютерное моделирование, погрешность оценки фона

Abstract

Global illumination changes make it difficult to conduct detection of moving objects in outdoor scenes. If it is very low on transition from frame to frame, then exponential smoothing is efficient in dealing with illumination changes. But if it is high, then it cause over-detection, false alarms and low sensitivity to true targets. Correct assessment of illumination changes is solving the problem of foreground detection under global illumination changes.

Введение

Алгоритмы идентификации объектов контроля широко используются при построении интеллектуальных систем видеонаблюдения. Алгоритмы идентификации объектов контроля строятся на двух предположениях. Первое, что каждый элемент (пиксель) изображения отображает либо фон (задний план), либо заслонен объектом контроля. Второе, что фон представляет собой совокупность элементов изображения различной яркости, уровень которой изменяется сравнительно медленно. Предполагается, что фон можно оценить, и, используя полученную оценку, на анализируемом изображении можно определить, какие элементы изображения заслонены объектом контроля. Однако если яркость фона оценена с погрешностью, и если во время съемки происходят резкие изменения освещенности, которые изменяют яркость каждого элемента изображения, но не несут информации об объектах контроля, то это приводит к существенному снижению эффективности обнаружения объектов контроля. Это говорит о том, что повышение точности оценивания изображения фона и повышение достоверности обнаружения при изменениях освещенности является актуальной задачей.

1 Модель видеоизображения фона и движущихся объектов контроля

Для описания взаимодействия сигналов яркости фона $b_I(t)$, объекта контроля $f_I(t)$ и шума $n_I(t)$ в I -том элементе изображения в момент времени t используется следующая модель:

$$(1) \quad x_I(t) = \theta \cdot b_I(t) + (1 - \theta) \cdot f_I(t) + n_I(t),$$

где $x_I(t)$ – яркость I -того элемента изображения в момент времени t ; $\theta = 1$, если верна гипотеза H_b ; $\theta = 0$, если верна гипотеза H_f ; H_b – гипотеза о наличии сигнала фона; H_f – гипотеза о наличии сигнала объекта контроля.

Опустим символ I , считая, что для каждого элемента изображения применима формула (1). При работе с цифровыми сигналами формула (1) запишется в виде:

$$(2) \quad x_i = \theta \cdot b_i + (1 - \theta) \cdot f_i + n_i,$$

где символ $(\cdot)_i$ обозначает значение яркости в i -тый момент времени.

Полагается, что яркость заднего плана b на интервале анализа полагается постоянной величиной m_b , плотность вероятности которой описывается дельта-функцией:

$$(3) \quad p(b) = \delta(b - m_b).$$

Полагается, что объекты контроля могут быть различных оттенков яркости и ни одному из градаций яркости нельзя отдать предпочтения. В таком случае плотность вероятности яркости элемента изображения, заслоненного объектом контроля, f описывается равномерным законом распределения:

$$(4) \quad p(f) = \begin{cases} \frac{1}{f_{\max} - f_{\min}}, & f \in [f_{\min}, f_{\max}] \\ 0, & f \notin [f_{\min}, f_{\max}] \end{cases},$$

где $f_{\min}, f_{\max}$ – минимальное и максимальное значение яркости, которые способна фиксировать видеокамера, соответственно.

Плотность вероятности шума яркости n описывается нормальным законом распределения с нулевым средним:

$$(5) \quad p(n) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_n} \exp\left(-\frac{n^2}{2\sigma_n^2}\right),$$

σ_n – СКО шума яркости.

Для описания яркости элемента изображения при изменениях освещенности используется следующая модель:

$$(6) \quad x_i = \theta \alpha_i b_i + (1 - \theta) \alpha_i f_i + \beta_i + n_i,$$

где α – изменение контрастности видеоизображения при изменении освещенности, β – изменение яркости видеоизображения при изменении освещенности.

В дальнейшем, для краткости, будем говорить контрастность видеоизображения α и яркость видеоизображения β .

Для описания статистических характеристик параметра β используется нормальный закон распределения с нулевым средним:

$$(7) \quad p(\beta) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_\beta} \exp\left(-\frac{\beta^2}{2\sigma_\beta^2}\right)$$

σ_β – СКО яркости видеоизображения β .

Для описания статистических характеристик параметра α используется плотность вероятности, которая приблизительно описывается нормальным законом распределения, отличие состоит в том, что контрастность видеоизображения α не может меняться в бесконечных пределах, поэтому сверху и снизу ограничивается минимальным и максимальным значением контрастности $\alpha_{\min}, \alpha_{\max}$:

$$(8) \quad p(\alpha) = \begin{cases} \frac{C_\alpha}{\sqrt{2\pi}\sigma_\alpha} \exp\left(-\frac{(\alpha - m_\alpha)^2}{2\sigma_\alpha^2}\right), & \alpha \in [\alpha_{\min}, \alpha_{\max}] \\ 0, & \alpha \notin [\alpha_{\min}, \alpha_{\max}] \end{cases},$$

$$C_\alpha = \frac{1}{\int_{\alpha_{\min}}^{\alpha_{\max}} \frac{C_\alpha}{\sqrt{2\pi}\sigma_\alpha} \exp\left(-\frac{(\alpha - m_\alpha)^2}{2\sigma_\alpha^2}\right) d\alpha} - \text{нормирующий множитель};$$

m_α , σ_α – это параметры распределения.

Параметр m_α определяет такое значение контрастности видеоизображения, при котором достигается наибольшее значение плотности вероятности контрастности видеоизображения; параметры σ_α , $\alpha_{\min}$, $\alpha_{\max}$ определяют дисперсию контрастности видеоизображения. Параметр $m_\alpha = 1$ и отражает тот факт, что наиболее вероятным является событие, при котором $\alpha = 1$. Параметры: $\alpha_{\min} = 0$, $\alpha_{\max} = 2$, так как увеличение яркости элементов изображения за короткий период времени в два раза, или уменьшение до нуля при съемках не бывает.

2 Алгоритм идентификации объекта контроля

На основе предложенной модели разработан алгоритм идентификации объекта контроля, который включает три этапа. Первый этап – оценки яркости изображения фона. Второй этап – предварительное определение появления объекта контроля. Третий этап – определение появления объекта контроля с учетом изменений освещенности.

На первом этапе производится оценка яркости фона в каждом элементе изображения. Алгоритм оценки яркости фона в элементе изображения, согласно выражению (2.12), примет вид:

$$(9) \quad \hat{m}_b = \arg \max_{m_b} \left[\sum_{i=1}^k \ln(\mathbf{P}\{H_b\} \cdot p(x_i | H_b, m_b) + \mathbf{P}\{H_f\} \cdot p(x_i | H_f)) \right],$$

где $\mathbf{P}\{H_b\}$ – априорная вероятность наличия сигнала фона; $\mathbf{P}\{H_f\}$ – априорная вероятность наличия сигнала объекта контроля; $p(x_i | H_b, m_b)$ – плотность вероятности яркости при условии, что верна гипотеза H_b ; $p(x_i | H_f)$ – плотность вероятности яркости при условии, что верна гипотеза H_f :

$$(10) \quad p(x | H_b, m_b) \approx \frac{1}{\sqrt{2\pi(\sigma_\beta^2 + \sigma_n^2 + \sigma_\alpha^2 m_b^2)}} \cdot \exp\left(-\frac{(x - m_\alpha m_b)^2}{2 \cdot (\sigma_\beta^2 + \sigma_n^2 + \sigma_\alpha^2 m_b^2)}\right),$$

$$(11) \quad p(x | H_f) = \frac{C_\alpha}{2(f_{\max} - f_{\min})\sqrt{2\pi}\sigma_\alpha} \times \\ \times \int_{\alpha_{\min}}^{\alpha_{\max}} \frac{1}{\alpha} \left[\Phi\left(\frac{x - f_{\min}\alpha}{\sqrt{(\sigma_n^2 + \sigma_\beta^2)}}\right) - \Phi\left(\frac{x - f_{\max}\alpha}{\sqrt{(\sigma_n^2 + \sigma_\beta^2)}}\right) \right] \exp\left(-\frac{(\alpha - m_\alpha)^2}{2\sigma_\alpha^2}\right) d\alpha,$$

где $\Phi(x) = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \cdot \int_0^x \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right) dt$ – функция Крампа;

На втором этапе производится предварительное определение появления объекта контроля с использованием оценки яркости фона, полученной на первом этапе, для каждого элемента изображения. Решение о появлении объекта контроля в элементе изображения принимается по алгоритму максимума апостериорной вероятности (МAB) [3]:

$$\Lambda(x) \underset{<}{\overset{\geq}{}} \eta, \Lambda(x) = \frac{p(x | H_b)}{p(x | H_f)}, \eta = \frac{\mathbf{P}\{H_f\}}{\mathbf{P}\{H_b\}},$$

где $\Lambda(x)$ – отношение правдоподобия; $p(x | H_b)$ вычисляется по формуле (10) при $m_b = \hat{m}_b$; $p(x | H_f)$ вычисляется по формуле (11); η – порог обнаружителя.

На третьем этапе для определения появления объекта контроля с учетом изменений освещенности, чтобы компенсировать влияние α и β , производится их оценка:

$$(12) \quad \hat{\alpha} = \frac{Z \cdot M - S_x \cdot S_b}{E_b \cdot M - S_b^2}, \hat{\beta} = \frac{E_b \cdot S_x - Z \cdot S_b}{E_b \cdot M - S_b^2}$$

$$\text{где } E_b = \sum_{J=1}^M (m_{b,J}^2), Z = \sum_{J=1}^M (x_J m_{b,J}), S_x = \sum_{J=1}^M (x_J), S_b = \sum_{J=1}^M (m_{b,J}),$$

x_J – значение яркости J -того пикселя изображения, классифицированного, как «фон»; $\hat{m}_{b,J}$ – оценка яркости заднего плана, соответствующего J -тому пикселю изображения; M – число пикселей, классифицированных, как «фон».

Обозначим их: $\hat{\alpha}_0, \hat{\beta}_0$ – оценка контрастности видеоизображения и яркости видеоизображения после предварительного определения появления объекта контроля.

Дальнейшее обнаружение объектов контроля происходит в несколько итераций, для этого:

- 1) выбираются значения параметров $\sigma_{\alpha,1} > \sigma_{\alpha,2} > \dots > \sigma_{\alpha,k} > 0$, $\sigma_{\beta,1} > \sigma_{\beta,2} > \dots > \sigma_{\beta,k} > 0$, где k – количество итераций, $\sigma_{\alpha} > \sigma_{\alpha,1}$, $\sigma_{\beta} > \sigma_{\beta,1}$;
- 2) на каждой итерации обнаружение объектов контроля проводится с использованием формул:

$$\Lambda(x) \underset{<}{\overset{\geq}{}} \eta, \Lambda(x) = \frac{p(x | H_b)}{p(x | H_f)}, \eta = \frac{\mathbf{P}\{H_f\}}{\mathbf{P}\{H_b\}},$$

$$(13) \quad p(x | H_b) = \frac{1}{\sqrt{2\pi(\sigma_{\beta,j}^2 + \sigma_n^2 + \sigma_{\alpha,j}^2 m_b^2)}} \cdot \exp\left(-\frac{(x - \hat{m}_b \hat{\alpha}_{(j-1)} - \hat{\beta}_{(j-1)})^2}{2 \cdot (\sigma_{\beta,j}^2 + \sigma_n^2 + \sigma_{\alpha,j}^2 m_b^2)}\right),$$

$$(14) \quad p(x | H_f) = \frac{C_{\alpha}}{2(f_{\max} - f_{\min})\sqrt{2\pi}\sigma_{\alpha,j}} \times \\ \times \int_{\alpha_{\min}}^{\alpha_{\max}} \frac{1}{\alpha} \left[\Phi\left(\frac{x - f_{\min}\alpha}{\sqrt{(\sigma_n^2 + \sigma_{\beta,j}^2)}}\right) - \Phi\left(\frac{x - f_{\max}\alpha}{\sqrt{(\sigma_n^2 + \sigma_{\beta,j}^2)}}\right) \right] \exp\left(-\frac{(\alpha - m_{\alpha})^2}{2\sigma_{\alpha,j}^2}\right) d\alpha.$$

где j – номер итерации, $j = 1, 2, \dots, k$; $\hat{\alpha}_{j-1}, \hat{\beta}_{j-1}$ – контрастность видеоизображения и яркость видеоизображения, оценка которых производится по формуле (12) после $j-1$ итерации.

3 Погрешность оценки фона и качество работы разработанного алгоритма

Для определения качества работы разработанного алгоритма было проведено компьютерное моделирование. Схема формирования сигнала яркости элемента изображения (пикселя), который то отображает фон с яркостью m_b , то заслонен объектом контроля, представлена на рисунке 1. Величина $\mathbf{P}\{H_f\}$ определяет априорную вероятность наличия сигнала объекта контроля.

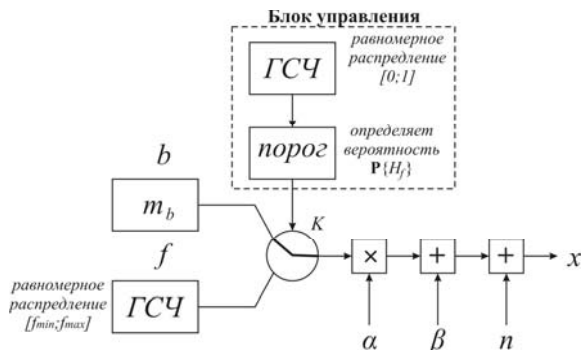


Рисунок 1 – Схема формирования сигнала яркости элемента изображения (пикселя)

Исследовались вопросы, как влияет на оценку яркости фона m_b СКО шума σ_n и априорная вероятность $\mathbf{P}\{H_f\}$ (рисунок 2), а также как влияет на оценку яркости фона m_b количество отсчетов яркостей k при различных значениях параметра σ_α (рисунок 3).

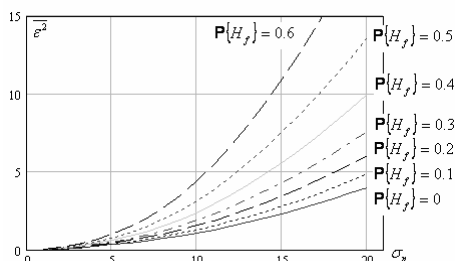


Рисунок 2 – Зависимость среднего квадрата погрешности оценивания $\overline{\varepsilon^2}$ от значения яркости фона σ_n при различных значениях $\mathbf{P}\{H_f\}$ и остальными параметрами: $\sigma_\alpha = 0$, $\sigma_\beta = 0$, $m_b = 40$ и $k = 100$

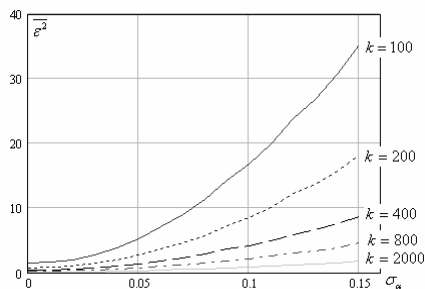


Рисунок 3 – Зависимость среднего квадрата погрешности оценивания $\overline{\varepsilon^2}$ от σ_α при различных значениях k и остальными параметрами: $\sigma_\beta = 0$, $\sigma_n = 7$, $\mathbf{P}\{H_f\} = 0,5$, $m_b = 220$

Для определения эффективности используется значение среднего квадрата погрешности оценивания:

$$\overline{\varepsilon^2} = \overline{[\hat{m}_b - m_b]^2} = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^N (\hat{m}_{b,i} - m_b)^2,$$

где m_b – действительное значение яркости фона; $\hat{m}_{b,i}$ – оценка яркости фона на i -том опыте; N – количество опытов для оценки яркости.

Как видно по рисунку 2 при неменяющейся освещенности погрешность измерения фона возрастает с увеличением априорной вероятности наличия сигнала объекта контроля $P\{H_f\}$. Как видно по рисунку 3 для уменьшения погрешности оценки фона необходимо увеличивать количество отсчетов яркости k , участвующих при оценке.

В работе сравнивались существующие алгоритмы – MoG [1], KDE [2] с предложенным алгоритмом. Результаты моделирования представлены на рисунке 4, по которому видно, что при отсутствии изменений освещенности наилучшие показатели имеет алгоритм KDE, однако, уже при небольших значениях параметра σ_α алгоритм KDE уступает предложенному.

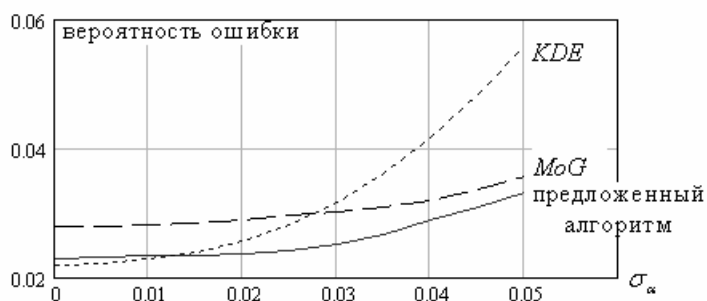


Рисунок 4 – Результаты моделирования определения вероятности ошибки для алгоритмов MoG, KDE и предложенного алгоритма при различных значениях σ_α

4 Результаты идентификации объектов контроля при натуральных опытах

Результаты экспериментов разработанного алгоритма представлены на рисунке 5.



Рисунок 5 – Автомобильная трасса (резкое изменение освещенности): фон (а), анализируемое изображение (б), результат идентификации (в)

Заключение

Разработанный алгоритм позволяет очень точно оценивать фон и обнаруживать объекты контроля при изменениях освещенности, что говорит о необходимости дальнейшей разработки алгоритмов идентификации с использованием статистических методов.

Список литературы

- [1] Stauffer C, Grimson WEL. Adaptive background mixture models for real-time tracking. IEEE International Conference on Computer Vision and Pattern Recognition 1999;2:246–52.
- [2] Elgammal A, Harwood D, Davis LS. Non-parametric model for background subtraction. European Conference on Computer Vision 2000; pp. 751–767.
- [3] Горячкин О.В. – Лекции по статистической теории систем радиотехники и связи // 2008. - с.48.

ЗАДАЧА ОПЕРАТИВНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ПЕРЕКАЧКИ НЕФТИ ПО МАГИСТРАЛЬНОМУ ТРУБОПРОВОДУ

А.Б. Филимонов¹, И.В. Некрасов²

¹Московский государственный университет приборостроения и информатики
107996, Москва, ул. Стромынка, 20, Россия
filimon_ab@mail.ru
тел: +7 (499) 268-00-01

²ОАО «Гипротрубопровод» (ДО ОАО «АК «Транснефть»)
119334, Москва, ул. Вавилова, 24, корп. 1, Россия
ivannekr@mail.ru
тел: +7 (495) 950-86-50, факс: +7 (495) 174-25-67

Ключевые слова: магистральный нефтепровод, перекачка нефти, система диспетчерского контроля и управления, задача оптимального планирования

Abstract

This paper discusses automation approaches in pipeline SCADA systems. The oil pipeline transit short-time scheduling problem and its SCADA aspects are considered. Also the main optimal planning strategies and optimization algorithms for pumping processes are analyzed.

Введение

Современные магистральные нефтепроводы (МН) на территории РФ оснащены автоматизированными системами диспетчерского контроля и управления (СДКУ). Спектр решаемых ими задач постоянно расширяется и в настоящее время включает в себя следующие основные направления [1]: управление перекачкой нефти, мониторинг состояния оборудования нефтепровода, выявление аварийных ситуаций, коммерческий учет качества и количества перекачиваемой нефти, поддержка принятия решений диспетчером. Дальнейшее развитие СДКУ МН идет в направлении усложнения их функциональной структуры и порождает новые задачи управления, требующие самостоятельных теоретических исследований.

В настоящей работе рассматривается задача оперативного планирования перекачки нефти по магистральному нефтепроводу и ее место в функциональной структуре СДКУ. Проанализированы основные существующие подходы к решению данной задачи.

1 Структура системы диспетчерского контроля и управления МН

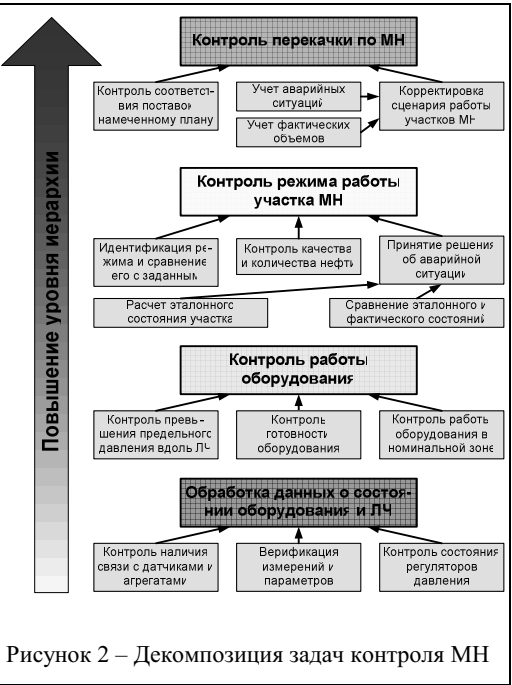
Магистральный нефтепровод представляет собой сеть нефтеперекачивающих станций (НПС) и резервуарных парков (РП), соединенных между собой трубопроводами. Задачи, возникающие при эксплуатации магистрального нефтепровода, распределены вдоль его трассы и решаются в его разных точках. Так, на нефтеперекачивающих станциях (НПС) кроме насосного оборудования расположены узлы учета количества и качества нефти, регуляторы давления, а также ряд вспомогательных систем [2, 3]. Вдоль линейной части (ЛЧ) МН располагаются контрольные пункты датчиков давления, а также управляемые задвижки аварийного перекрытия потока нефти. Локальные задачи контроля и управления на уровне отдельно взятой НПС или контрольной точки ЛЧ являются подзадачами общей задачи управления МН. В целом, система управления МН организована по иерархическому принципу [1, 2], а количество уровней опре-

деляется при проектировании индивидуально в зависимости от протяженности и сложности профиля трассы МН.

Основной задачей СДКУ МН является обеспечение надёжного контроля и управления технологическими процессами перекачки нефти и эксплуатации оборудования МН в реальном масштабе времени. В рамках данной задачи решается ряд подзадач [1]:

- оперативное планирование работы нефтепровода;
- контроль исполнения плановых технологических режимов;
- контроль показателей технологического процесса транспортировки нефти;
- оперативный учет качества и количества нефти;
- мониторинг состояния технологического оборудования НПС, РП и ЛЧ, средств локальной автоматизации и телемеханики.

Как известно [4], базовые функции автоматизированных информационно-управляющих систем делятся на три основных группы: *информационные, функции контроля и управляющие функции*. Схема декомпозиции задач контроля и управления рассматриваемой системы представлены на рисунках 1, 2. Информационные функции СДКУ МН не отличаются от стандартных задач SCADA-систем и более подробно представлены в [5].



2 Задача планирования перекачки. Обзор методов ее решения

Результатом решения задачи оперативного планирования перекачки нефти по МН является сценарий управления агрегатами в течение планируемого периода. В настоящее время идеология построения СДКУ МН основывается на принципах жесткого программного управления и сводится к контролируемому переводу нефтепровода из одного режима в другой согласно заданной карте режимов, а также стабилизации текущего режима [2, 3]. На базе введения какого-либо критерия эффективности возможна постановка задачи оптимального планирования транспортировки нефти по МН.

Транспортная задача оптимизации режимов перекачки

Задача оптимального планирования перекачки с критерием минимизации транспортных затрат решена в одной из наиболее ранних работ данного направления [6] путем сведения к многоэтапной транспортной задаче. Кратко изложим упрощенную постановку задачи в [7] применительно к транспортировке посредством трубопровода.

Пусть заданы множества поставщиков $A = \{a_i, i = 1 \dots M\}$ и потребителей $B = \{b_j, j = 1 \dots N\}$ нефтепродукта, соединенных между собой сетью трубопроводов $G = \{g_{ij}\}$, каждый участок которой g_{ij} характеризуется своей максимальной пропускной способностью F_{ij} и стоимостью перекачки $C_{ij} > 0$ (см. рисунок 3). Общее количество поставщиков и потребителей равно M и N соответственно.



Рисунок 3 – Схема транспортировки нефти от поставщиков потребителям

Введем обозначения:

- $X = \{x_{ij}\}$ – текущие объемы перекачки по каждой ветке трубопровода;
- $X = \{x_{ij}\}$ – текущие объемы перекачки по каждой ветке трубопровода;
- $S = \{s_i\}, i = 1 \dots M$ – объемы поступления нефтепродукта от каждого поставщика;
- $D = \{d_j\}$ – потребности каждого потребителя, $j = 1 \dots N$.

Задача оптимальной перекачки может быть сформулирована следующим образом: выбрать текущие объемы перекачки по всем веткам трубопровода x_{ij} таким образом, чтобы обеспечить заданные потребности каждого потребителя нефтепродукта d_j за счет имеющихся объемов поставки s_i , минимизировав суммарные затраты на транспортировку. Формализация данной задачи:

- (1) $d_j = \sum_{i=1}^M x_{ij}, \quad j = \overline{1, N};$
- (2) $s_i = \sum_{j=1}^N x_{ij}, \quad i = \overline{1, M};$
- (3) $0 \leq x_{ij} \leq F_{ij};$
- (4) $\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N C_{ij} \cdot x_{ij} \rightarrow \min.$

Рассматриваемая задача планирования перекачки традиционно используется при формировании карты режимов работы нефтепровода. Одной из наиболее ранних работ этого направления является [6]. Конкретные постановки данной задачи отличаются, в основном, критерием оптимизации (4). Наиболее распространенным критерием оптимизации процесса транспортировки нефти и нефтепродуктов по МН является **минимум энергопотребления оборудования**. В России исследования по снижению объемов энергии, затрачиваемых на перекачку, были

начаты в конце 60-х годов XX века во ВНИИОЭНГ, а также во ВНИИКАНЕФТЕГАЗ. Основные результаты оптимизации режимов работы МН по критерию энергосбережения, полученные в период 70-х годов, представлены в [8-11]. Методы оптимизации режимов работы МН по критерию минимума расходуемой энергии развиваются и на современном этапе. В частности, синтез оптимального режима перекачки по критерию *максимизации КПД* работающего оборудования исходя из заданного расхода и ограничений по предельному давлению проведен в [12] на основе генетического алгоритма. В работе [13] в качестве критерия оптимизации режима принята *равномерность распределения давления* вдоль трубопровода; поиск решения осуществлен методом перебора.

Задача оперативного планирования перекачки с учетом карты режимов

МН функционирует в строгом соответствии с рассчитанной картой режимов. Согласно современным правилам эксплуатации остановки МН с целью регулирования его производительности запрещены [2, 3]. В связи с этим возникает *задача комбинирования режимов* работы МН в процессе перекачки [14] с целью достижения заданных плановых показателей по производительности в условиях непрерывной работы МН. Формализация задачи аналогична (1)-(4) с дополнительными *условиями непрерывности перекачки* по участкам нефтепровода.

Пусть имеется карта режимов работы МН $R = \{r_i, i = 1 \dots L\}$, насчитывающая L режимов перекачки, каждый из которых характеризуется своим значением производительности q_i ($\text{м}^3/\text{с}$). Исходя из требуемого объема поставок Q (м^3) за отчетный период T (с), необходимо найти оптимальный в смысле некоторого критерия J сценарий переключений нефтепровода между режимами карты. Как правило, сценарий работы МН задается последовательностью отрезков времени $t_i, i = 1 \dots K$, соответствующих непрерывному функционированию нефтепровода на каждом режиме. Математическая постановка задачи:

$$(5) \quad \sum_{i=1}^K t_i = T ;$$

$$(6) \quad \sum_{i=1}^K q_i t_i = Q ;$$

$$(7) \quad q_i \in R, \quad i = \overline{1, K} ;$$

$$(8) \quad \begin{aligned} J &= J(t_i, q_i) \rightarrow \min; \\ J &= J(t_i, q_i) \rightarrow \min. \end{aligned}$$

Оптимизация перекачки всегда ведется на заранее рассчитанных режимах работы нефтепровода. Задача (5)–(8) является задачей математического программирования [15]. В [14] она сформулирована относительно критерия минимизации расхода электроэнергии:

$$(9) \quad J = \sum_{i=1}^L p_i t_i \rightarrow \min ,$$

где p_i , – энергопотребление режимов.

Решение в [14] найдено *методом перебора* значений временных отрезков $t_i, i = 1 \dots K$. Аналогичная задача решена в [16] в терминах *классического вариационного исчисления*. При этом критерий (8) приведен к интегральному виду, характерному для классической задачи Лагранжа с ограничением суммарной мощности:

$$J = \int_0^T \frac{H(t) \cdot a(t)}{v(t)} dt \rightarrow \min ;$$

$$\int_0^T H(t) dt = C > 0,$$

где H – потребляемая мощность оборудования, α – функция стоимости потребления, ν – КПД.

Представленные в [14, 16] алгоритмы, обладая такими достоинствами, как ясность постановки задачи и простота реализации вычислений, имеют ряд недостатков, связанных, прежде всего, с их высокой вычислительной трудоемкостью.

3 Современные алгоритмы оптимального планирования перекачки

Разработка эффективных методов решения задачи (5)–(8) в различных вариациях в настоящее время является важнейшей задачей управления МН. Работы по указанной тематике ведутся в трех основных направлениях.

В работе [12] предложен *генетический алгоритм* решения задачи оперативного планирования. Имея базовое решение задачи планирования перекачки, а также ограничения по минимальным и максимальным давлениям, автор формирует задачу поиска оптимального сочетания настроечных параметров работы оборудования нефтепровода.

Анализ задачи (5)–(8), как *задачи о максимальном потоке через сеть*, также является одним из основных направлений, разрабатываемых, в частности, в [17]. В указанной работе задача о потоке нефти по трубопроводу решена с использованием стандартного *алгоритма Голдберга* (алгоритм «Проталкивания предпотока»), который является одним из наиболее быстрых алгоритмов решения данной задачи вследствие его наибольшей пригодности к организации *распараллеленных вычислений*. Также, широкое применение находят классические *методы теории графов* [18]. При условии замены использованного в [18] критерия минимальности длины трубопровода на функцию стоимости (или потерь), она может быть переформулирована для нужд планирования перекачки по уже проложенному маршруту.

Перспективы развития методов оптимального планирования перекачки нефти по МН

Рассмотренные выше алгоритмы предназначены для оптимизации перекачки по какому-либо единственному критерию. При дальнейшем развитии подходов оптимального планирования целесообразно рассмотреть возможность *многокритериальной оптимизации режимов перекачки нефти* по МН [20]. В качестве возможных сочетаний критериев могут быть использованы произвольные сочетания таких критериев, как минимум энергопотребления, равномерность распределения давления нефти вдоль трассы, максимальная надежность, максимальный КПД оборудования, минимум отклонения от запланированного режима, максимальный объем перекачки, минимум избыточного давления в МН и пр.

В настоящее время, развитие управляющих систем для магистральных нефтепроводов идет по пути максимальной автоматизации технологического процесса и *минимизации участия человека* в нем [1]. На базе современных средств вычислительной техники и телекоммуникаций различные подсистемы автоматизации контроля и управления МН объединяются в единое информационное пространство, что позволяет решать локальные разнородные задачи в рамках общей стратегии управления трубопроводом. В этих условиях становится актуальной *проблема оптимального оперативного планирования перекачки в реальном масштабе времени*. В силу сложности реальных задач планирования современные подходы к их решению не могут разрабатываться вне методологии *искусственного интеллекта* [19], причем здесь наибольшие перспективы авторы связывают с *применением агентных технологий* [4].

Заключение

Проблема оптимального планирования транспортировки нефти по магистральным нефтепроводам имеет важное народнохозяйственное значение. В статье проведен обзор современно-

го состояния этой проблемы, а также проанализированы возможности существующих подходов к ее решению. Рассмотрены новые направления исследования данной проблемы, которые могут представлять практический интерес для нефтяной отрасли.

Список литературы

- [1] Кутуков С.Е. Информационно-аналитические системы магистральных трубопроводов. – Уфимский ГНТУ. – М: Изд-во «СИП РИА», 2002. – 202 с.
- [2] Васильев Г.Г., Коробков Г.Е., Коршак А.А. и др. Трубопроводный транспорт нефти / Под ред. С.М.Вайнштока. Т. 1. – М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2006. – 407 с.
- [3] Алиев Л.А., Белоусов В.Д., Немудров А.Г. и др. Трубопроводный транспорт нефти и газа. Парадигмы. – М.: Изд-во «Недра», 1988. – 368 с.
- [4] Теряев Е.Д., Петрин К.В., Филимонов А.Б., Филимонов Н.Б. Агентные технологии в автоматизированных информационно-управляющих системах. Ч. II. Агентные решения в задачах контроля и управления // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2010. – № 10. – С. 11–21.
- [5] Андреев Е.Б., Куцевич Н.А., Синенко О.В. SCADA-системы: взгляд изнутри. – М: Изд-во «РТСофт», 2004. – 176 с.
- [6] Шилин Ю.И., Мороз П.А. К постановке задач об оптимальном управлении магистральным нефтепроводом, работающим в режиме «из насоса в насос» // Нефтяное хозяйство. – 1966. – № 1. – С. 13-14.
- [7] Калика В.И., Митрофанова Л.В. Оптимизация перевозок нефтепродуктов несколькими видами транспорта с учетом последовательной перекачки их по продуктопроводу // Транспорт и хранение нефти и нефтепродуктов. – 1968. – № 2. – С.27-32.
- [8] Стакун А.В., Мороз П.А. Решение одной задачи оптимального управления нефтепроводом // Вычислительные методы и программирование. – 1967. – Вып. 9.
- [9] М.В. Мееров, В.Г. Фридман, Л.Г. Щепетков. Метод оптимизации плана перекачки для нефтепровода // Транспорт и хранение нефти и нефтепродуктов. – 1970. – № 12.
- [10] Вязунов Е.В. Оптимальное планирование последовательной перекачки различных нефтепродуктов по магистральному трубопроводу // Нефтяное хозяйство. – 1972. – № 9. – С. 13-14.
- [11] Вязунов Е.В., Голосовкер В.И., Щепетков Л.Г. Оптимальное управление нефтепроводом и оценка его эффективности // Нефтяное хозяйство. – 1974. – № 5.
- [12] Гусев Ю.М., Гафаров Р.Р., Данилин О.Е. Оптимизация работы участка магистрального нефтепровода на основе генетического алгоритма // Вестник Уфимского ГАТУ. – 2008. – Т. 11, № 1(28). – С. 43-52.
- [13] Чепурной О.В., Файзуллин Р.Т. Поиск оптимальных технологических режимов работы многоветочного нефтепровода // Омский научный вестник – 2009. – № 77-1. – С. 66-70.
- [14] Носиков Н.А., Василькин Н.Н. Методика расчета энергопотребления и оптимизация режима работы нефтепровода // Вестник Самарского ГТУ. Сер. Технические науки. – 2007. – № 1(19). – С. 141-145.
- [15] Карманов В.Г. Математическое программирование. – М.: Наука, 1986. – 288 с.
- [16] Жихалкина Н.Ф., Файзуллин Р.Т. Задача минимизации суммарных затрат по транспортировке нефтепродуктов // Сибирский журнал индустриальной математики. – 2002. – Т. 5, № 1. – С. 63-73.
- [17] Русакова О.Л., Черноземова Н.А. Решение задачи о максимальном потоке через сеть (оптимизация временных затрат) // Вестник Пермского Университета. Сер. Математика. Механика. Информатика. – 2010. – № 2(2). – С. 64-69.
- [18] Акиндинов В.А., Фролов А.Е. Использование методов теории графов для выбора оптимальных маршрутов перекачки газо-жидкостной смеси в условиях морских месторождений // Нефтяное хозяйство. – 2005. – № 6. – С. 22-23.
- [19] Люггер Д.Ф. Искусственный интеллект. Стратегии и методы решения сложных проблем. – М.: Изд. дом «Вильямс», 2003. – 864 с.
- [20] Оразбаев Б.Б., Муханбеткалиева А.К. Задачи и методы многокритериального выбора оптимальных режимов работы объектов нефтепровода. – Алматы: Изд-во «Эверо», 2007. – 147 с.

КЛАСТЕРНЫЙ МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ РАДИАЛЬНЫХ И ОСЕВЫХ СМЕЩЕНИЙ ТОРЦОВ ЛОПАТОК С УМЕНЬШЕНИЕМ ВЛИЯНИЯ НЕКОТОРЫХ МЕШАЮЩИХ ФАКТОРОВ

Л.Б. Беленький, М.М. Кутейникова, Б.К. Райков, Ю.Н. Секисов, О.П. Скобелев

Институт проблем управления сложными системами РАН

443020, Самара, ул. Садовая, 61, Россия

kuteynikova@iccs.ru

тел: +7 (846) 333-26-77, факс: +7 (846) 333-27-70

Ключевые слова: компрессор и турбина ГТД, форма торца лопатки, мешающие факторы, радиальные и осевые смещения, распределенный кластер

Abstract

The aim of the study is to describe a cluster method for measuring the radial and axial displacements. This method eliminates needs for synchronization of receiving informative signals from rotated blade wheel and measuring its period. Also, method decreases the influence of blades curvature and the shape of the face of blades. This paper describes method, features of obtaining calibration curves and the results of experimental testing of its efficiency.

Введение

Известны компьютеризированные системы измерения радиальных зазоров (РЗ) между торцами лопаток и статорными оболочками, предназначенные для стендовых испытаний ГТД, на основе одновитковых вихретоковых датчиков (ОВТД) с чувствительными элементами (ЧЭ) в виде отрезка проводника. В этих системах принят ряд серьезных допущений. В частности, предполагалось, что смещения торцов лопаток происходят только в одном радиальном направлении, а изгибные и угловые деформации пера лопаток, а также осевые смещения лопаточного колеса отсутствуют [1].

Однако в реальных условиях торцы лопаток совершают сложное многомерное движение и смещение в радиальном направлении, от которого зависит РЗ, является лишь одной из координат, а для получения достоверной информации о РЗ с помощью ОВТД необходима информация об остальных координатных составляющих.

Следует также отметить и допущение об отсутствии деформаций статорной оболочки, на которой крепятся ОВТД. В то же время наличие неучтенных деформаций является причиной дополнительных потерь в достоверности искомого значения РЗ.

Иначе говоря, если поставлена задача получения информации о РЗ (именно так она формулируется в большинстве экспериментальных исследований ГТД, а также в системах управления двигателями нового поколения [2]), то деформации статорной оболочки и смещения торцов лопаток в направлении вращения и в осевом направлении, а также их угловые смещения следует рассматривать как мешающие факторы (МФ). Поэтому итогом последующих исследований стала разработка методов получения информации о координатах смещений торцов лопаток, а также о деформациях статорной оболочки.

Отличительной особенностью таких методов является применение кластеров ОВТД с определенной ориентацией и различным размещением ЧЭ относительно торцов лопаток, причем число ОВТД в кластере должно быть равным числу искоемых координат смещений, а получение информации о деформациях статорной оболочки требует равномерного размещения четырех таких кластеров в заданной плоскости ее сечения [1,3,4].

Применительно к системам измерения РЗ (радиальных смещений торцов лопаток), разработанные методы обеспечивают снижение влияния МФ, а иногда и их полное устранение. Вместе с тем, применение этих методов обеспечивает разработчиков ГТД дополнительной и значимой информацией о деформациях статорной оболочки и поведении остальных координат смещения торцов лопаток не только в рабочих, но и экстремальных условиях.

Продолжая тему МФ, необходимо подчеркнуть, что кластерные методы предусматривают получение цифрового кода, соответствующего индуктивностям ЧЭ датчиков, в момент прохождения замком каждой лопатки геометрического центра (г.ц.) или виртуального г.ц. кластера [4], а для выполнения этой операции требуется датчик синхронизации и периода вращения («мгновенной скорости»), что, как правило, связано с серьезными трудностями не только технического, но и организационного характера, о чем свидетельствует многолетний опыт стендовых испытаний ГТД. Действительно, экспериментаторы обычно стремятся установить на валу «метку» и использовать датчик частоты вращения (ДЧВ) промышленного изготовления. Технические трудности возникают при поиске места установки «метки» и выполнении условий функционирования ДЧВ, которые, в частности, предусматривают ограничение по температуре среды, окружающей ДЧВ. Организационные трудности возникают практически всегда при попытках «внедрения» в двигатель нештатных датчиков и датчик синхронизации на основе ДЧВ не является исключением. В совокупности и те и другие трудности препятствуют реализации кластерных методов и далее рассматриваются как дополнительный МФ (МФ1).

Кроме того, необходимо отметить, что существующие кластерные методы и средства в основном ориентированы на применение в компрессорах с лопатками, кривизна поверхности пера которых в торцевой части сравнительно невелика и не оказывает существенного влияния на полученные результаты.

В то же время в существующих и новых разработках турбин применяются лопатки, кривизна поверхности которых в их торцевой части может быть значительно выше. При этом сечение плоскостью перпендикулярной оси одного из возможных конструктивных вариантов турбинной лопатки демонстрирует существенно расширенную головную и суженную вытянутую хвостовую части. Сечение же плоскостью параллельной ее оси в торцевой части имеет вид буквы «U» с переменной шириной в зависимости от местоположения плоскости сечения. Такая кривизна и форма сечений также являются МФ (МФ2), причем их воздействие не ограничивается снижением достоверности полученных данных, но и может поставить под сомнение работоспособность ранее разработанных методов.

В настоящей работе предлагается кластерный метод измерения радиальных и осевых смещений торцов лопаток, в котором отпадает необходимость в синхронизации и измерении периода вращения (устраняется один из дополнительных МФ – МФ1), а также уменьшается влияние кривизны и формы поверхности торцевой части турбинной лопатки (МФ2). Приводится описание предлагаемого метода, рассматриваются особенности получения семейства градуировочных характеристик (ГХ) и результаты экспериментальной проверки работоспособности метода.

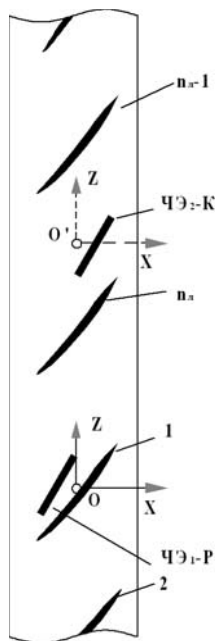


Рисунок 1 – Лопаточное колесо, размещение ЧЭ в РК ОВТД

1 Предлагаемый метод

Метод предусматривает использование распределенного кластера (РК) из двух ОВТД с ЧЭ в виде отрезка проводника, как и

существующий метод измерения радиальных и осевых смещений торцов лопаток (y , x - координат)[4].

На рисунке 1 изображены рабочее колесо компрессора с лопатками под номерами 2, 1, n_d , $n_d-1, \dots$, кривизна поверхностей которых сравнительно невелика, рабочий и компенсационный ЧЭ ОБТД (ЧЭ1-Р, ЧЭ2-К) на первом этапе работы метода, а также г.ц. в точке О и в.г.ц. в точке О', смещенные друг от друга на $1,5\Delta\Psi_d$, где $\Delta\Psi_d$ – угловой шаг установки замков лопаток, и система отсчета координат смещений (начала – в точках О и О').

В существующем методе фиксация индуктивности ЧЭ1-Р производится в строго определенный момент времени (t_0), когда замок контролируемой лопатки (например, первой (1)) проходит г.ц. О (что обеспечивается, как уже отмечалось, применением датчика синхронизации и измерением периода вращения). На втором этапе (он на рисунке 1 не показан) ЧЭ изменяют свои функции на противоположные (ЧЭ2-Р, ЧЭ1-К) и фиксация индуктивности ЧЭ2-Р производится в момент прохождения замком той же лопатки (1) в.г.ц. О' ($t_{0'}$) (рисунок 2).

В предлагаемом методе (в отличие от существующего) производится фиксация минимальных значений индуктивностей рабочих ЧЭ (L_{1min} и L_{2min}) в моменты времени t_{1min} и t_{2min} , когда торцы лопаток проходят ЧЭ₁ и ЧЭ₂ (а не точки О и О' – г.ц. и в.г.ц. РК соответственно). Именно эта отличительная особенность предлагаемого метода позволяет отказаться от синхронизации и измерения периода вращения лопаточного колеса – обязательных операций в существующем методе.

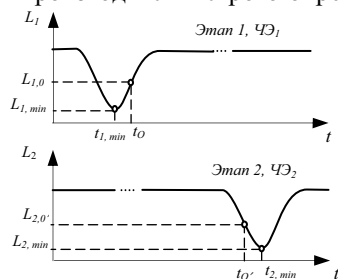


Рисунок 2 – Эпюры изменений индуктивностей L_1 и L_2 во времени

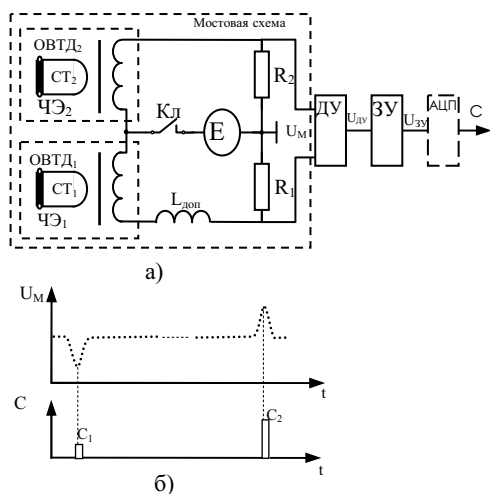


Рисунок 3 – Измерительная цепь (а) и временные диаграммы измерений напряжений и кодов для контролируемой лопатки (б)

Вместе с тем, предлагаемый метод предусматривает использование той же измерительной цепи (ИЦ), что и существующий [5] (рисунок 3,а). ИЦ содержит неравновесный мост с датчиками ОБТД₁ и ОБТД₂ (ЧЭ₁, ЧЭ₂) в смежных плечах, согласующие трансформаторы (СТ₁, СТ₂), резисторы (R_1 и R_2), источник импульсного питания (формируемый ключом (Кл) в цепи источника постоянного напряжения E), дифференцирующий усилитель (ДУ)¹, запоминающее устройство (ЗУ) и АЦП на выходе. Для получения однополярного напряжения на выходе моста (U_m) в плечо с датчиком ОБТД₁ включена дополнительная катушка индуктивности ($L_{доп}$). При этом значениям индуктивности L_{1min} и L_{2min} соответствуют экстремальные значения напряжений U_m и $U_{ДУ}$, а также кодов C_1 и C_2 (рисунок 3,б), которые, будучи подставлены в семейства ГХ, полученные экспериментально для каждого из датчиков, $C_1=f(x,y)$ и $C_2=f(x,y)$,² путем решения системы уравнений позволят вычислить искомые координаты x и y (РЗ) как для контролируемой лопатки, так и для остальных n_d-1 лопаток.³

¹ В ИЦ реализуется известный метод первой производной [1]

² Особенности получения семейства ГХ рассматриваются ниже в разделе 3

³ Предполагается, что период повторения импульсов питания очень мал (до 10^{-6} с), поэтому на временных диаграммах напряжения U_m и $U_{ДУ}$ показаны точками с малым шагом, а коды АЦП представлены для одной из контролируемых лопаток (1)

Предлагаемый метод сохраняет работоспособность при использовании РК ОВТД для измерения x, y – координат смещений торцов лопаток не только в компрессоре, но и в турбине с учетом специфических особенностей лопаток. Вид торцевой части турбинной лопатки со стороны статорной оболочки, а также сечения плоскостями, параллельными оси лопатки (А и Б), изображены на рисунке 4.

Если бы ЧЭ₁ и ЧЭ₂ РК ОВТД размещались относительно турбинной лопатки так, как показано на рисунке 1, то прохождение торцом контролируемой лопатки рабочих ЧЭ сопровождалось бы «двоением» минимальных значений индуктивностей L_{1min} и L_{2min} , т.е. появлением W-образных минимумов вместо V-образных, изображенных на рисунке 2 для контролируемой лопатки.

Чтобы уменьшить влияние кривизны и формы поверхности в торцевой части турбинной лопатки, ЧЭ₁ и ЧЭ₂ сдвигают в сторону ее хвостовой части (с меньшей толщиной), а также разворачивают ЧЭ₁ и ЧЭ₂ относительно собственных центров и хвостовой части лопатки (рисунок 5).

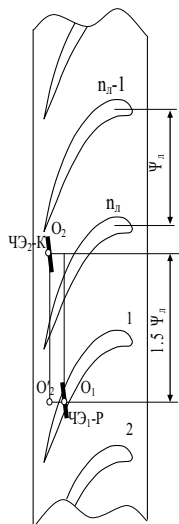


Рисунок 5 – Размещение ЧЭ в РК ОВТД и лопаточное колесо турбины

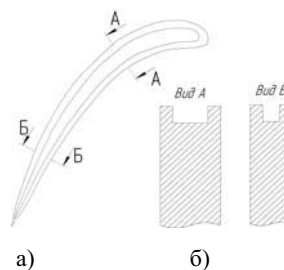


Рисунок 4 – Вид турбинной лопатки со стороны статорной оболочки (а) и ее сечения (увеличено) (б)

Чтобы уменьшить влияние кривизны и формы поверхности в торцевой части турбинной лопатки, ЧЭ₁ и ЧЭ₂ сдвигают в сторону ее хвостовой части (с меньшей толщиной), а также разворачивают ЧЭ₁ и ЧЭ₂ относительно собственных центров и хвостовой части лопатки (рисунок 5). Угол разворота определяется экспериментально и зависит от конструктивных разновидностей и особенностей турбинных лопаток (для лопаток, представленных на рисунках 4 и 5, он составляет около 30 градусов).

При этом угловое расстояние между центрами ЧЭ₁ и ЧЭ₂ (О₁ и О₂) – составляет 1,5ΔΨл, т.е. остается тем же, что и расстояние между г.ц. на рисунке 1 (точки О и О'), при сохранении параллельности ЧЭ₁ и ЧЭ₂.

Разумеется, перепады минимальных значений индуктивностей, равно как и экстремальных значений кодов С₁ и С₂ уменьшаются, но они могут компенсироваться повышением чувствительности ИЦ.

2 Особенности экспериментального получения семейств градуировочных характеристик

Для получения семейств ГХ используется специально разработанная установка, содержащая градуировочное устройство, два ОВТД, преобразователь (Пр), включающий ИЦ с неравновесным мостом и импульсным питанием, ДУ, ЗУ (рисунок 3), многофункциональную плату ввода-вывода аналоговой и дискретной информации Е20-10 (фирмы L-Card) с АЦП и ПЭВМ (рисунок 6,а).

В градуировочном устройстве предусмотрено трехкоординатное перемещение лопатки, контролируемое механическими индикаторами (с разрешающей способностью 0,01 мм) относительно ОВТД, размещаемого в одном из двух установочных отверстий, выполненных в неподвижной платформе, имитирующей статорную оболочку. Платформа выполнена в расчете на конкретную турбинную лопатку, и расстояние между центрами установочных отверстий О₁ и О'₂ (рисунок 6, б и в) соответствует расстоянию между параллельными прямыми, проходящими через центры ЧЭ₁ и ЧЭ₂ в РК ОВТД на рисунке 5. Также на рисунке 6, б и в изображена система отсчета, начало которой (точка О) находится на равном расстоянии от точек О₁ и О'₂⁴. Если рабочим является ОВТД₁ и снимается его ГХ, то его тоководы размещаются в установочное отверстие с центром в точ-

⁴ Диаметры установочных отверстий 10 мм.

ке O_1 (справа от точки O'_2 на рисунке 6,б). При этом ОВТД₂, выполняющий компенсационные функции, выводится из зоны электромагнитного взаимодействия с лопаткой.

Если рабочим является ОВТД₂ и снимается его ГХ, то его тоководы размещаются в установочное отверстие с центром в точке O'_2 (слева от точки O_1 , рисунок 6,в), а ОВТД₁ выполняющий компенсационные функции на рисунке 6,в – не показан.

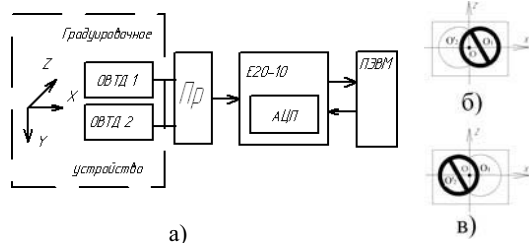


Рисунок 6 – Установка для получения семейства ГХ (а), установочные отверстия для датчиков – ОВТД1(б) и ОВТД2(в)

движение лопатки в направлении оси Z , что позволяет вести градуировку в автоматизированном режиме, сокращающем длительность получения семейств ГХ.

На рисунке 7 представлены семейства ГХ РК (ОВТД₁ и ОВТД₂). Они показывают возможность измерения координаты y в диапазоне от 0,4 до 2,0 мм, а координаты x в диапазоне от

Отличительная особенность процедуры получения каждого из семейств ГХ в предлагаемом методе состоит в том, что при статичных значениях выбранных координат x и y осуществляется движение лопатки в направлении координатной оси Z для обнаружения минимумов индуктивностей и фиксации соответствующих экстремальных значений кодов в момент обнаружения.

В перспективе для удобства этой процедуры градуировочная установка может быть сконструирована таким образом, чтобы обеспечивалось вращательное или колебательное

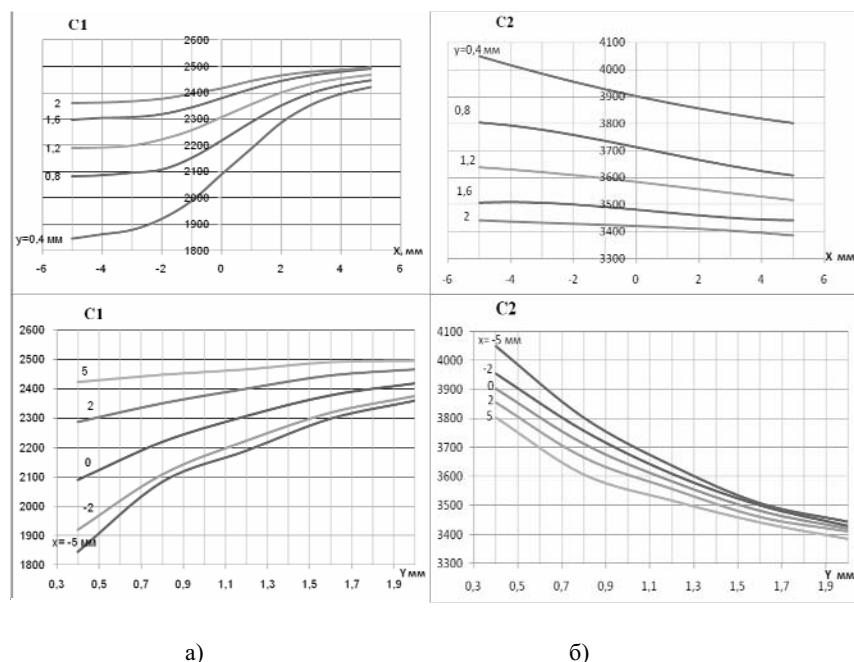


Рисунок 7 – Семейство ГХ $C_1=f_1(x,y)$ (а), и $C_2=f_2(x,y)$ (б)

-5 до +5 мм. Можно предположить, что столь широкий диапазон изменения координаты x связан с изменением толщины турбинной лопатки в хвостовой части, где расположены ЧЭ₁ и ЧЭ₂.

Заключение

Предложен метод измерения радиальных и осевых смещений торцов лопаток как в компрессоре, так и в турбине, в котором нет необходимости в использовании синхронизации и измерений периода вращения лопаточного колеса, что достигается фиксацией минимальных значений индуктивностей ЧЭ ОБТД и соответствующих экстремальных значений кодов на выходе ИЦ. Вместе с тем, отсутствие «метки» и датчика синхронизации не влияет на общую картину полученных результатов измерения координат смещений x и y (РЗ) по всем лопаткам рабочего колеса. При этом в полученных результатах всегда наблюдается разброс РЗ, а, следовательно, минимальные или максимальные значения РЗ на некоторых лопатках. К одной из таких лопаток, как к «метке», могут быть «привязаны» данные по всем остальным лопаткам. Не исключено также искусственное увеличение РЗ на одной из лопаток, т.е. уменьшение ее длины, что равнозначно введению необходимой «метки».

Предлагаемый метод обеспечивает также уменьшение влияния кривизны и формы поверхности лопатки, что достигается смещением ЧЭ обоих датчиков РК в сторону хвостовой ее части и развороту ЧЭ относительно собственных центров и лопатки.

На специально разработанной градуировочной установке с установленной на координатном устройстве турбинной лопаткой получено семейство ГХ и подтверждена работоспособность предлагаемого метода сравнением координат x и y в нескольких контрольных точках, заданных в пределах диапазонов изменений обеих координат, с расчетными значениями, найденными с помощью полученных ГХ. Наибольшее расхождение по координатам y , x не превышало 4% (от соответствующих диапазонов изменений).

Список литературы

- [1] Методы и средства измерения многомерных перемещений элементов конструкций силовых установок /под ред. Секисова Ю.Н., Скобелева О.П. - Самара: Самарский НЦ РАН, 2001, 188 с.
- [2] J. DeCastro, K. Melcher A Study on the Requirements for Fast Active Turbine Tip Clearance Control Systems // 40th AIAA/ASME/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference and Exhibit, Fort Lauderdale, Florida, July 11-14, 2004
- [3] Боровик С.Ю., Райков Б.К., Секисов Ю.Н., Скобелев О.П. Метод получения информации о деформациях статора, радиальных зазорах, смещениях его центра и биениях ротора// Проблемы управления и моделирования в сложных системах: Труды X Международной конференции. Самара: Самарский НЦ РАН, 2008 с.298-304.
- [4] Беленький Л.Б., Боровик С.Ю., Логвинов А.В., Райков Б.К., Секисов Ю.Н., Скобелев О.П., Тулупова В.В. Методы измерения смещений торцов лопаток в компрессорах и турбинах на основе распределенных кластеров датчиков. Часть 1. Обоснование предлагаемых методов и их описание. // Мехатроника, автоматизация, управление. - № 4. - 2009.
- [5] Беленький Л.Б., Боровик С.Ю., Логвинов А.В., Райков Б.К., Секисов Ю.Н., Скобелев О.П., Тулупова В.В. Методы измерения смещений торцов лопаток в компрессорах и турбинах на основе распределенных кластеров датчиков. Часть 2. Реализуемость методов // Мехатроника, автоматизация, управление. - № 5. - 2009.
- [6] Беленький Л.Б., Боровик С.Ю., Райков Б.К., Скобелев О.П. Систематизация и классификация групповых измерительных цепей одновитковых вихретоковых датчиков // Проблемы управления и моделирования в сложных системах: Труды XII Международной конференции. Самара: Самарский НЦ РАН, 2010 с.328-335.

ЭЛЕКТРОННЫЙ АНАЛОГ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ЦЕПИ В ВИДЕ МОСТА БЛУМЛЕЙНА С ОДНОВИТКОВЫМИ ВИХРЕТОКОВЫМИ ДАТЧИКАМИ

Л.Б. Беленький, О.П. Скобелев

Институт проблем управления сложными системами РАН

443020, Самара, ул. Садовая, 61, Россия

belenki@iccs.ru

тел: +7 (846) 333-26-77, факс: +7 (846) 333-27-70

Ключевые слова: измерительная цепь, одновитковый вихретоковый датчик, преобразователь ток – напряжение, дифференциатор напряжения, накопление и рассеяние энергии, моделирование, оценки быстродействия

Abstract

Measuring circuit with active and compensation eddy current single coil sensors is studied. This circuit involves power supply with square wave signal, converter current – voltage and differentiator as well. It is an electronic analogue of Blumlein's bridge. By means modeling energy's accumulation and leakage and quick-action of measuring circuit are analyzed.

Введение

Как известно, в измерительных цепях (ИЦ) с одновитковыми вихретоковыми датчиками (ОВТД), предназначенными для измерения координат смещений торцов лопаток в компрессорах и турбинах ГТД (в том числе и радиальных зазоров (РЗ)), используется так называемый метод первой производной (ПП). Метод предусматривает подачу прямоугольного импульса питания на ИЦ с датчиком и фиксацию производной тока в момент подачи питания, то есть в тот момент времени, когда изменения индуктивности ОВТД, связанные с РЗ, имеют наибольшую величину, которая уменьшается по мере проникновения вихревых токов в торцевую часть лопатки [1].

На начальных этапах реализация метода ПП осуществлялась в ИЦ в виде моста Блумлейна. В два смежных его плеча включались рабочий и компенсационный ОВТД, а в остальные плечи – две катушки с тесной магнитной связью. Это обеспечивало практически нулевое входное сопротивление для токов в датчиках при подаче в диагональ питания прямоугольного импульсного напряжения, а также получение в другой диагонали напряжения, соответствующего производной разности токов, протекающих через датчики. При этом производная в момент подачи питания определялась изменениями индуктивности рабочего ОВТД. Разумеется, паразитные параметры ИЦ, в частности, собственные емкости ОВТД и катушек сдвигали фиксируемый максимум производной к моменту времени $t_m > 0$, но время t_m составляло при этом 0.1% - 1% от постоянной времени ОВТД (а, следовательно, и постоянной времени ИЦ) [2].

Очевидный недостаток моста Блумлейна – это наличие моточных элементов – катушек, выполняющих операцию дифференцирования токов. Поэтому на фоне бурного развития электронной элементной базы (в том числе операционных усилителей (ОУ)) в последние годы практически остановились работы по совершенствованию ИЦ на основе мостов Блумлейна.

На сегодняшний день все существующие ИЦ построены на электронной элементной базе и включают неравновесные мосты на входе и ОУ в режиме дифференцирования напряжения, причем как в рабочем, так и в компенсационных плечах моста последовательно с ОВТД включены резисторы, с которых снимается выходное напряжение моста для последующего дифференцирования [3]. Сопротивление этих резисторов, как правило, многократно превышает оми-

ческое сопротивление ОВТД. Поэтому максимум производной фиксируется в момент времени (t_m), который может оказаться соизмеримым с постоянной времени, определяемой индуктивностью ОВТД и указанным резистором, что в принципе противоречит методу ПП.

В настоящей статье предлагается электронный аналог ИЦ в виде моста Блумлейна. Особенность предлагаемой цепи состоит в том, что токи в ОВТД (при аналогичном питании) и постоянные времени сохраняются примерно теми же, что и в мосте Блумлейна благодаря применению преобразователя ток – напряжение с последующим дифференцированием напряжения. Путем моделирования такой ИЦ исследуются процессы накопления и рассеяния энергии и оценивается ее быстродействие для гипотетических и реально существующих характеристик ОУ.

Идеализированная измерительная цепь

Метод ПП иллюстрирует эквивалентная схема идеализированной ИЦ, включающая источник питания и ОВТД, представленный эквивалентными RLC-параметрами, (рисунок 1) [1].

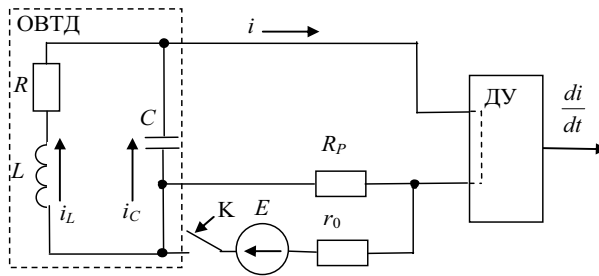
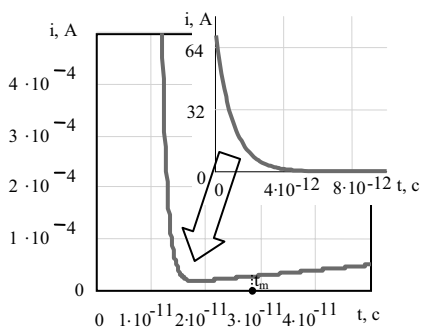


Рисунок 1 – Эквивалентная схема идеализированной ИЦ

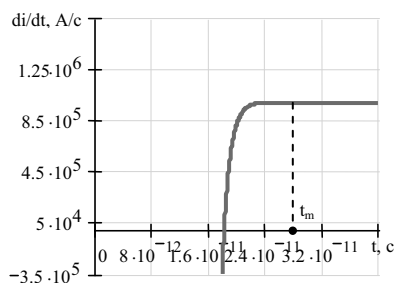
При замыкании ключа К в ИЦ начинается процесс накопления энергии. В неразветвленной части ИЦ протекает ток i , представляющий собой сумму токов i_L и i_C ($i = i_L + i_C$). Здесь и далее в графическом виде приводятся результаты моделирования изменения токов во времени и их производных, полученные в среде Mathcad при значениях $E = 7$ В, $r_0 = 0.1$ Ом, $L = 7$ мкГн, $C = 10$ пФ, $R = 0.1$ Ом. В начале переходного процесса (рисунок 2 а) наблюдается кратковременный всплеск, обусловленный емкостью ОВТД. Производная, соответствующая этому всплеску, отрицательна и не несет информации об индуктивности ОВТД, а информационным является максимум производной di/dt (рисунок 2 б), которому соответствует момент времени $t_m = 28 \cdot 10^{-12}$ с (он находится в области переходного процесса, в которой определяющим является влияние параметра L датчика).

Максимум производной в момент времени $t_m \left(\left. \frac{di}{dt} \right|_{\max} \right)$ фиксируется и с этого момента

производится рассеяние энергии в ИЦ (ключ К разомкнут). При этом напряжение на емкости $U_C(t_m)$ практически равно напряжению источника питания E , а ток через катушку – $i(t_m)$. Указанные значения $U_C(t_m)$ и $i(t_m)$ являются начальными условиями рассеяния энергии.



а)



б)

Рисунок 2 – Результаты моделирования в идеализированной ИЦ в процессе накопления энергии (ток $i(t)$ (а) и di/dt (б))

На рисунке 3 изображен процесс рассеяния энергии через резистор $R_p = 456 \text{ Ом}$. Как уже отмечалось, время наступления максимума производной t_m составляет примерно $28 \cdot 10^{-12} \text{ с}$, а еще через $75 \cdot 10^{-9} \text{ с}$ после размыкания ключа К ток в цепи устанавливается на уровне единиц процентов от тока $i(t_m)$, что позволяет повторить процесс измерения.

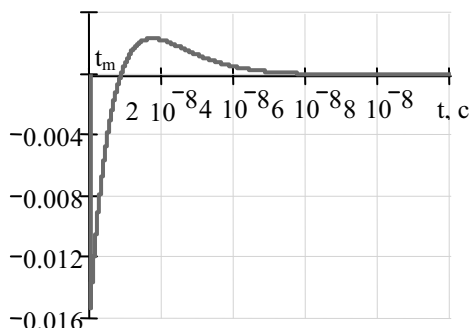


Рисунок 3 – Ток в неразветвленной части цепи в процессе рассеяния энергии

Измерительная цепь с преобразователями ток – напряжение и дифференциатором напряжения

Чтобы обеспечить дифференцирование тока с помощью ОУ приходится использовать преобразователи ток – напряжение (ПТН) и далее дифференциатор напряжения (ДН). На рисунке 4 изображен вариант дифференциальной ИЦ с рабочим и компенсационным ОВТД, источником питания, ПТН на ОУ, расположенных в одном корпусе, и ДН с дифференциальными входами. Оба ОВТД (рабочий и компенсационный) представлены эквивалентными параметрами, аналогичными тем, что показаны на рисунке 1. Напряжения на выходе ПТН $u_1(t)$ и $u_2(t)$ определяется входными токами $i_1(t)$ и $i_2(t)$ динамическими параметрами ОУ и сопротивлением обратной связи $R_{ПТН} = R_1 = R_2$.

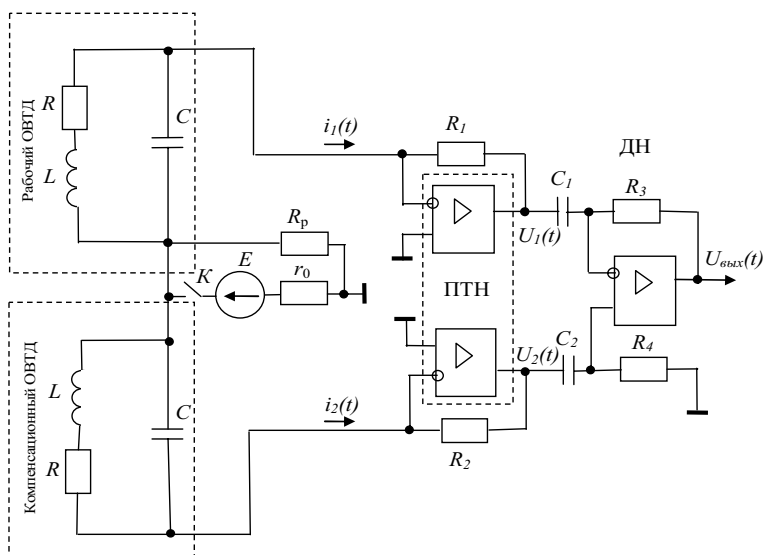


Рисунок 4 – Измерительная цепь с преобразователем ток – напряжение и дифференциатором напряжения

В исходном состоянии, когда индуктивности рабочего и компенсационного датчиков равны, токи $i_1(t)$ и $i_2(t)$ на входе ПТН также равны и разность напряжений на их выходах имеет нулевое значение.

Изменение индуктивности рабочего ОБТД (ΔL) приводит к появлению разности напряжений $u_1(t)$ и $u_2(t)$ и последующему дифференцированию с фиксацией максимального значения производной

$$\left. \frac{d[u_1(t) - u_2(t)]}{dt} \right|_{\max} \cong \left. \frac{d[i_1(t) - i_2(t)]}{dt} \right|_{\max} \quad \text{в момент времени } t_m.$$

Моделирование процессов в ИЦ (рисунок 4) велось в предположении, что относительное изменение индуктивности ΔL в рабочем ОБТД составляет 2.5%. При этом параметры ОБТД сохранялись теми же, что и в идеализированной ИЦ, а параметры ПТН и ДН выбирались равными $R_{ПТН} = 33 \text{ Ом}$, $R_{ДН} = 2.2 \text{ кОм}$, $C_{ДН} = 100 \text{ пФ}$ при $R_p = 410 \text{ Ом}$, причем $R_{ДН} = R_3 = R_4$, $C_1 = C_2$.

В процессе моделирования предполагалось также, что ОУ в обоих ПТН можно считать апериодическими звеньями с постоянной времени $T_{ПТН}$ [4], а ОУ в ДН – звеном второго порядка, работающим в критическом режиме, с параметрами $T_{ДН} = R_{ДН} C_{ДН}$ и f_0 – частотой единичного усиления [5].

Следует отметить, что результаты моделирования $U_{вых}(t)$ при $T_{ПТН} = 0$ и $f_0 = \infty$, как и предполагалось, показали, что форма $U_{вых}(t)$ и di/dt в идеализированной ИЦ (рисунок 2) аналогичны, а время достижения максимума в предлагаемой ИЦ по-прежнему мало и составляет около $20 \cdot 10^{-12} \text{ с}$.

На рисунке 5 приведены результаты вычислительных экспериментов для различных характеристик как реально существующего ОУ, так и гипотетического (ожидаемого в обозримом будущем). Величина $T_{ДН}$ в обоих экспериментах оставалась неизменной ($2.2 \cdot 10^{-6} \text{ с}$). В первом эксперименте (рисунок 5 а) время t_m равно $49 \cdot 10^{-9} \text{ с}$, а длительность рассеяния энергии до уровня в единицы процента от $U_{вых}(t_m)$ – около $100 \cdot 10^{-9} \text{ с}$. Это означает, что возможная частота повторения измерений составляет около 6.5 МГц (при этом $T_{ПТН} = 1 \cdot 10^{-10} \text{ с}$ и $f_0 = 1500 \text{ МГц}$). Во втором эксперименте время t_m равно $17 \cdot 10^{-9} \text{ с}$, время рассеяния – $80 \cdot 10^{-9} \text{ с}$, а частота повторения измерений может достигать 11.5 МГц (при этом $T_{ПТН} = 1 \cdot 10^{-11} \text{ с}$ и $f_0 = 15000 \text{ МГц}$).



КЛАСТЕРНЫЙ ОДНОВИТКОВЫЙ ВИХРЕТОКОВЫЙ ДАТЧИК СО ВСТРОЕННЫМИ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯМИ

С.Ю. Боровик, А.В. Логвинов, Б.К. Райков, 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: дифференциальный кластерный одновитковый вихретоковый датчик, два чувствительных элемента, координаты смещений, торцы лопастей, встроенные преобразователи, разновременный режим работы

Abstract

The mechanical configuration of differential eddy-current single-coil sensor with two sensitive elements made as a conductor section is described. A structural scheme of one of the inductance transducers built in the sensor is described too. Sets of experimental calibration characteristics are given.

1. Введение

В работе [1] рассматривается система измерения радиальных зазоров (РЗ) между торцами лопастей и статорной оболочкой авиационного винтовентиляторного ГТД. В системе используются одновитковые вихретоковые датчики (ОВТД) с чувствительными элементами (ЧЭ) в виде отрезка проводника, которые размещаются в четырех контрольных точках в установочных отверстиях статорной оболочки с угловым шагом $\pi/2$ для дополнительной оценки деформаций и смещений центра статорной оболочки.

Вместе с тем, известно, что в процессе работы двигателя торцы лопастей винта совершают многокоординатное движение, на которое реагируют ЧЭ ОВТД, причем РЗ является лишь одной из координатных составляющих и его измерение связано с необходимостью оценки остальных составляющих. Особенность рассматриваемой системы состоит в том, что для получения информации о РЗ (координата y) приходится моделировать поведение остальных координат (x , z) [2, 3] с учетом текущих значений скорости вращения, получаемых с помощью датчика частоты вращения промышленного изготовления и штатного потенциометрического датчика (ПД) угла разворота лопастей (φ). При этом в составе программного обеспечения системы используются существенно упрощенные модели и ожидать высокой достоверности в результатах измерений не приходится.

Поэтому представляется более предпочтительным использование так называемых кластерных ОВТД (КОВТД) [4] с определенным числом ЧЭ и топологией их размещения. Если же предположить, что осевые смещения основания лопастей отсутствуют, а смещения торцов лопастей связаны только с изгибом¹, то применение КОВТД с двумя рабочими ЧЭ, расположенными параллельно, дает возможность вести измерения не только радиальных и осевых смещений (координат x и y (РЗ)), но и третьей координаты (как зависимой от x : $z=x \cdot ctg(\varphi^*)$, где φ^* - физические значения угла разворота лопастей, полученные после обработки кодов в канале ПД).

¹ Аналогичные допущения были приняты в модели, встроенной в систему измерения, рассматриваемой в [1].

В статье приводится описание новой разработки дифференциального кластерного датчика со встроенными преобразователями индуктивностей ЧЭ, обеспечивающей в перспективе построение более совершенного варианта технических средств и программного обеспечения системы (без моделирования) с более высокими показателями точности.

2 Механическая конфигурация

Рассматриваемый кластерный датчик размещается в установочных отверстиях статорной оболочки, где температура датчика соответствует температуре наружного воздуха, что, в свою очередь, позволяет размещать в едином корпусе не только ЧЭ и согласующие трансформаторы (СТ) [5], но и преобразователи индуктивности ЧЭ, а это способствует повышению чувствительности и помехозащищенности измерительных каналов системы в целом. На рисунке 1 дифференциальный кластерный датчик со встроенными преобразователями (КОВТД-ВВ-15) представлен в разобранном виде.

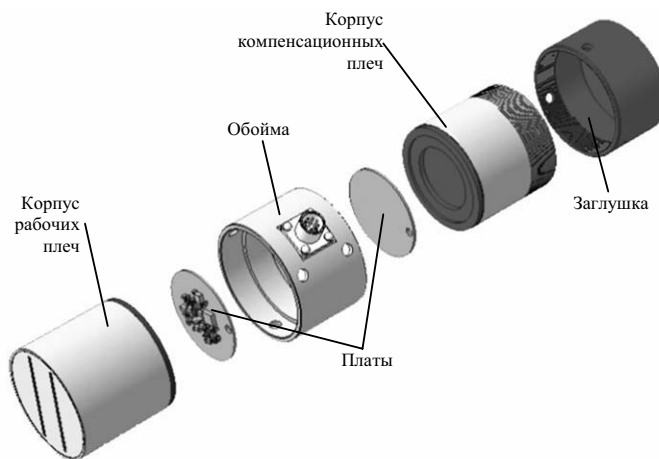


Рисунок 1 - Дифференциальный кластерный датчик (КОВТД-ВВ-15) со встроенными преобразователями

Корпуса рабочих и компенсационных плеч датчика объединяются обоймой так, что пары ЧЭ располагаются с противоположных сторон единой конструкции. На обойме устанавливается разъем для подсоединений линий связи. В тыльной (по отношению к ЧЭ) части каждого из корпусов проточены гнезда для размещения двух круглых малогабаритных плат преобразователей. Пара ЧЭ, обращенная к торцам лопастей винта, используется как рабочая, и вторичные обмотки их СТ включаются в индивидуальные измерительные цепи (ИИЦ) двух преобразователей, а СТ пары ЧЭ, обращенной в противоположном от объекта контроля направлении, используются как компенсационные в ИИЦ тех же преобразователей. Торец конструкции с компенсационными ЧЭ армируется заглушкой, положение которой относительно ЧЭ регулируется и фиксируется. Материал заглушки (или вкладыша на её дне) тот же, что и материал лопасти (если она из металла) или накладки на ней (например, из медной фольги).

Встраиваемые преобразователи по своему схемному решению сохраняют преемственную связь с устройствами аналогичного назначения [5]. Вместе с тем, во встраиваемых в датчик преобразователях используется миниатюризированная элементная база, позволяющая уменьшить размеры платы. Внешний вид датчика КОВТД-ВВ-15 представлен на рисунке 2.



Рисунок 2 – Внешний вид датчика КОВТД-15-ВВ

Его внешний диаметр практически равен диаметру датчика ОВТД-ВВ-15, применяемого в системе [1], а потому вновь разработанный кластерный датчик может быть размещен в тех же установочных отверстиях статорной оболочки.

3 Преобразователи

Упомянутая преимественность схемного решения преобразователей означает реализацию в них того же метода первой производной [5], а потому ИИЦ каждого преобразователя содержит мостовую схему с импульсным питанием, дифференцирующее устройство (ДУ) и устройство, фиксирующее напряжение на выходе ДУ. Поэтому основное внимание в процессе разработки встраиваемых в датчик преобразователей было сосредоточено на замене существующей элементной базы микроминиатюрными элементами и на режиме работы, обеспечивающем разновременное преобразование в ЧЭ и отсутствие электромагнитного влияния ЧЭ друг на друга. Вместе с тем, следует отметить, что в существующих публикациях (в частности в [6]) описание ИИЦ ведется очень сжато, фактически на уровне принципов без какой-либо детализации функционально значимых элементов и узлов ИЦ. И этот пробел также предполагается восполнить более подробным описанием встраиваемых в датчик преобразователей.

Оба преобразователя в составе датчика имеют идентичное схемное решение, представленное на рисунке 3. Выходное напряжение ($U_{\text{вых}}$) преобразователя соответствует изменению индуктивности рабочего ЧЭ (ЧЭ-Р) и соответствующей индуктивности (L_p) вторичной обмотки СТ, которая включается в одно из плеч неравновесного моста (НМ). Во второе плечо НМ включается индуктивность L_k вторичной обмотки СТ компенсационного ЧЭ (ЧЭ-К). Помимо НМ в состав ИИЦ преобразователя входят дифференцирующее и запоминающее устройства (ДУ и ЗУ), а также повторитель (П) на выходе. Кроме того, в состав преобразователя входит устройство управления (УУ), источники питания и другие функциональные элементы, описание которых приводится ниже.

Функционально в составе УУ предусмотрены генератор тактовых импульсов Г и триггер Т со счетным входом, но они, как правило, выполняются на отдельной плате и размещаются вне корпуса датчика вблизи от устройств ввода данных в ЭВМ. Запуск преобразователей в составе датчика производится раздельно с двух выходов триггера Т. Поэтому каждый преобразователь работает с вдвое меньшей тактовой частотой, но процесс преобразования происходит разновременно и электромагнитное влияние ЧЭ друг на друга практически отсутствует.

Необходимые задержки и сигналы управления узлами преобразователя формируются одновибраторами (ОВ₁–ОВ₃), которые запускаются последовательно один от другого и определяют три этапа функционирования преобразователя. На первом этапе напряжения на емкости конденсатора ЗУ приводятся к нулевым начальным условиям, путем разряда через ключ К_р.

Длительность этого этапа выбирается такой, чтобы емкость успела разрядиться даже при максимальном значении заряда. По окончании процесса разряда запоминающей емкости на НМ через ключ K_T включается напряжение E_0 от специального стабилизированного источника (CT_1). Начинается второй этап - тестовый переходный процесс в НМ. На резисторах R_1 и R_2 выделяется напряжение, пропорциональное разности нарастающих в плечах НМ токов. Оно поступает на вход ДУ, выполненного по стандартной схеме на операционном усилителе ОУ₁. Длительность второго этапа обеспечивает достижение максимального значения выходного напряжения. Выходное напряжение ДУ через ключ K_C передается на запоминающее устройство ЗУ, построенное по принципу пикового детектора на базе усилителя ОУ₂, диода и конденсатора. На конденсаторе запоминается максимум напряжения поступившего на вход ЗУ в течение второго этапа. Для последующей передачи на внешний АЦП с выхода преобразователя используется развязывающий повторитель П. Напряжение $U_{\text{вых}}$ остается постоянным в течение времени, достаточного для аналого-цифрового преобразования. Это время определяет длительность третьего этапа, в начале которого в УУ формируются импульсы запуска внешнего АЦП, задержанные на время установления $U_{\text{вых}}$.

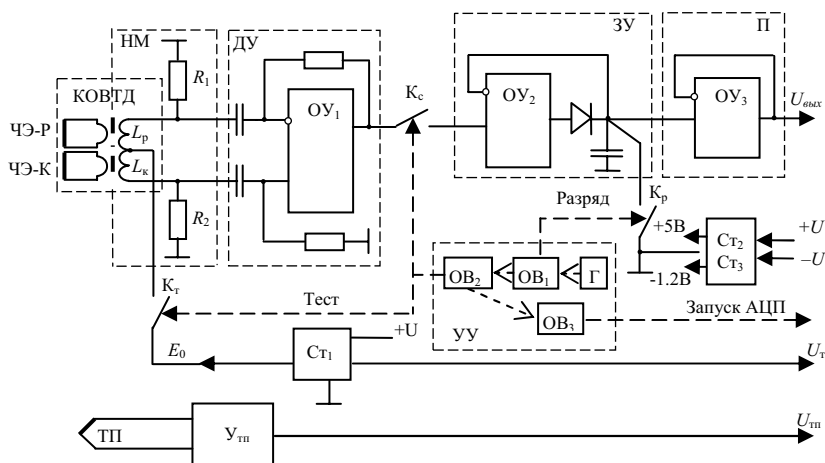


Рисунок 3 - Схема встраиваемого преобразователя сигналов датчиков

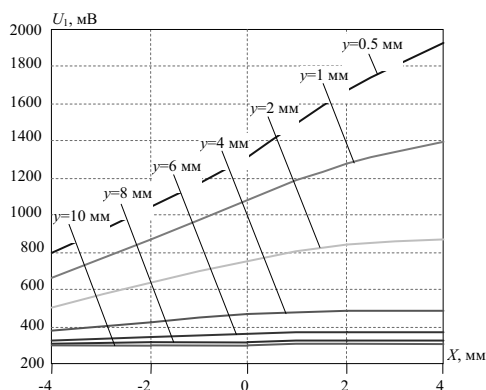
В источнике напряжения питания НМ (E_0) использована микросхема ADR01, в состав которой входит датчик температуры. Напряжение U_T на его выходе соответствует температуре микросхемы, и, следовательно, платы преобразователя. Это напряжение может быть использовано для программной коррекции температурной погрешности измерительного канала при его работе в диапазоне температур $(-40...+85)^\circ\text{C}$.

Стабилизаторы CT_2 , CT_3 (микросхемы TPS71501), установленные на плате, вырабатывают необходимые напряжения питания элементов преобразователя (ДУ, ЗУ, П и др.), причем внешние источники питания ($+U$, $-U$) изолированы от общего провода схемы.

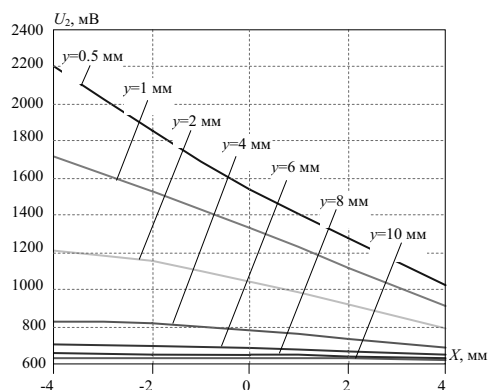
В качестве усилителей ОУ₁, ОУ₂ и ОУ₃ использованы микросхемы быстродействующих операционных усилителей AD8039, а в усилителе $Y_{тп}$ – AD623. В качестве ключей использованы микросхемы ADG742. Все микросхемы исполнены в современных микроминиатюрных корпусах SC70, microSOIC, TSSOP, пассивные элементы – в smd-корпусах 0402 (1×0.5 мм), что позволило, несмотря на высокую функциональную насыщенность схемы, разместить ее на плате, диаметром 22 мм при высоте 2.5 мм.

4. Результаты эксперимента

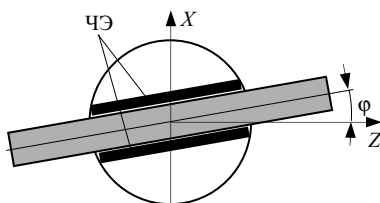
С помощью специального градуировочного устройства (оно использовалось и в процессе метрологических исследований системы, рассмотренной в работе [1]) были получены семейства градуировочных характеристик (ГХ) датчика КОВТД-ВВ-15 со встроенными преобразователями. Они представлены на рисунке 4, а, б как функции выходных напряжений от координат смещений торцов лопастей ($U_1(x, y)$ и $U_2(x, y)$). Расстояние между рабочими ЧЭ составляет 9.75 мм. Торец лопасти имитирует прямоугольная пластина толщиной 8.5 мм, выполненная из диэлектрического материала с наклейкой из медной фольги (рисунок 4, в). Угол разворота имитатора (ϕ) равен углу установки ЧЭ (что соответствует режиму запуска винтовентилятора).



а)



б)



в)

Рисунок 4 - Семейства ГХ: $U_1(x)$ при постоянных y (а), $U_2(x)$ при постоянных y (б).
Ориентация имитатора торца лопасти (в)

Семейства ГХ демонстрируют полную симметрию относительно $x=0$, а также монотонность изменений выходного параметра по координате y в пределах от 0.1 мм до 10 мм и по координате x в пределах от -4 мм до +4 мм. При этом полезные изменения выходного сигнала составляют единицы вольт и удобны для последующего аналого-цифрового преобразования с высокой разрешающей способностью (до 12 и более двоичных разрядов).

Список литературы

- [1] Боровик С.Ю., Райков Б.К., Тулупова В.В. Система измерения радиальных смещений торцов лопастей винтовентилятора // Мехатроника, автоматизация, управление. -2004. -№7. –с. 35-40.
- [2] Секисов Ю.Н., Скобелев О.П. Измерение составляющих многокоординатных смещений элементов конструкций силовых установок с моделированием неизмеряемых составляющих (концепция и реализующие ее методы измерения) // Мехатроника, автоматизация, управление. -2004. -№7. –с. 29-34.
- [3] Боровик С.Ю., Райков Б.К., Секисов Ю.Н., Скобелев О.П., Тулупова В.В. Метод измерения радиальных смещений лопастей винтовентилятора с использованием каналов физической и виртуальной коррекции // Проблемы управления и моделирования в сложных системах. Труды V Международной конференции. –Самара, 2003. –с.512-520.
- [4] Беленький Л.Б., Райков Б.К., Секисов Ю.Н., Скобелев О.П. Одновитковые вихретоковые датчики: от кластерных композиций к кластерным конструкциям // Проблемы управления и моделирования в сложных системах. Труды VI Международной конференции. – Самара, 2004. -с.437-443.
- [5] Методы и средства измерения многомерных перемещений элементов конструкций силовых установок / Под ред. Секисова Ю.Н., Скобелева О.П. – Самара: Самарский НЦ РАН, 2001. - 188 с.
- [6] Белослудцев В.А., Боровик С.Ю., Кутейникова М.М., Райков Б.К., Секисов Ю.Н., Скобелев О.П., Тулупова В.В. Экспериментальная проверка работоспособности кластерных методов измерения координат смещения торцов лопаток и деформаций статора в лабораторных условиях // Проблемы управления и моделирования в сложных системах: Труды XII Международной конференции. - Самара, 2010 -с.316-322.

СИСТЕМА ИЗМЕРЕНИЯ СКОРОСТИ ВРАЩЕНИЯ РОТОРА ГТД НА ОСНОВЕ ОДНОВИТКОВЫХ ВИХРЕТОКОВЫХ ДАТЧИКОВ

В.Н. Белопухов, Ю.Н. Секисов, О.П. Скобелев

Институт проблем управления сложными системами РАН
443020, Самара, ул. Садовая, 61, Россия
cscmp@iccs.ru
тел/факс: +7 (846) 333-27-70

Ключевые слова: вихретоковый датчик, частота вращения, период оборота, радиальный зазор, алгоритмы работы

Abstract

The possibility of single-turn eddy current sensor for measuring the speed of rotation of the rotors of gas turbine engine. Given method, the structure of hardware microcontroller system measuring the sample and its implementation.

Введение

Частота вращения роторов компрессора и турбины является одним из важнейших контролируемых параметров при испытаниях и в процессе штатной эксплуатации ГТД. Стандартные электромагнитные датчики частоты вращения типа ДЧВ-2500, а также более совершенные тахометрические датчики семейства ТД фирмы «Триумф» (г. Нижний Новгород), имеют температурный диапазон, не превышающий 200 °С, что делает невозможным их применение в зонах с более высокой температурой среды, в частности, в турбинной области двигателя. Кроме того, амплитуда информационных импульсов датчика зависит от скорости перемещения «метки» относительно чувствительного элемента датчика, что вызывает необходимость применения дополнительных редукторов при низкой частоте вращения объекта.

Известны одновитковые вихретоковые датчики (ОВТД) с чувствительным элементом (ЧЭ) в виде отрезка проводника, используемые для измерения многомерных смещений торцов рабочих лопаток компрессоров и турбин в ГТД в условиях высоких температур до 1200 °С [1]. Рассматривается возможность применения ОВТД для измерения частоты вращения роторов ГТД на примере микропроцессорной системы измерения.

Состав и назначение функциональных блоков системы

Система измерения (Рисунок 1) содержит следующие функциональные элементы:

- одновитковый вихретоковый датчик (ОВТД);
- измерительный преобразователь (ИП);
- формирователь (Ф);
- микроконтроллер (МК);
- индикатор (Инд).

ОВТД для измерения частоты вращения размещается над одним из лопаточных колес ротора в установочное отверстие на статоре так, чтобы чувствительный элемент датчика взаимодействовал с торцами рабочих лопаток при вращении ротора. Информационным параметром датчика является его индуктивность. Величина индуктивности (Рисунок 2) зависит от зазора Y между торцами лопаток и статором, а также от углового положения торца лопатки φ по отношению к чувствительному элементу $L(Y, \varphi)$.

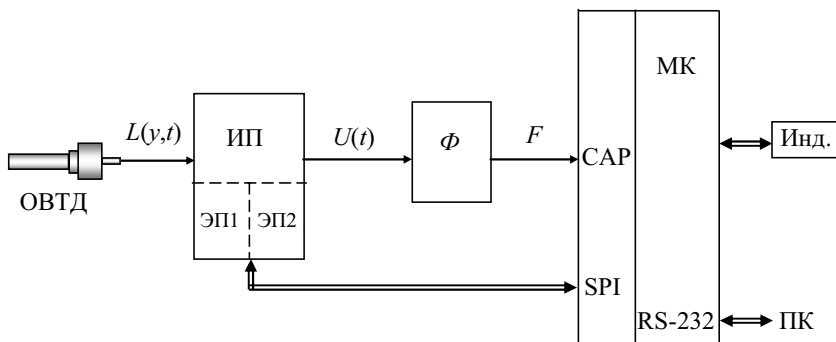


Рисунок 1 – Структурная схема системы

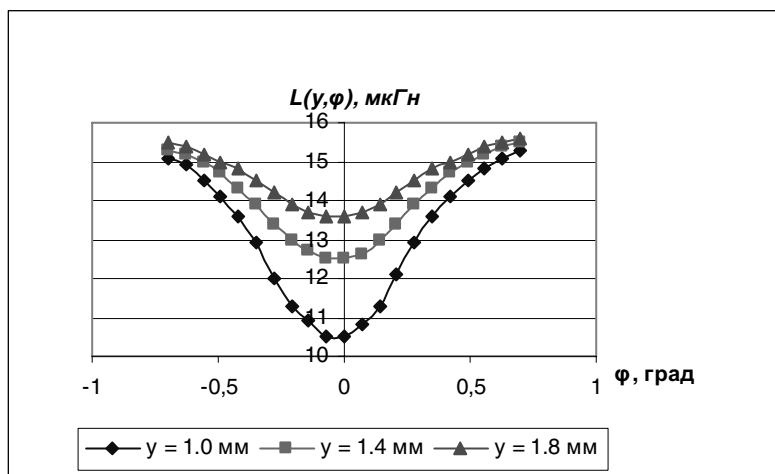


Рисунок 2 – Зависимость индуктивности ОВТД от углового смещения торца лопатки относительно ЧЭ

При вращении лопаточного колеса зависимость $L(Y, \varphi)$ применительно к задаче измерения частоты вращения будем рассматривать как функцию времени $L(t)$, так как угловое перемещение колеса однозначно связано с перемещением торца лопатки во времени. Следовательно, форма импульса $L(t)$ сохраняет форму сигнала $L(Y, \varphi)$.

ИП преобразует изменения индуктивности датчика в аналоговый импульсный сигнал $U(t)$ колоколообразной формы, при этом максимум выходного сигнала $U_{\max}$ соответствует положению, при котором торец лопатки находится под чувствительным элементом датчика, а положению, при котором торец лопатки вышел из зоны действия чувствительного элемента, соответствует наименьший U_0 уровень выходного напряжения. ИП содержит средства регулирования $U_{\max}$ и U_0 с помощью операционных усилителей с электронными потенциометрами ЭП1 и ЭП2, управляемыми микроконтроллером. Регулирование обеспечивает поддержание $U_{\max}$ и U_0 в заданных пределах с учетом диапазона изменений зазора. При вращении ротора на выходе ИП будет формироваться последовательность импульсов $U_n(t)$ в ответ на прохождение торцов лопаток в зоне чувствительности датчика (Рисунок 3а).

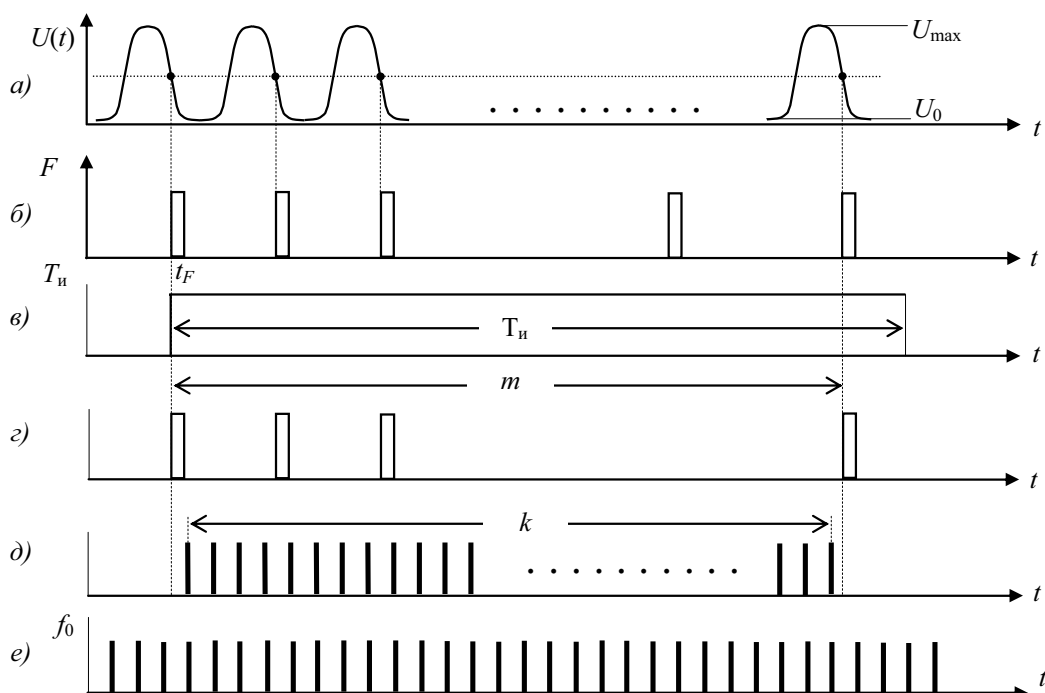


Рисунок 3 – Временные диаграммы измерения частоты

Формирователь на каждый импульс $U_n(t)$ вырабатывает одиночный импульсный сигнал F_n , передний фронт которого соответствует моменту t_F достижения задним фронтом входного импульса $U_n(t)$ значения $0,5 \cdot U_{\max}$ (Рисунок 3б). Сигнал $U(t)$ в области $0,5 \cdot U_{\max}$ имеет наибольшую «крутизну», что повышает точность временной «привязки» переднего фронта импульса F к точке $0,5 \cdot U_{\max}$ и, следовательно, к угловой координате торца лопатки φ_n на лопаточном колесе. Положительной особенностью ОБТД является то, что точка $0,5 \cdot U_{\max}$ на сигнале $U_n(t)$ сохраняет угловое положение φ_n при изменении частоты вращения колеса и изменении радиального зазора. Параметры сформированного импульса F соответствуют «логическому» сигналу и пригодны для последующей цифровой обработки.

Блок обработки сигнала F выполнен на микроконтроллере PIC фирмы Microchip. В составе периферии он содержит: 16-ти разрядные таймерные модули с опциями «захват» и «сравнение», последовательный интерфейс UART для связи с персональным компьютером (ПК) по каналу RS-232, последовательный интерфейс SPI, систему периферийных прерываний. Система единого времени реализована на «свободно бегущем» таймере, имеющем регистр «захвата» CAP и опцию прерывания при возникновении данного события. ЭП1 и ЭП2 подключены к МК по интерфейсу SPI. Настройка $U_{\max}$, U_0 выполняется на программном уровне с сохранением параметров в энергонезависимой памяти.

Основной задачей обработки последовательности импульсов F является вычисление частоты вращения ротора двигателя. Так как обороты ротора изменяются в широких пределах, то использован «совмещенный» метод, включающий одновременный счет числа импульсов F за заданный интервал времени и определение периода их следования [2]. Микроконтроллер с помощью таймера формирует измерительный интервал T_n (Рисунок 3в). Величина T_n устанавливается микроконтроллером по заданному числу импульсов F , заполняющему измери-

тельный интервал. В течение измерительного интервала в счетчике фиксируется число m импульсов F , эквивалентное числу полных периодов следования лопаток. Подсчитывается число импульсов k опорной частоты f_0 за временной интервал, равный суммарной длительности подсчитанных интервалов (Рисунок 3 г, д, е).

В результате с учетом числа N лопаток на колесе вычисляется частота вращения ротора.

$$(1) \quad f_{\text{рот}} = \frac{m}{k \cdot N} \cdot f_0, [\text{Гц}].$$

Так, при $T_{\text{и}} = 0,5 \text{ сек.}$, $f_0 = 1 \text{ МГц.}$, $N=114$ и для заданной частоты вращения колеса 30 обор./мин., получим значения $m = 28$, $k = 491228$ и вычисленную частоту вращения – 30,0000043 обор./мин. Для заданной частоты вращения колеса 30 000 обор./мин., получим следующие значения $m = 28500$, $k = 500000$ и вычисленную частоту вращения – 30000 обор./мин.

Дополнительно микроконтроллер вычисляет период оборота ротора $T_{\text{рот}}$. Информация в реальном времени отображается на 4-х строчном ЖК индикаторе. При стендовых испытаниях по каналу RS-232 информация о скорости вращения роторов может передаваться в ПК для ее регистрации, а в случае штатного применения – для задач диагностики и управления двигателем.

Конструктивно микропроцессорный блок выполнен в корпусе 190x135x40мм, на котором размещены индикатор и стандартные разъемы подключения ОВТД и ПК. Аппаратные средства система измерения частоты вращения показаны на Рисунке 4.

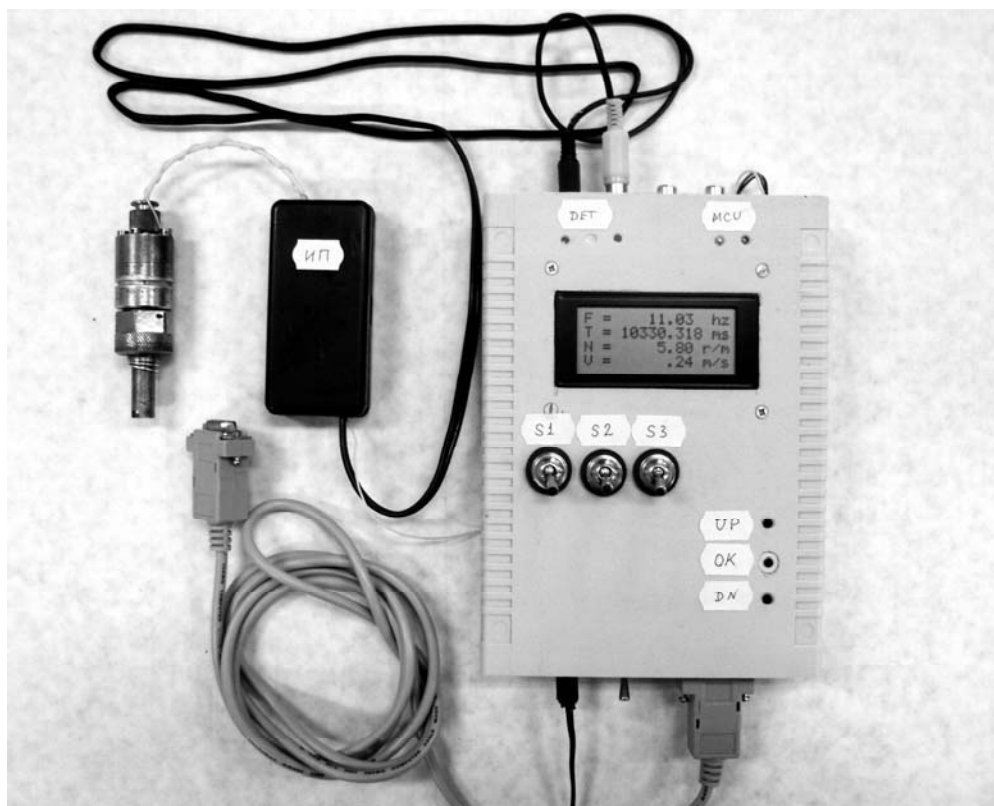


Рисунок 4 – Аппаратные средства системы измерения

Основные технические характеристики системы

- Опорная частота f_0 - 1 МГц.
- Измерительный интервал $T_{и}$ - 0.5 ... 8 сек.
- Диапазон измеряемой частоты вращения – 0,5 ... 500 обор./сек. (30 ... 30000 обор./мин.)
- Пределы изменений зазора в процессе измерения частоты вращения – 0,5 ... 3 мм.
- Температура в зоне чувствительного элемента ОВТД - до 1200 °С.

Заключение

Работоспособность микропроцессорной системы измерения частоты вращения роторов подтверждена на лабораторном стенде с реальным лопаточным колесом компрессора двигателя НК. В результате использования ОВТД для задач измерения частоты вращения в ГТД снимаются ограничения на размещение датчиков в областях с повышенной температурой среды, а при установке на статор двигателя обеспечивается доступность обслуживания в процессе эксплуатации, включая периодические проверки средств измерения, а случае необходимости – замену.

Амплитуда и форма импульсного информационного сигнала по координате углового перемещения с измерительного преобразователя при использовании ОВТД не зависит от скорости вращения лопаточного колеса, что позволяет выполнять измерения при низких оборотах ротора.

Микропроцессорная система может быть использована для измерения частоты вращения элементов конструкции других силовых установок, при этом в качестве «метки», взаимодействующей с чувствительным элементом датчика, может быть зуб шестерни, выступ или паз на валу из электропроводного материала.

Список литературы

- [1] Методы и средства измерения многомерных перемещений элементов конструкций силовых установок // под ред. Секисова Ю.Н., Скобелева О.П. – Самара, 2001 – 186 с.
- [2] Патент 2173857 С1 МПК G 01 R 23/00. Способ измерения частоты импульсов/ Попенов А.И., Злобин Д.А., Турченев Б.П. - № 2001120742/09; Заявл. 09.08.2000;Опубл. 20.09.2001.

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ИНФОРМАЦИОННЫХ И ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ЗА СЧЕТ ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ

В.Т. Лузинский¹, Е.И. Кочемасова²

¹Московский государственный институт радиотехники, электроники и автоматики
(технический университет)
119454, Москва, пр-т Вернадского, 78, Россия
kotchemassov@mirea.ru
тел: +7 (495) 434-96-85

²Институт прикладной механики РАН
119334, Москва, Ленинский пр-т, 32А, Россия
kotchemassov@mirea.ru
тел: +7 (495) 938-18-36

Ключевые слова: алгоритмическая погрешность, структурная и временная избыточность, цифровая фильтрация, частота дискретизации, многоканальный цифровой тракт, составной цифровой фильтр

Abstract

The algorithm for multi-channel digital signal filter, which provides high suppression of the spectral components of noise at the minimum allowable signal distortion of multichannel information and measurement systems.

Введение

В реальных информационных и измерительных системах (ИИС) сложных технических объектов информационные погрешности включают: погрешности измерения, порождаемые инструментальными и методическими погрешностями датчиков первичной информации; погрешности преобразования, включающие погрешности квантования по уровню и времени; инструментальные погрешности преобразователей аналоговых величин в код и кода в аналоговые величины. Кроме того, необходимо учитывать возможные алгоритмические погрешности, которые определяются ограничениями используемых функциональных методов и технических средств реализации алгоритмов. Все это значительно усложняет создание эффективных ИИС сложных динамических объектов с учетом множества их реальных эксплуатационных характеристик. Высокие точность и быстродействие при относительно небольших массогабаритных характеристиках и стоимости достигаются в ИИС применением конструктивно-технологических, структурных и алгоритмических методов повышения точности. Конструктивно-технологический путь основан на совершенствовании технологии и разработке обоснованных допусков на погрешности элементов и узлов и, будучи одним из основных, обладает возможностями, ограниченными технологией изготовления. Связанные с этим трудности преодолеваются применением методов, основанных на введении структурной или временной избыточности. Наиболее изучены методы повышения точности введением структурной избыточности. Причем из известных структурных методов таких, как методы образцовых мер, итераций, тестовых, вспомогательных измерений, наибольшее применение в ИИС получил метод осреднения отсчетов в смещенных системах координат, являющийся разновидностью тестового метода, в основе которого, как и ряда других, лежит широко известный принцип многоканальности. Однако при цифровой пространственно-временной обработке сигналов в ИИС сложных технических объектов особая острота проблемы повышения их точности обусловлена как раз многоканальностью таких систем. Число каналов в ре-

альных системах может достигать несколько десятков или даже сотен. В случае одноканальной системы допустимы практически любые формы предварительной аналоговой обработки сигналов перед их аналого-цифровым преобразованием. Для многоканальных систем даже сравнительно простая предварительная аналоговая обработка сигналов в каждом канале значительно усложняет процесс обработки сигналов и, что особенно важно, при этом очень сложно добиться идентичности каналов. Неидентичность частотных характеристик каналов ИИС разрушает пространственно-временную структуру используемых сигналов и, естественно, ухудшает точностные параметры систем в целом [1,2].

1 Выделение комплексной огибающей узкополосного сигнала

Сложность проблемы получения цифровых отсчетов сигналов в ИИС обусловлена, прежде всего, наличием несущей частоты. Полоса частот, занимаемых сигналом, может быть сравнительно небольшой, но спектр сигналов находится в области высокой рабочей частоты, значительно превышающей ширину спектра сигнала (рисунок 1).

Такие сигналы называют узкополосными. Сигнал и его спектр связаны между собой парой преобразований Фурье:

$$(1) \quad S(j\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} s(t) \cdot e^{-j\omega t} dt,$$

$$(2) \quad s(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} S(j\omega) \cdot e^{j\omega t} d\omega.$$

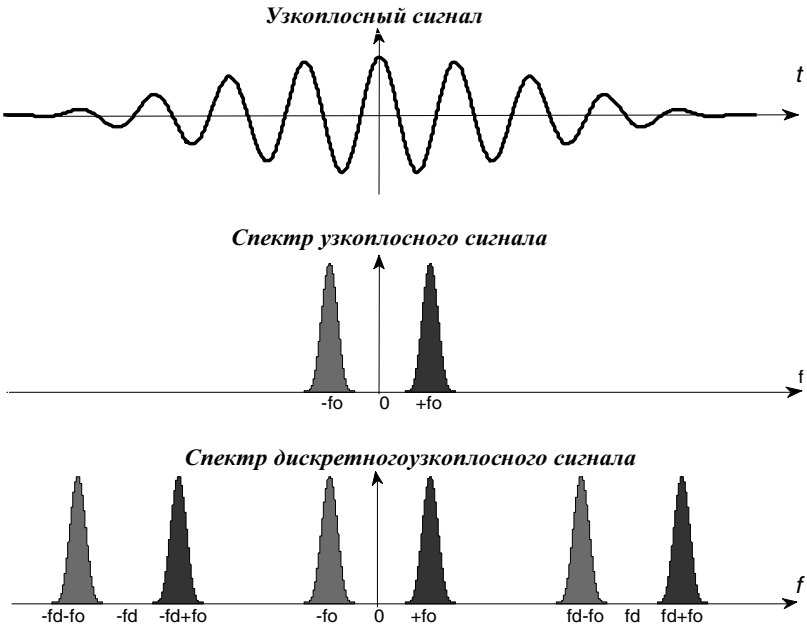


Рисунок 1 – Спектр сигналов в области рабочей частоты

Спектр узкополосного сигнала распадается на два узких лепестка, расположенных симметрично относительно нуля на оси частот в областях $\pm f_0$.

При дискретизации этих сигналов в аналого-цифровых преобразователях в результате биений несущей частоты f_0 и частоты дискретизации f_d возникает большое число побочных комбинационных гармонических составляющих с частотами $\pm n f_0 \pm k f_d$, которые по отношению к полезному сигналу выступают в качестве методических шумов. Устранение влияния этих эффектов возможно при высокой частоте дискретизации (по крайней мере, вдвое больше несущей частоты). При этом условия комбинационные гармоники не попадают в полосу частот полезного сигнала [2].

На нижнем графике показан спектр дискретного сигнала. Из графика видим, что два лепестка спектра непрерывного сигнала при дискретизации периодически повторяются через интервал, равный частоте дискретизации, но комбинационные гармоники не перекрываются с гармониками исходного непрерывного сигнала. Однако такая повышенная частота отсчетов узкополосного сигнала не является оправданной. Особенно, если учитывать, что это приводит к многократному завышению требований к вычислительным ресурсам процессоров, используемых при обработке сигналов в ИИС.

Предварительное аналоговое преобразование узкополосных сигналов с использованием квадратурного гетеродинирования перед их аналого-цифровым преобразованием позволяет перенести спектр узкополосного сигнала в область низких частот. Полученный при этом низкочастотный сигнал содержит две компоненты (синфазную и квадратурную), которые можно объединить в комплексный сигнал (комплексную огибающую). Полоса частот этого сигнала равна половине ширины спектра исходного сигнала. При этом частоту цифровых отсчетов комплексного сигнала необходимо согласовать с шириной спектра низкочастотного сигнала, т.е. использовать существенно более низкую частоту дискретизации. Рассмотрим это преобразование.

Узкополосный сигнал можно записать в виде:

$$(3) \quad \begin{aligned} s(t) &= a(t) \cos \omega_0 t + b(t) \sin \omega_0 t = A(t) \cos(\omega_0 t + \varphi(t)) = \\ &= A(t) \cdot \cos \varphi(t) \cdot \cos \omega_0 t - A(t) \cdot \sin \varphi(t) \cdot \sin \omega_0 t \end{aligned}$$

При этом его можно рассматривать как действительную часть комплексного сигнала:

$$(4) \quad s(t) = \operatorname{Re}(\dot{A}(t) \exp(j \omega_0 t)),$$

где $\dot{A}(t)$ называют комплексной огибающей узкополосного сигнала. Комплексная огибающая выражается через изменяющиеся амплитуду и фазу сигнала и, следовательно, несет полную информацию, содержащуюся в сигнале. В самом деле, комплексная огибающая равна

$$(5) \quad \dot{A}(t) = A(t) \cdot \exp(j \varphi(t)) = a(t) - j b(t).$$

При этом комплексная огибающая не содержит высокочастотных составляющих, связанных с несущей частотой ω_0 , следовательно, ее спектр лежит в области низких частот, а его ширина равна половине ширины спектра одного лепестка узкополосного сигнала. Таким образом, целесообразно выделить из узкополосного сигнала его комплексную огибающую, которую можно дискретизировать со значительно более низкой частотой [3].

2 Использование метода квадратурного гетеродинирования

Для выделения комплексной огибающей используется схема квадратурного гетеродина (рисунок 2).

Сигнал, полученный при умножении узкополосного сигнала на косинусоиду, содержит три составляющие

$$(6) \quad \begin{aligned} s(t) \cdot \cos \omega_0 t &= a(t) \cdot \cos^2 \omega_0 t + b(t) \cdot \sin \omega_0 t \cdot \cos \omega_0 t = \\ &= \frac{a(t)}{2} + \frac{a(t)}{2} \cos 2\omega_0 t + \frac{b(t)}{2} \sin 2\omega_0 t \end{aligned}$$

первая равна половине действительной части комплексной огибающей $a(t)$, а вторая и третья – высокочастотные гармоники удвоенной частоты $2\omega_0$, которые подавляются фильтром нижних частот (ФНЧ).

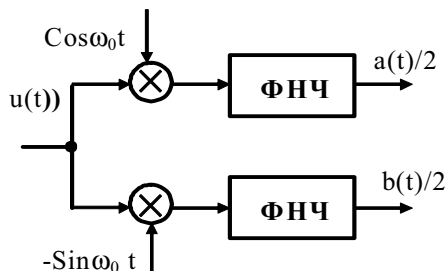


Рисунок 2 – Схема квадратурного гетеродина

Аналогично, сигнал, полученный при умножении узкополосного сигнала на синусоиду, содержит также две составляющие:

$$(7) \quad \begin{aligned} -s(t) \cdot \sin \omega_0 t &= -a(t) \cdot \cos \omega_0 t \cdot \sin \omega_0 t - b(t) \cdot \sin^2 \omega_0 t = \\ &= -\frac{b(t)}{2} + \frac{b(t)}{2} \cos 2\omega_0 t - \frac{a(t)}{2} \sin 2\omega_0 t \end{aligned}$$

первая равна половине мнимой части комплексной огибающей $b(t)$, а вторая и третья – высокочастотные гармоники удвоенной частоты $2\omega_0$, которые подавляются фильтром нижних частот (ФНЧ).

Использование этого метода в случае малоканальных устройств допустимо, однако в многоканальных ИИС сложных технических объектов использование аналоговых гетеродинов в каждом канале приводит к существенным затратам аппаратуры аналогового тракта и к увеличению неидентичности каналов. Кроме того, аналоговые умножители, как правило, имеют высокий уровень шумов.

Преодолеть эту трудность можно, используя цифровое квадратурное гетеродинирование после дискретизации и аналого-цифрового преобразования.

При этом первичная частота дискретизации должна быть достаточно высокой (в несколько раз выше несущей частота). Однако при цифровой фильтрации можно разбить цифровой фильтр низких частот на несколько каскадов (в данном случае используется два каскада) и после каждого каскада понижать частоту дискретизации в несколько раз, т.к. сигнал на выходе фильтра низкочастотный. Это позволяет сократить число операций. Такая процедура наиболее эффективна. Ниже проведена схема алгоритма многоканального цифрового тракта приема сигналов с цифровой фильтрацией низких частот (ЦФНЧ) и децимацией (ДЦ), построенного указанным образом (рисунок.3).

Разработанный алгоритм многоканального цифрового тракта сигналов, использующий составной цифровой фильтр, выполненный на базе фильтров с конечной импульсной характеристикой и фильтров с бесконечной импульсной характеристикой (КИХ и БИХ-фильтров), позволяет выделить из узкополосного сигнала его комплексную огибающую и синтезировать фильтр, обеспечивающий высокое подавление спектральных составляющих помех при минимально допустимых искажениях полезного сигнала многоканальных ИИС сложных технических объектов.

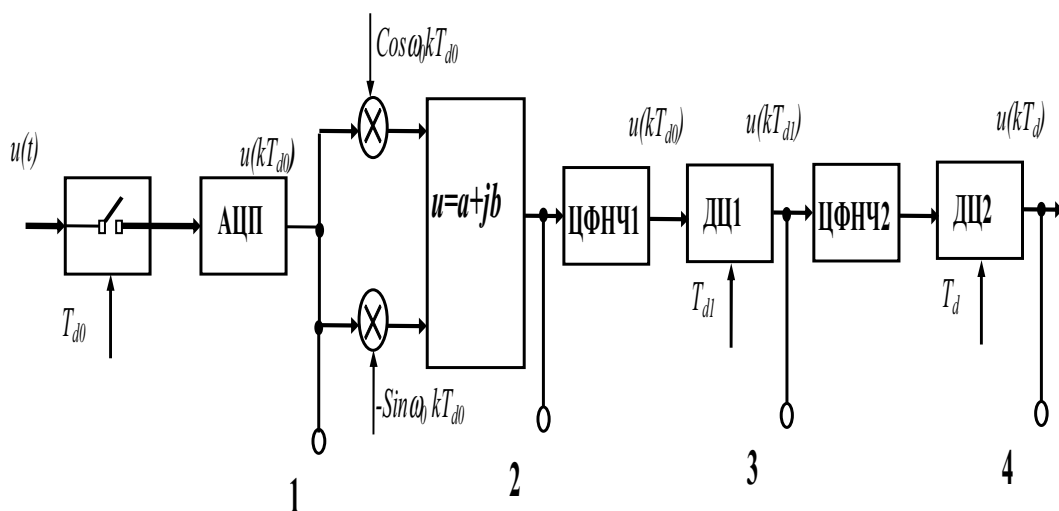


Рисунок 3 – Схема алгоритма многоканального цифрового тракта сигналов

Результаты расчетов АЧХ таких фильтров для многоканальных ИИС показывают возможность обеспечить прохождение полезного сигнала с минимальными линейными искажениями и гарантирует подавление паразитных составляющих, обусловленных дискретизацией сигналов, не менее чем в 1000 раз.

Заключение

Для оценки функциональной работоспособности и качественных показателей спроектированного фильтра в составе ИИС сложных технических объектов с учетом множества их эксплуатационных характеристик было проведено имитационное моделирование для различных видов тестовых сигналов. Проведенное имитационное моделирование подтвердило работоспособность разработанного составного фильтра и его высокие качественные показатели. Оценка общего результата цифровой фильтрации показала, как может быть повышена точность соответствия реальной и желаемой передаточной функции фильтров, т.е. устранена неидентичность частотных характеристик многоканальных ИИС с учетом реальных информационных погрешностей, порождаемых инструментальными и методическими погрешностями датчиков первичной информации, а также погрешностями преобразования, включающими погрешности квантования по уровню и времени.

Список литературы

- [1] Лэм Г. Аналоговые и цифровые фильтры. Расчет и реализация. – М.: Мир, 1998. – 258 с.
- [2] А.В. Кочемасов, Г.К. Чигарьков, Калибровка акустических антенных решеток // Проблемы управления и моделирования в сложных системах. Труды XII Международной конференции (ПУМСС-2010). – Самара: Самарский научный центр РАН – с. 382-386.
- [3] А.В. Кочемасов, М.Н. Ильина, Выбор структуры и алгоритмов цифровой фильтрации для прецизионных систем управления с высокой чувствительностью. // Материалы 7-й научно-технической конференции «Мехатроника, Автоматизация, управление» – Спб.: ОАО «Концерн «ЦНИИИ «Электронприбор». – 2010. – с.243-246.

МЕТОДЫ РАНЖИРОВАНИЯ НАПРАВЛЕНИЙ СОЗДАНИЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ЗАДЕЛА В ИНТЕРЕСАХ ФОРМИРОВАНИЯ ПРОГРАММЫ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

В.Н. Карпов¹, В.В. Кузнецов², В.Б. Чернышев¹

¹ ОАО «ЭКА»

141090, Юбилейный, Московская область, ул. Пионерская, 1/4, Россия

oaoeka@mail.ru

тел: +7 (495) 502-85-20

² Научно-организационное управление Российской академии наук

119991, Москва, Ленинский пр-т, 14, Россия

vvkuznecov@prezidium.ras.ru

тел: +7 (499) 237-82-94, факс: +7 (495) 952-04-48

Ключевые слова: внешнее окружение, приоритетность, научно-технические проблемы, векторные оценки, ранжирование, решающие матрицы

Abstract

Methods of ranging of directions of creation of a scientific and technical reserve in interests of formation of the program fundamental research with use of the SWOT-analysis and expert estimations are proposed.

Введение

Жизненная необходимость совершенствования управления процессом создания научно-технического задела (НТЗ) не нуждается в особом доказательстве. Высокая динамика изменения окружающей среды, особенно в части изменения технологий, технических образцов быстро сводят на – нет усилия, затраченные без учета их влияния. Необходимость совершенствования управления процессом создания научно-технического задела, обусловленная высокой динамичностью окружения, определяет особую роль этапов подготовки и оценки программы фундаментальных исследований. Главным образом, на этапе подготовки вносится та неопределенность, которая приводит в дальнейшем к отклонениям в возможности реализации планируемых образцов, технологических процессов и показателей эффективности.

Этап подготовки включает определение замысла, предназначения и целей программы фундаментальных исследований, определение ее границ, возможностей и угроз, а также предварительную оценку результативности, стоимости и реализуемости плана. Представленные для анализа отдельные научно-технические проблемы проходят этап ранжирования на основе системы обобщенных показателей.

1 Формирование и ранжирование НТЗ в условиях относительно стабильного внешнего окружения

В качестве формализованной модели процесса планирования при формировании НТЗ удобно выбрать канторовское представление, которое в более простом виде выражено матрицей (элементы матрицы m_{ij} могут быть элементами множества $(0,1)$, вероятностями p_{ij} , коэффициентами важности и пр.) [1].

Обозначим, следуя методу формирования решающих матриц при программно-целевом планировании, матрицу «задачи – техника» через $G_* = \|\gamma_{ij}^*\|$. Каждому столбцу матрицы G_*

пусть соответствует элемент множества задач $P(t) = \{p_1(t), p_2(t), \dots, p_{n1}(t)\}$, а каждой строке – элемент множества образцов $\bar{X}(t) = \{\bar{x}_i(t)\}$.

Элементами матрицы G_* будут нормированными коэффициентами вклада образцов в решение задач. При этом матрица G_* строится для каждого периода планирования методами экспертных оценок.

Из анализа матрицы G_* устанавливается, какие не удовлетворяются имеющимися в эксплуатации средствами, что учитывается при формировании матрицы «задачи – ОКР», которую обозначим $G = \|\gamma_{ij}(t)\|$.

Если накопленных к моменту t прикладных исследований недостаточно для начала некоторых ОКР, то для обеспечения таких ОКР необходимо задать множество прикладных исследований $D(t) = \{d_1(t), d_2(t), \dots, d_{n4}(t)\}$. В результате формируется матрица «ОКР – прикладные исследования», которую обозначим через $B(t) = \|\beta_{ij}(t)\|$.

Целями для матриц $B(t)$ являются множество ОКР, а средствами – множества $D(t)$. Отметим, что целями прикладных исследований могут быть не только множества ОКР, возникших из задач $P^\#(t)$, но и иные цели. Достижение этих целей позволяет решать новый класс задач, не содержащихся в исходных множествах $P(t)$, или пойти по новому направлению исследований $y_i(t)$. Этот факт отражает еще одни возможности расширить начальное множество M_0 для формирования НТЗ.

Не все множество $D(t)$ в периоде t может быть выполнено в виде, необходимом для осуществления ОКР. Некоторые из прикладных исследований не могут быть начаты, поскольку еще не получены необходимые результаты в области фундаментальных исследований. Тогда это подмножество $D^\#(t)$ образует цели фундаментальных исследований и также может расширяться за счет целей, поставленных самими исследователями в интересах развития фундаментальных исследований.

Обозначим все множество целей фундаментальных исследований через $\bar{D}(t)$, а все множество фундаментальных исследований через $M_0^\#$:

В результате рассмотренной последовательности формирования – от общих задач через задачи ОКР и прикладных исследований до задач фундаментальных исследований образуется последовательность решающих матриц $G(t) = \|\gamma_{ij}(t)\|$; $B(t) = \|\beta_{ij}(t)\|$; $A(t) = \|\alpha_{ij}(t)\|$. В каждой из этих матриц столбцам соответствует множество целей, а строкам – множество средств их достижения. Элементы α_{ij} , β_{ij} , γ_{ij} представляют собой нормированные коэффициенты вклада i -го средства в достижение j -й цели.

Из вектора P^0 коэффициентов важности можно получить ранжировку ОКР Q^0 , прикладных D^0 и фундаментальных НИР M^0 :

$$\begin{aligned} Q^0 &= GP^0; \\ (1) \quad D^0 &= BGP^0; \\ M^0 &= ABGP^0. \end{aligned}$$

Решающие матрицы, коэффициенты которых α_{ij} , β_{ij} , γ_{ij} определяются экспертами, являются основой всего процесса планирования, поскольку от задач идет поток требований на исследования и разработки, в том числе и на фундаментальные исследования. Обратно от фундаментальных исследований идет поток реализации новых идей в конкретных образцах и системах.

2 Ранжирование НТЗ в условиях динамичного внешнего окружения

Процесс формирования решающих матриц, изложенный выше применим к процессу формирования и ранжирования НТЗ при условии, что выполнено условие доминирования задач ОКР над задачами прикладных и фундаментальных исследований, а также задач прикладных исследований над фундаментальными. Такой подход, как показала практика, давал результаты с высокой достоверностью в условиях стабильного внешнего окружения.

В условиях динамичного внешнего окружения длительный процесс согласования в цепочке «задачи – ОКР – прикладные исследования – фундаментальные исследования» не позволяет надеяться на успешные решения, согласующиеся с динамикой внешнего окружения. Необходимо сокращение «этапов согласования».

Одним из таких путей является введение в представленную схему планирования «параллельной цепочки» - от задач через матрицу «направления развития» непосредственно к множеству объектов – проблем, исходному для формирования замысла НТЗ.

Образуем наряду с матрицей «задачи – ОКР» матрицу «задачи – направления развития»

$G_{np} = \|\gamma_{ij}^{np}(t)\|$ и множество направлений развития $Y(t) = \{y_1(t), y_2(t), \dots, y_{n3}(t)\}$. Элементы γ_{ij}^{np} ($0 \leq \gamma_{ij}^{np} \leq 1$) являются коэффициентами вклада направлений развития $y_i(t)$ в решение задач $p_i(t)$ и также определяются методами экспертных оценок.

Из анализа матрицы $G_{np} = \|\gamma_{ij}^{np}(t)\|$ устанавливаются задачи $P^\#(t) \subseteq P(t)$, недостаточно удовлетворяемые принятыми ранее направлениями развития.

Тогда, если накопленных к моменту t знаний о направлениях развития недостаточно, или от известных НИР и ОКР не ожидается «прорывных» результатов (в силу высокой неопределенности формирования исследований на предыдущих этапах), то для обеспечения направлений развития необходимо задать множество прикладных исследований $D^{np}(t) = \{d_1^{np}(t), d_2^{np}(t), \dots, d_{n4}^{np}(t)\}$.

В результате образуется матрица «направления развития – комплекс НИР», которую обозначим через $B^{np}(t) = \|\beta_{ij}^{np}(t)\|$. Целями для матриц $B(t)$ являются множества $Y^\#(t)$, а средствами – множества $D^{np}(t)$. Отметим, что целями этих исследований могут быть и множества целей, порождаемых необходимостью проверить (или продемонстрировать) некоторые из идей, возникших на этапе фундаментальных или прикладных исследований. Достижение этих целей позволяет решать новый класс задач, не содержащихся в исходных множествах $P(t)$, или пойти по новому направлению исследований $y_i(t)$. Этот факт отражает возможности расширить начальное множество M_0 .

Не все множество $D^{np}(t)$ в периоде t может быть выполнено в виде, необходимом для осуществления исследований. Некоторые из прикладных исследований $D^{\#np}(t) \subseteq D^{np}(t)$ не могут быть начаты, поскольку не все работы, включенные в план на предыдущем этапе работ,

оказались выполненными. Это подмножество $D^\#(t)$ образует цели формирования множества $D^{np}(t)$, являющегося начальным для формирования НТЗ.

Появляется, таким образом, необходимость во введении решающей матрицы «комплекс НИР – множество объектов - проблем»: $A^{np}(t) = \|\alpha_{ij}^{np}(t)\|$, в которой задачами является вектор $D^{np}(t)$, а «средствами» - множество $D^{np}(t)$.

В результате рассмотренной последовательности формирования – от задач через направления развития и комплекс исследований объектов – проблем до задач фундаментальных исследований образуется последовательность решающих матриц $G^{np}(t) = \|\gamma_{ij}^{np}(t)\|$ - $B^{np}(t) = \|\beta_{ij}^{np}(t)\|$ - $A^{np}(t) = \|\alpha_{ij}^{np}(t)\|$.

При известном векторе важности задач P^0 ранжирование направлений развития и объектов – проблем вытекает из следующих соотношений:

$$Y^0 = G^{np} P^0;$$

$$(2) \quad D^0 = B^{np} G^{np} P^0;$$

$$M^0 = ABGP^0;$$

где Y^0, D^0, M^0 – векторы коэффициентов важности направлений развития, НИР и объектов – проблем соответственно.

3 Некоторые результаты практического применения методов для ранжирования направлений создания НТЗ

Изложенные методы практически применялись, например, при анализе предложений по созданию НТЗ в интересах обеспечения деятельности инфраструктуры города Москвы. При этом всего анализировалось 265 проектов, в том числе 120 ОКР, 100 прикладных НИР и 45 фундаментальных исследований. Все проекты были сгруппированы в рамках восьми основных задач:

- разработка Стратегии развития города Москвы на период до 2025 года (0,14);
- анализ научно-инновационного потенциала города Москвы и создание новых элементов городской инновационной инфраструктуры (0,12);
- повышение эффективности и безопасности работы топливно-энергетического комплекса (ТЭК) города (0,10);
- утилизация твердых бытовых отходов (0,18);
- инженерно-геодезическое картографирование в целях развития единого геоинформационного пространства города Москвы (0,10);
- решения транспортных проблем города Москвы (0,20);
- совершенствование сферы образования (0,06);
- совершенствование сферы здравоохранения (0,10).

Относительная важность перечисленных задач указана в скобках.

В данном случае рассматривалась процедура ранжирования применительно к условиям относительно стабильного внешнего окружения. После построения с привлечением 10 экспертов решающих матриц (задачи - ОКР, ОКР – НИР и НИР – фундаментальные исследования) получено ранжирование фундаментальных исследований по четырем категориям, наиболее важные из которых приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Наиболее важные фундаментальные исследования в обеспечения деятельности инфраструктуры города Москвы

Ранг	Тематика исследований, проектных изысканий	Сроки	Задача
1	Создание методов и технологий для безопасной эксплуатации подземных хранилищ газа Московского региона	2012-2013 гг.	Повышение эффективности и безопасности работы ТЭК г. Москвы
	Разработка огнетеплозащитных композиционных полимерных материалов	2012-2013 гг.	
	Разработка сверхяркого источника в различных диапазонах спектра для контроля нанолитографического процесса	2011-2012 гг.	Инновации
	Разработка экологически чистой технологии термомеханического модифицирования древесных материалов	2011-2012 гг.	Утилизация твердых бытовых отходов
	Термохимическая безотходная переработка и утилизация отходов хозяйства г. Москвы в режимах сверхadiaбатического горения с получением энергии	2011-2012 гг.	
2	Полимерные материалы: санитарно-химическая, экологическая и пожарная безопасность в условиях формажора и утилизации	2011-2013 гг.	Утилизация твердых бытовых отходов
	Разработка методов ускорения распада твердых бытовых отходов	2011-2013 гг.	
	Создание экологически безопасных технологий получения высокочистых материалов (галлий, мышьяк) из отходов полупроводниковой промышленности	2011-2013 гг.	
	Системный анализ проблем становления особой экономической зоны внедренческого типа в г. Москве	2011 г.	Инновации
	Имитационное моделирование транспортных потоков Москвы и управление ими методами налоговой политики	2011-2012 гг.	
3	Анализ научно-инновационного потенциала г. Москвы и создание новых элементов городской инновационной инфраструктуры	2011-2012 гг.	
	Совершенствование механизмов формирования и функционирования городской инновационной системы	2011 г.	
4	Разработка образцов фотокаталитических устройств для очистки и обеззараживания воздуха в учреждениях г. Москвы	2011-2012 гг.	Здравоохранение
	Междисциплинарный анализ микробиологического и психического здоровья человека в условиях московского мегаполиса.	2011-2017 гг.	
	Фундаментальные исследования проблем правового обеспечения научно-инновационного потенциала г. Москвы	2011-2014 гг.	Инновации

К первому рангу отнесено 5 работ, ко второму тоже 5, к третьему и четвертому по 2 и 3 соответственно, остальные к пятому и более низким рангам. Проведенное ранжирование позволяет, исходя из имеющегося уровня финансирования рациональным образом сконцентрировать ресурсы на решении наиболее важных задач обеспечения деятельности инфраструктуры города Москвы.

Заключение

Представленные методы позволяют, проранжировав по важности задачи формируемого плана работ, с привлечением квалифицированных экспертов и использованием решающих матриц провести по приведенным формулам ранжирование предлагаемых к проведению прикладных и фундаментальных исследований. Введение дополнительной цепочки решающих матриц обеспечивает учет динамики внешнего окружения.

Список литературы

- [1] Кузнецов В.В. Архитектура процессов конструктивная модель формирования научно-технического задела, труды 4 ЦНИИ МО РФ, вып.88, 2007.

МЕТОДЫ ПОСТРОЕНИЯ ЛОГИЧЕСКИХ ФОРМ КРИТЕРИЕВ И ОЦЕНКИ ВЕРОЯТНОСТНО-ВРЕМЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК НЕПРЕРЫВНОСТИ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ В КРИЗИСНЫХ СИТУАЦИЯХ

В.П. Голиков, В.Б. Чернышев

ОАО «ЭКА»

141090, Юбилейный, Московская область, ул. Пионерская, 1/4, Россия

chernyshev vb@mail.ru

тел: +7 (495) 502-85-20

Ключевые слова: булевы формы, идентификация ситуации, контролируемые признаки, логическая форма критерия, централизованное управление

Abstract

Methods of the decision of problems of the analysis and synthesis of logical forms of criteria based on formation of a full set and the approximating set of logical forms possessing a number of wonderful properties was proposed.

Введение

В качестве процесса автоматического управления в сложной системе, состоящей из территориально-удаленных элементов, рассмотрим своевременное подключение резервного элемента для выполнения функции управления взамен основного элемента, вышедшего из строя в результате наступления одной из ожидаемых кризисных ситуаций. Данное событие идентифицируется по установленному заранее критерию на основе прямых и косвенных признаков кризисной ситуации. При этом информация о признаках, в общем случае, может поступать с перебоями и обладать ошибками, что соответственно, порождает ошибки в управлении. Ошибка первого рода (пропуск кризисной ситуации) приводит к потере управления в системе, а второго рода (ложная тревога) приводит к «избыточному» управлению из-за незаконного подключения резервного элемента. В целях снижения ошибок второго рода в системе предусмотрена «обратная связь» между элементами, при исправности которой блокируется возможность «избыточного» управления. Управление системой считается непрерывным, когда в течение заданного интервала времени функционирует *хотя бы* один элемент. Если при этом отсутствует «избыточное» управление (то есть функционирует *ровно* один элемент), то управление считается централизованным.

1 Постановка задачи и метод оценки вероятностно- временных характеристик непрерывности автоматического управления

По рассмотренному процессу управления возникают следующие вопросы:

- как оценить вероятностно-временные характеристики непрерывности автоматического управления такой системой (задача анализа);
- какие для данных контролируемых признаков выбрать критерии идентификации кризисных ситуаций, чтобы обеспечить наилучшие из возможных вероятностно-временные характеристики управления (задача синтеза).

Математическая постановка задачи анализа состоит в следующем.

Заданы:

вероятность выхода из строя основного элемента при наступлении кризисной ситуации $P_{кс}(t \leq t_3)$;

надежность функционирования обратной связи $P_{ос}(t \leq t_{зад})$;

логическая форма критерия, определяющая состав контролируемых признаков и их наборы для идентификации кризисной ситуации $F_{лфк}$ (для формализованного описания критерия используется аппарат булевой алгебры);

вероятности правильного и ошибочного обнаружения для каждого из контролируемых признаков $P_i(1,1)$, $P_i(0,1)$, а также вероятности получения этой информации системой $P_{пи}$.

Найти вероятности сохранения в системе непрерывного $P_{ны}(t \leq t_3)$ и централизованного $P_{цн}(t \leq t_3)$ управления, вероятность реализации избыточного управления $P_{иу}(t \leq t_3)$ и вероятность потери управления $P_{пу}(t \leq t_{зад})$.

Универсальная схема решения задачи, включает три этапа:

построение булевых форм для централизованного и непрерывного управления;

переход от булевых форм к вероятностным функциям и вычисление $P_{цн}(t \leq t_3)$ и $P_{иу}(t \leq t_3)$;

вычисление остальных характеристик управления $P_{иу}(t \leq t_3)$, $P_{пу}(t \leq t_3)$.

Для построения булевых форм необходимо описать всевозможные ситуации, порождаемые тремя группами логических переменных, отражающих реальное состояние основного элемента, исходы идентификации системой кризисной ситуации, а также состояние обратной связи.

Для системы из двух элементов введем следующие обозначения событий:

K – выход из строя основного элемента в результате кризисной ситуации;

A_i – получение i -го признака критической ситуации;

$B(1,1)$ – правильная идентификация кризисной ситуации;

$B(0,0)$, $B(0,1)$ – правильная и ошибочная идентификация отсутствия критической ситуации;

C – работоспособность обратной связи.

Тогда булева форма для централизованного управления имеет вид

$$(1) F_{цн} = K \cdot B(1,1) + \bar{K} \cdot (B(0,0) + B(0,1) \cdot C).$$

Булева форма для непрерывного управления включает логическую «добавку», которая отражает наличие избыточного управления. Она не зависит от логических переменных, соответствующих ошибочным исходам идентификации и работоспособности обратной связи:

$$(2) F_{ны} = \bar{K} + K B(1,1)$$

Нетрудно убедиться, что если перейти к безошибочному контролю, (т.е. если исходы правильной идентификации ситуации $B(1,1)$ и $B(0,0)$ положить истинными событиями, а ошибочной идентификации $B(0,1)$ – ложью, то получим:

$$F_{цн} = F_{ны} = \langle I \rangle,$$

что подтверждает достоверность выражений (1) и (2).

При построении вероятностных функций для непрерывного и централизованного управления достаточно каждую булеву переменную заменить вероятностной, поскольку все конъюнктивные формы ортогональны между собой.

$$(3) P_{цн}(t \leq t_3) = P_{кс}(t \leq t_3) P_{ид}(F_{лфк}) + (1 - P_{кс}(t \leq t_3)) (1 - (1 - P_{ос}(t \leq t_3)) P_{ош}(F_{лфк}));$$

$$(4) P_{иу}(t \leq t_3) = 1 - P_{кс}(t \leq t_3) + P_{кс}(t \leq t_3) P_{ид}(F_{лфк}),$$

где $P_{ид}(F_{лфк})$ и $P_{ош}(F_{лфк})$ – вероятности правильного и ошибочного исходов идентификации кризисной ситуации для заданной логической формы критерия $F_{лфк}$.

Формулы определения вероятностей полной группы возможных исходов идентификации ситуации для заданной логической формы критерия в зависимости от характеристик контролируемых признаков приведены в статье [1].

При 4-х контролируемых признаках и ЛФК по схеме «И»:

$$F_{\text{лфк}} = A_1A_2A_3A_4$$

выражения для искоемых вероятностей будут иметь вид:

$$(5) \quad P_{\text{ид}}(F_{\text{лфк}}) = \prod_{i=1}^4 P_i(1,1) P_i(0,1);$$

$$(6) \quad P_{\text{ош}}(F_{\text{лфк}}) = 1 - \prod_{i=1}^4 (1 - P_i(1,1) P_i(0,1)).$$

Остальные характеристики непрерывности управления определяются из очевидных соотношений

$$(7) \quad P_{\text{иу}}(t \leq t_3) = P_{\text{иу}}(t \leq t_3) - P_{\text{иу}}(t \leq t_3);$$

$$(8) \quad P_{\text{иу}}(t \leq t_3) = 1 - P_{\text{иу}}(t \leq t_3).$$

2 Методы построения логических форм критериев идентификации кризисной ситуации

Целевая функция задачи синтеза (определения рациональных вариантов ЛФК для заданного состава признаков) является многоэкстремальной. Поэтому отыскать ее экстремумы можно только путем формирования и оценки полного набора всех логических форм критериев, которые попарно неравносильны друг другу. С этой целью разработан метод формирования полного набора попарно неравносильных логических форм, который имеет свои особенности для ЛФК с параллельно-последовательными и с перекрестными связями.

Для ЛФК с параллельно-последовательными связями необходимо в исходной полностью конъюнктивной форме, последовательно заменять конъюнкции дизъюнкцией вначале для одной переменной, затем для двух и т.д., а затем формировать обратные (по отрицанию) формы. Для ЛФК с перекрестными связями вначале формируются исходные сочетания конъюнктивных форм из булевых переменных по два, по три и т.д., а затем исходные сочетания объединяются знаком дизъюнкции с условием включения каждой булевой переменной. Например, полный набор ЛФК для 4-х признаков включает 10 форм с параллельно-последовательными и 7 форм с перекрестными связями, приведенных в таблице 1.

Таблица 1 – Полный набор ЛФК для 4-х признаков

№ вар.	ЛФК с параллельно- последовательными связями	№ вар.	ЛФК с перекрестными связями
1	$A_1A_2A_3A_4$	11	$A_1A_2+A_3A_4+A_1A_3$
2	$(A_1+A_2)A_3A_4$	12	$A_1A_2+A_3A_4+A_1A_3$
3	$(A_1A_2+A_3)A_4$	13	$A_1A_2+A_3A_4+A_1A_3+A_2A_3+A_1A_4$
4	$(A_1+A_2+A_3)A_4$	14	$A_1A_2+A_3A_4+A_1A_3+A_2A_3+A_1A_4+A_2A_4$
5	$A_1A_2+A_3A_4$	15	$A_1A_2A_3+A_1A_2A_4+ A_1A_3A_4$
6	$(A_1+A_3)(A_2+A_4)$	16	$A_1A_2A_3+A_1A_2A_4+ A_3A_4$
7	$A_1A_2A_3+A_4$	17	$A_1A_2A_3+A_1A_2A_4+ A_1A_3A_4+A_2A_3A_4$
8	$(A_1+A_2)A_3+A_4$		
9	$A_1A_2+A_3+A_4$		
10	$A_1+A_2+A_3+A_4$		

При увеличении числа контролируемых признаков резко возрастает размерность полного набора и, соответственно, объем вычислений вероятностных функций. Решая эту проблему, в статье [2] для произвольного числа признаков предложен метод построения аппроксимирующей совокупности, являющейся подмножеством полного набора с упорядоченными вероятностными функциями. Логические формы строятся по получаемым из их порядковых номеров двоичным кодам, начинающихся с единицы, размерность которых равна числу признаков. При этом в зависимости от значения соответствующей позиции кода («1» или «0») булевы переменные признаков включаются в ЛФК по правилу конъюнкции или дизъюнкции. Например, 6-я по порядку логическая форма для 4-х признаков имеет код 1101 и записывается по коду следующим образом:

$$F(A) = (A_1 A_2 + A_3) A_4 .$$

Вероятностная функция также записывается по двоичному коду ЛФК способом ортогонализации. Самое важное свойство ее членов, что с увеличением порядкового номера вероятностная функция $F(P)$ убывает. А если при этом все аргументы равны 0,5, то доказано в виде теоремы, что убывает она строго линейно с шагом обратным числу членов. В таблице 2 приведен пример аппроксимирующей совокупности для 4-х признаков, включающей 8 форм с параллельно-последовательными связями из полного набора, а также значения вероятностной функции $F(P)$, убывающей с шагом 0,125 (1/8).

Таблица 2 – Аппроксимирующая совокупность ЛФК для 4-х признаков

№	Код	ЛФК	F(P)	№	Код	ЛФК	F(P)
1	1000	$A_1 + A_2 + A_3 + A_4$	0,9375	5	1001	$(A_1 + A_2 + A_3) A_4$	0,4375
2	1100	$A_1 A_2 + A_3 + A_4$	0,8125	6	1101	$(A_1 A_2 + A_3) A_4$	0,3125
3	1010	$(A_1 + A_2) A_3 + A_4$	0,6875	7	1011	$(A_1 + A_2) A_3 A_4$	0,1875
4	1110	$A_1 A_2 A_3 + A_4$	0,5625	8	1111	$A_1 A_2 A_3 A_4$	0,0625

Погрешность при использовании аппроксимирующей совокупности вместо полного набора составляет не более 5% и стремится к нулю при увеличении числа признаков. Зато наряду с удобством формирования вариантов и вычисления вероятностной функции существенно облегчается поиск ее экстремума, так как он зависит только от одной переменной (порядкового номера).

Результаты решения задачи оценки ВВХ управления для принятых исходных данных при различных ЛФК из таблицы 2 приведены на рисунке 1.

При изменении ЛФК от схемы «И» (код 1111) до полной схемы «ИЛИ» (код 1000) вероятность потери непрерывного управления от наибольшего (0,472) снижается и стремится к предельному уровню (0,0381), однако вероятность избыточного управления при этом растет от 0,0001 до 0,1357. Вероятность потери централизованного управления находится между значениями 0,0375 и 0,47. Выбрать рациональный вариант ЛФК можно либо по максимуму вероятности централизованного управления, либо по минимуму вероятности избыточного управления, либо исходя из заданных ограничений на одну или обе из этих характеристик.

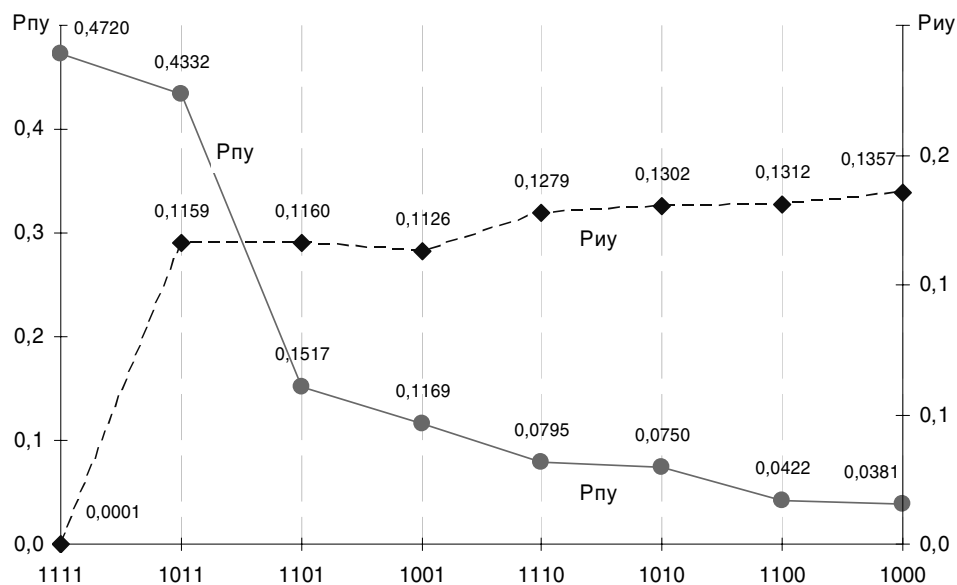


Рисунок 1 – Вероятности потери управления $P_{пу}(t \leq t_3)$ и вероятности избыточного управления $P_{иу}(t \leq t_3)$ при различных ЛФК

Заключение

Рассмотренные методы построения логических форм критериев и оценки вероятностно-временных характеристик непрерывности автоматического управления в кризисных ситуациях изложены на примере АСУ, включающей два элемента – основной и резервный. Более общие методы формирования булевых форм для АСУ с произвольным числом элементов рассмотрены в статье [3], с использованием которых можно оценивать вероятностно-временные характеристики непрерывности автоматического управления для более сложных систем.

Список литературы

- [1] Чернышев В.Б. Показатели достоверности оценки состояния управляющих центров АСУ при неполной и частично недостоверной информации взаимного контроля и способы их вычисления. Двойные технологии, 2002, – № 4.
- [2] Голиков В.П., Чернышев В.Б. Способ построения одного класса параллельно-последовательных графов, используемых при синтезе АСУ. Стратегическая стабильность, 2004, – № 4.
- [3] Чернышев В.Б. Способ оценки вероятностно- временных характеристик сохранения централизованного управления в АСУ при неполной и частично недостоверной информации контроля. Стратегическая стабильность, 2003, – № 1.

АНАЛИТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ СЛОЖНОЙ ТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМОЙ В КРИЗИСНЫХ СИТУАЦИЯХ В УСЛОВИЯХ ЧАСТИЧНОЙ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

К.К. Бессонов, В.П. Голиков, В.Б. Чернышев

ОАО «ЭКА»

141090, Юбилейный, Московская область, ул. Пионерская, 1/4, Россия

oaoeka@mail.ru

тел: +7 (495) 502-85-20, факс: +7 (495) 502-85-15

Ключевые слова: аналитическая модель, кризисная ситуация, система, управление, признак, апостериорная вероятность, логическая форма

Abstract

The analytical model of control by difficult technical system at crisis situations by consider mistakes of formation of sign about a situation and their unreduced possibility, was proposed.

Введение

Объектом рассмотрения в данной статье является техническая система, функционирующая в нормальных (докризисных) и в условиях кризисной ситуации (КС).

Процесс управления этой системой сводится к постоянному или периодическому мониторингу параметров (признаков) обстановки, сбору и обработке совокупности принятых признаков на цикле контроля, формированию решения о наступлении кризисной ситуации и выработке некоторого управляющего воздействия (сигнала тревоги, изменение режимов функционирования и т.п.). Условия частичной неопределённости при управлении системой могут быть вызваны ошибками в определении признаков ситуации и возможностью потери (недостатки) информации о признаках. Обобщенная схема управления технической системой показана на рисунке 1.

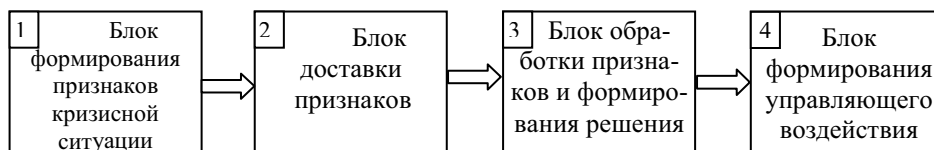


Рисунок 1 – Обобщенная схема управления технической системой

В предлагаемой ниже аналитической модели блок «1» является источником признаков о кризисной ситуации. Считается, что признаки формируются независимо друг от друга (независимыми источниками), при этом информация отдельных источников может быть как достоверной, так и ошибочной, а также противоречить друг другу.

Блок «2» учитывает возможность, как доставки, так и потери каждого отдельного признака.

В блоке «3» накапливаются поступающие из блока «2» признаки и производится по определенным логическим правилам и алгоритмам их обработка. При выполнении условий, заданных в логических правилах, формируется решение (правильное или ошибочное) о наступлении кризисной ситуации.

В блоке «4» на основе сформированного в блоке «3» решения вырабатывается соответствующее управляющее воздействие и система может перейти в другое состояние. При этом в

двух случаях исход управления может соответствовать обстановке, а в двух – быть ошибочным.

Модель разработана с учетом следующих предпосылок:

- информация i -го признака об обстановке является двузначной: « i -ый признак соответствует КС» $\cdot C_i$ и « i -ый признак не соответствует КС» $\cdot \bar{C}_i$ и может содержать ошибки 1-го и 2-го рода по отношению к реальной обстановке;
- сформированный в блоке «1» признак (C_i или $\bar{C}_i$) может быть доведён $\cdot A_i$ или не доведён $\cdot (\bar{A}_i)$ до блока «3»;
- анализ совокупности накопленных признаков (C^*) осуществляется в течение заданного цикла управления;
- за начало отсчёта цикла принимается момент поступления первого признака;
- совокупность накопленных признаков C^* перед обработкой по заданному логическому правилу (F_n) может подвергаться «нормализации» – удалению признаков типа $\bar{C}_i$ (далее исследуется совокупность признаков с нормализацией и без нормализации).

1 Формализованная постановка задачи и основные расчётные соотношения модели

При разработке аналитической модели используется Бейсовский аппарат апостериорных вероятностей, позволяющий на основе анализа информации признаков оценить вероятности наступления или отсутствия кризисной ситуации, а в случае противоречивости полученной от различных источников информации принять решение о наиболее правдоподобном исходе.

Формализованная постановка задачи на разработку модели имеет следующий вид при заданных исходных данных:

- $P(B)$ – априорной вероятности наступления кризисной ситуации (состояния «В») к моменту времени T_k ;
- $P(C_i/B)$ – условной вероятности правильного формирования i -ым источником признака о наступлении КС к моменту времени T_k ;
- $P(\bar{C}_i/\bar{B})$ – условной вероятности ошибочного формирования i -ым источником признака о наступлении КС к моменту времени T_k ;
- $P_d(A_i)$ – вероятности доставки признака от i -го источника к моменту времени T_k ;
- C^* – совокупности всех принятых признаков (типа C_i и $\bar{C}_i$) к моменту времени T_k ;
- n – числа источников информации о признаках C_i или $\bar{C}_i$;
- $F_n(C_i, \bar{C}_i)$ – логическом правиле обработки совокупности признаков C^*

разработать аналитические выражения, позволяющие для нормализованной и ненормализованной совокупности признаков C^* вычислить апостериорные вероятности:

$P(B/C)$ – наступления кризисной ситуации при формировании решения о КС;

$P(\bar{B}/\bar{C})$ – отсутствия кризисной ситуации при не формировании решения о КС;

$P(\bar{B}_y/\bar{C})$ – сохранение системы в исходном состоянии при отсутствии КС,

$P(B_y/C)$ – перевод системы в другое состояние при наличии КС;

а также, в случае противоречивости информации в совокупности признаков C^* – предложить способ её разрешения. При необходимости возможно и вычисление апостериорных вероятностей ошибок первого и второго рода $P(\bar{B}/C)$ и $P(B/\bar{C})$, которые определяются из очевидных соотношений

$$(1) \quad P(B/C) + P(\bar{B}/C) = 1.$$

$$(2) \quad P(\bar{B}/\bar{C}) + P(B/\bar{C}) = 1.$$

Поскольку управляющее воздействие в блоке «4» является прямым следствием сформированного в блоке «3» решения, то все численные оценки представлены применительно к этому решению, что эквивалентно состоянию системы состоянию.

При оценке показателей $P(B/C)$ и $P(\bar{B}/\bar{C})$ используется методический аппарат теории гипотез (формула Байеса) в виде

$$(3) \quad C_i = B_1 \cdot C_i + \bar{B}_1 \cdot C_i.$$

Выражение (3) является тождеством, так как

$$(4) \quad B_1 \cdot C_i + \bar{B}_1 \cdot C_i = C_i (B_1 + \bar{B}_1) = C_i \cdot I = C_i.$$

Получим аналитические зависимости для указанных показателей $P(B/C)$ и $P(\bar{B}/\bar{C})$ вначале для случая, когда признаки C_i и $\bar{C}_i$ доводятся без потерь (т.е. вероятность доставки признаков $P_d(A_i)$ равна единице, при этом постепенно будем увеличивать число подсистем формирования признаков КС.

Пусть имеется одна подсистема формирования признаков КС. Получим формулы для указанных показателей относительно к виду логической функции $F_n(C_i)$ для случаев, когда получен признак C_1 или $\bar{C}_1$, т.е. $C^* = C_1$ или $C^* = \bar{C}_1$.

Используя формулу Байеса, получим

$$(5) \quad P(B/C_1) = P(B) \cdot P(C_1/B) / \{P(B) \cdot P(C_1/B) + P(\bar{B}) \cdot P(C_1/\bar{B})\}.$$

Аналогично получаем

$$(6) \quad P(\bar{B}/\bar{C}_1) = P(\bar{B}) \cdot P(\bar{C}_1/\bar{B}) / \{P(\bar{B}) \cdot P(\bar{C}_1/\bar{B}) + P(B) \cdot P(\bar{C}_1/B)\}.$$

Учитывая, что

$$(7) \quad P(\bar{C}_1/\bar{B}_1) = 1 - P(C_1/\bar{B}),$$

$$(8) \quad P(\bar{C}_1/B) = 1 - P(C_1/B),$$

получим окончательно

$$(9) \quad P(\bar{B}/\bar{C}_1) = P(\bar{B}) \cdot [1 - P(C_1/\bar{B})] / \{P(\bar{B}) \cdot [1 - P(C_1/\bar{B})] + P(B) \cdot [1 - P(C_1/B)]\}.$$

Рассмотрим более сложный случай, когда имеются два источника формирования признаков КС и оба источника выдают одинаковый результат о наступлении ($C^* = C_1 \cdot C_2$) и не наступлении ($C^* = \bar{C}_1 \cdot \bar{C}_2$) кризисной ситуации.

Для первого показателя имеем

$$(10) \quad P(B/C_1 \cdot C_2) = P(B) \cdot P(C_1/B) \cdot P(C_2/B) / \{P(B) \cdot P(C_1/B) \cdot P(C_2/B) + P(\bar{B}) \cdot P(C_1/\bar{B}) \cdot P(C_2/\bar{B})\},$$

Для второго показателя

$$(11) \quad P(\bar{B}/\bar{C}_1 \cdot \bar{C}_2) = P(\bar{B}) \cdot [1 - P(C_1/\bar{B})] \cdot [1 - P(C_2/\bar{B})] / \{P(\bar{B}) \cdot [1 - P(C_1/\bar{B})] \cdot [1 - P(C_2/\bar{B})] + P(B) \cdot [1 - P(C_1/B)] \cdot [1 - P(C_2/B)]\}.$$

С увеличением числа под формирования признаков КС формулы для указанных показателей при условии, что данные признаков всех систем совпадают (т.е. все признак только типа C_i или $\bar{C}_i$) легко получаются из формул (5)-(11).

Рассмотрим далее случай, когда имеются два источника формирования признаков КС и получаемая от них информация противоречива, например типа C_1 и $\bar{C}_2$ (т.е. $C^* = C_1 \cdot \bar{C}_2$; по данным первой системы имеет место КС, т.е. событие В, а по данным второй – КС не имеет место, т.е. событие $\bar{B}$). Для того, чтобы решить какое же событие на самом деле имеет место (В или $\bar{B}$) в [1] предлагается использовать принцип «наибольшего правдоподобия» апостериорных вероятностей $P(B/C_1 \cdot C_2)$ и $P(\bar{B}/\bar{C}_1 \cdot \bar{C}_2)$. Если величина первой вероятности больше ве-

личины второй вероятности, то принимается признак C_1 (событие B), в противном случае $\bar{C}_2$ (событие $\bar{B}$).

Величины указанных вероятностей вычисляются по нижеприводимым следующим формулам. Для первой апостериорной вероятности имеем:

$$(12) P(B/C_1, \bar{C}_2) = P(B) \cdot P(C_1/B) \cdot P(\bar{C}_2/B) / \{P(B) \cdot P(C_1/B) \cdot P(C_2/B) + \\ + P(\bar{B}) \cdot P(C_1/\bar{B}) \cdot P(\bar{C}_2/\bar{B})\}.$$

Преобразуя полученную формулу получим:

$$(13) P(B/C_1, \bar{C}_2) = P(B) \cdot P(C_1/B) \cdot [1 - P(C_2/B)] / \{P(B) \cdot P(C_1/B) \cdot P(C_2/B) + \\ + P(\bar{B}) \cdot P(C_1/\bar{B}) \cdot [1 - P(C_2/\bar{B})]\}.$$

Вторая апостериорная вероятность вычисляется в соответствии со следующим выражением

$$(14) P(\bar{B}/C_1, \bar{C}_2) = 1 - P(B/C_1, \bar{C}_2).$$

Формулы (13) и (14) для указанных выше двух вероятностей вычислялись без использования нормализации совокупности признаков C^* (учитывались как признак C_i , так и $\bar{C}_i$). Если же использовать процедуру нормализации совокупности C^* , то признак $\bar{C}_2$ должен быть отброшен (т.е. приравнен к ошибочной информации).

В последнем случае вместо формулы (13) необходимо использовать формулу (5).

Проведём учет в разработанных выше формулах для апостериорных вероятностей вероятности доставки информации $P_d(A_i)$ о признаках C_i и $\bar{C}_i$.

Пусть вначале имеется одна подсистема формирования признака о КС. Вполне очевидно, что если признак C_i будет доставлен в блок обработки информации, то вероятность события B будет равна апостериорной информации, рассчитанной по ранее приведенной формуле (5). Если же признак C_i не будет доставлен, то вероятность события B будет равна априорной вероятности. В итоге получаем, что с учётом вероятности доставки апостериорная вероятность $P^*(B/C_1)$ вычисляется по формуле

$$(15) P^*(B/C_1) = P_d(A_i) \cdot P(B/C_1) + P_d(\bar{A}_i) \cdot P(B),$$

где $P_d(\bar{A}_i) = 1 - P_d(A_i)$.

Пусть далее имеются два источника формирования признаков о КС и в оба сформировали признаки C_1 и C_2 соответственно. Возможны следующие варианты ситуаций событий доведения признаков: $A_1 A_2$, $A_1 \bar{A}_2$, $\bar{A}_1 A_2$ и $\bar{A}_1 \bar{A}_2$. Поэтому формула для вероятности $P^*(B/C_1 C_2)$ будет иметь следующий вид

$$(16) P^*(B/C_1 C_2) = P_d(A_1) \cdot P_d(A_2) \cdot P(B/C_1 C_2) + P_d(A_1) P(B/C_1) P_d(\bar{A}_2) P(B) + \\ + P_d(\bar{A}_1) P(B) P_d(A_2) P(B/C_2) + P_d(\bar{A}_1) P_d(\bar{A}_2) P(B).$$

Аналогичным образом вычисляются апостериорные вероятности P^* для других вариантов комбинаций признаков о КС с учётом их доставки.

2 Примеры использования модели и их анализ

Рассмотрим численный пример, в котором приходит противоречивая информация от двух источников типа C_1 и $\bar{C}_2$.

Для упрощения расчетов вероятности доставки признаков будем считать равными единице и ошибки первого и второго рода источников одинаковыми ($P(\bar{C}_i/B) = P(C_i/\bar{B})$), а следовательно $P(C_i/B) = P(\bar{C}_i/\bar{B})$. Пусть далее априорная вероятность наступления КС $P(B) = 0,7$, следовательно $P(\bar{B}) = 0,3$. Принимаем также, что $P(C_1/B) = 0,9$, $P(C_2/B) = 0,6$. Считаем, что

обработка признаков осуществляется без нормализации совокупности, т.е. учитывает как признаки C_i , так и $\bar{C}_j$. Проведя вычисления по формулам (14) и (15) получим, что $P(B/C_1 \cdot \bar{C}_2) = 0,93$, а $P(\bar{B}/C_1 \cdot \bar{C}_2) = 0,07$. Поскольку апостериорная вероятность события B , что КС наступила значительно выше вероятности $\bar{B}$ (КС не наступила) следует признак $\bar{C}_2$ отбросить и признать признак C_1 достоверным.

Следует отметить, что если рассмотренные выше источники обладают одинаковыми характеристиками, т.е. например, $P(\bar{C}_1/B) = P(\bar{C}_2/B) = 0,1$, то в условиях рассмотренного примера апостериорная вероятность $P(B/C_1 \cdot \bar{C}_2)$ будет равна априорной вероятности $P(B) = 0,7$ и вероятность $P(\bar{B}/C_1 \cdot \bar{C}_2) = P(B) = 0,3$. То есть, в случае противоречивости информации одинаковых по качеству источников данные признаков о КС никакой дополнительной информации не несут.

Представляет интерес задача сравнения по показателям правдоподобия (апостериорным вероятностям) двух указанных выше способов обработки совокупности признаков C^* : без нормализации и с нормализацией.

Сравнительную оценку алгоритмов проведем на примере трех источников формирования признаков о КС. Пусть общий признак B о наступлении КС формируется в системе при подтверждении его не менее чем двумя любыми источниками информации. Формальная запись логического правила $F_n(C_i)$ для алгоритма с нормализацией совокупности признаков C^* имеет в этом случае следующий вид

$$(17) F_n(C_i) = C_1 \cdot C_2 + C_1 \cdot C_3 + C_2 \cdot C_3,$$

где « $\cdot$ » и « $+$ » – знаки логического произведения и суммы.

Допустим, что получена следующая совокупности признаков C^*

$$(18) C^* = C_1 \cdot C_2 \cdot \bar{C}_3.$$

Зафиксируем далее для первых двух источников информации значения вероятностей $P(C_1/B)$ и $P(C_2/B)$ и проследим каким образом изменяются значения апостериорных вероятностей $P(B/C_1 \cdot C_2 \cdot \bar{C}_3)$ и $P(\bar{B}/C_1 \cdot C_2 \cdot \bar{C}_3)$ при варьировании вероятностью $P(C_3/B)$ в случае использования двух алгоритмов обработки информации: с нормализацией и без нормализации совокупности признаков C^* .

Пусть численные значения $P(B) = 0,7$, $P(\bar{C}_1/B) = P(C_1/\bar{B})$, $P(C_1/B) = 0,6$, $P(C_2/B) = 0,5$. Величина вероятности $P(C_3/B)$ варьируется от 0,5 до 1,0.

Результаты расчетов в виде графиков вероятностей $P(B/C_1 \cdot C_2)$ и $P(\bar{B}/C_1 \cdot C_2)$ (для алгоритма с нормализацией совокупности признаков C^*) и вероятностей $P(B/C_1 \cdot C_2 \cdot \bar{C}_3)$ и $P(\bar{B}/C_1 \cdot C_2 \cdot \bar{C}_3)$ (без нормализации) приведены на рисунке 2.

Анализ значений апостериорных вероятностей для алгоритма с нормализацией $P(B/C_1 \cdot C_2)$ и $P(\bar{B}/C_1 \cdot C_2)$ для принятых исходных данных показывает (горизонтальные прямые на рисунке 2), что на всем диапазоне изменения параметра $P(C_3/B)$ более правдоподобной является гипотеза о том, что КС наступила (0,78 против 0,22).

При использовании же алгоритма без нормализации гипотеза о том, что КС наступила, имеет место лишь до значения $P(C_3/B) = 0,77$. Далее наблюдается возрастание апостериорной вероятности, что КС не наступила, и убывание противоположного события. При значении $P(C_3/B) \approx 0,92$ показатели правдоподобия при использовании указанных выше первого и второго алгоритма имеют противоположные значения. В этом случае объективно должна быть принята гипотеза, что КС не наступила, т.е. принят признак $\bar{C}_3$ (событие $\bar{B}$), а признаки C_1 и C_2 (соответственно событие B) отброшены.

Приведенный пример показывает, что для принятых исходных данных, когда условные вероятности правильного формирования признаков незначительно отличаются друг от друга

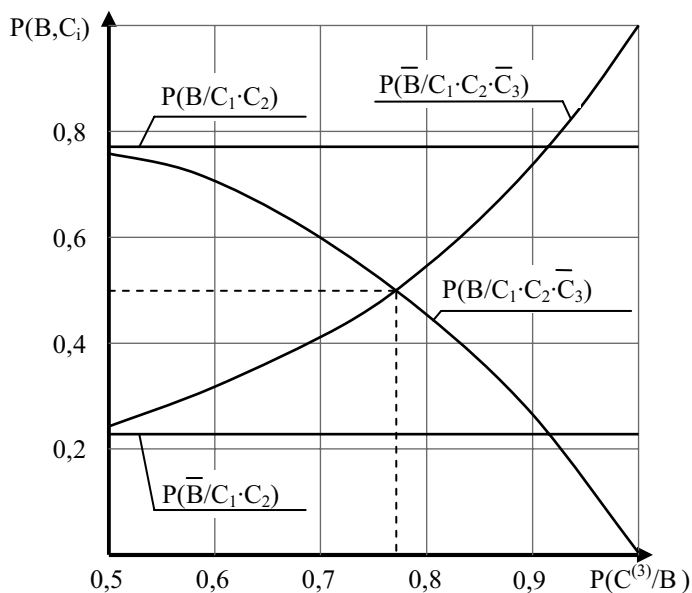


Рисунок 2 – Пример оценки апостериорных вероятностей для двух алгоритмов обработки совокупности признаков о КС

(находятся в пределе 0,5 – 0,7), разрешение противоречивости информации может осуществляться с использованием алгоритма с нормализацией.

В случае же значительного расхождения значений указанных вероятностей (0,9 и более против 0,5 – 0,6) предпочтение необходимо алгоритму без нормализации признаков C^* .

Следует заметить, что в процессе функционирования технической системы необходимость в проведении расчетов по предложенным выше формулам при выработке решения о КС может возникнуть лишь в случае, когда в зависимости от складывающейся обстановки значения исходных данных – безусловных и условных вероятностей с течением времени изменяются.

Если же указанные исходные данные по вероятностям не изменяются, то расчётные процедуры могут быть заменены на чисто логические. При этом полный набор противоречивых ситуаций и логика разрешения противоречивости может быть учтена непосредственно в логической форме $F_n(C_i, \bar{C}_j)$.

Так, при использовании алгоритма с нормализацией разрешение противоречия осуществляется следующей тривиальной подстановкой (заменой):

$$(19) \quad \bar{C}_i C_j C_k \Rightarrow C_j C_k,$$

т.е. отбрасыванием признаков $\bar{C}_i$.

Если же используется алгоритм без нормализации признаков C^* , то, например, применительно к исследуемому выше случаю (рисунок 2), когда признак $\bar{C}_3$ является доминирующим может быть использована следующая логическая форма

$$(20) \quad F_n(A_3 C_i) = C_1 C_2 \bar{A}_3 + C_1 C_3 + C_2 C_3.$$

Особенность данной логической формы заключается в наличии в ней признака $\bar{A}_3$ – отсутствие информации (неполучение) признака C_3 . Легко проверить, что при получении совокупности признаков типа $C_1 C_2 \bar{C}_3$ логическая форма (20) не принимает истинного значения.

Далее условно полагаем, что вероятности перевода системы в другое состояние ($P(B_y/C)$) и сохранения в исходном состоянии ($P(\bar{B}_y/\bar{C})$) равны соответствующим вероятностям формирования решения о КС $P(B/C)$ и $P(\bar{B}/\bar{C})$ соответственно.

Применение алгоритма, учитывающего как признаки C_i , так и $\bar{C}_j$, повышает достоверность формирования решения о КС и перевода системы в соответствующее состояние.

Заключение

Разработанная аналитическая модель управления технической системой в кризисных ситуациях позволяет проводить оценку показателей управления, представленных апостериорными вероятностями перевода системы в соответствующее состояние с учётом ошибок формирования и возможности не доведения сформированных признаков. Предложены два алгоритма обработки совокупности признаков, содержащих данные о наступлении и не наступлении кризисной ситуации (алгоритм с нормализацией и без нормализации) от разных источников.

Исследованы области изменения вероятностных характеристик признаков применительно к двум указанным алгоритмам и выданы рекомендации по их рациональному использованию. Предложен способ разрешения противоречивости информации в совокупности принятых признаков.

Список литературы

- [1] Вентцель Е.С. Теория вероятностей, «Наука», М., 1964.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕЧЁТКОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ КОРПОРАТИВНОЙ ИНФОРМАЦИОННО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ

Е.К. Герасимова¹, Г.И. Горемыкина²

¹Тамбовский государственный технический университет
392000, Тамбов, ул. Советская, 106, Россия

²Балашовский институт Саратовского государственного университета
412300, Балашов, ул. К. Маркса, 19, Россия
ggigek@mail.ru
тел: +7 (84545) 4-24-10

Ключевые слова: класс обслуживания, количественная оценка качества, нечёткая информация, нечёткое моделирование, система нечёткого логического вывода, экспертная оценка

Abstract

In the article authors analyzed the estimation of quality of corporate network of enterprise. The built mathematical model of the fuzzy system can be applied as a universal tool for the estimation of quality network.

Введение

Для большинства предприятий расширение производства и выход на новые рынки сбыта продукции подразумевает создание собственной корпоративной информационно-вычислительной сети (КИВС), которая представляет собою сложную техническую программно-аппаратную систему с разветвлённой инфраструктурой и транспортными средствами передачи информации. От качественной работы такой системы во многом зависит экономическая эффективность работы компании.

К качеству будущей сетевой инфраструктуры и параметрам соглашения об уровне сетевых сервисов предъявляются повышенные требования. Реализация же проектов сети требует привлечения больших объёмов финансовых ресурсов, что во многом усложняет проведение экспериментов в реальном масштабе времени для исследования параметров качества функционирования сети. Поэтому в настоящее время всё большее развитие и распространение получает математическое моделирование, позволяющее получить информацию о поведении системы или отдельных её подсистем, как на этапе создания, модернизации, так и в процессе эксплуатации.

Как правило, администраторов корпоративных сетей или сетевых интеграторов интересуют именно поиск рациональных вариантов решения задачи оптимизации сети для повышения качества её работы. Поиск заключается в анализе (измерении, диагностике, локализации ошибок) и синтезе (принятии решения о том, какие изменения надо внести в работу сети).

При этом задача анализа требует более активного участия человека и использование таких сложных средств как экспертные системы, которые интегрируют практический опыт многих специалистов данной области. Задача же синтеза рационального варианта по оценке качества сети, чаще всего, связана с выбором большого и разнородного множества параметров. Задача усложняется, когда решение приходится принимать при использовании информации высокой степени гранулированности. Такая ситуация возникает очень часто, так как причины, влияющие на выбор в целом носят не только технический характер, но и зависят от ряда обстоятельств, имеющих коммерческий, политический и т.п. характер. Поэтому, ориентируясь на конкретные предпочтения компании, авторами была предложена методика определения

количественной оценки качества функционирования сети, основанная на применении теории нечётких множеств. Появившаяся же возможность количественной оценки качества КИВС послужила необходимым условием для управления её качеством. В результате авторами была разработана математическая модель нечёткой системы оценки и управления качеством КИВС.

Процесс разработки системы оценки качества был реализован в среде *MatLab* с использованием пакета *Fuzzy Logic Toolbox* и интерактивного модуля *fuzzy*.

1 Выявление совокупности параметров, определяющих качество КИВС

Многие предприятия имеют свои филиалы практически по всей территории страны. По мере роста бизнеса, развития предприятия, увеличения численности персонала, повышения требований к организации связи между офисами становится актуальным вопрос об объединении всех существующих ресурсов в единую корпоративную сеть. При этом одного объединения и создания корпоративной сети для эффективной работы предприятия на протяжении хотя бы пяти-десяти лет недостаточно.

Необходимо, во-первых, коррелировать направление развития КИВС предприятия с развитием научно-технического прогресса, с развитием всего сетевого мира, чтобы не завести сеть в тупик, а во-вторых, найти компромисс между потребностями предприятия в обработке циркулирующей информации, его финансовыми возможностями и возможностями сетевых и информационных технологий в настоящем и ближайшем будущем.

Перед авторами была поставлена следующая задача. Необходимо разработать систему оценки и управления качеством проектируемой КИВС конкретного предприятия. Предприятие имеет распределённую структуру и хочет повысить организацию связи и передачу данных в свои подразделения путём построения корпоративной сети. На современном этапе КИВС предъявляют высокие требования к готовности сети, её пропускной способности и интеллектуальности, то есть способности гибко и качественно обрабатывать трафик различного типа (данные, голос, видео). Предприятие выдвигает следующие требования к проектируемой сети: интеграция с существующими сетями, другими технологиями и обеспечение совместимости продукции различных фирм-производителей; расширение видов услуг, прежде всего передачи голоса, данных бизнес-приложений, конференцсвязь, видеоконференцсвязь и др.; возможность предоставления канала связи с гарантированными значениями (возможность управления качеством обслуживания); обеспечение высоких скоростей передачи информации и малое время задержки сигнала; достаточный запас по основным техническим параметрам для развития КИВС, по меньшей мере, на ближайшие пять-десять лет.

Подход к решению данной задачи может быть самым разным, и в очень большой степени зависит от конкретных предпочтений предприятия. Необходимо найти наилучший вариант с точки зрения качества функционирования, который обеспечивал бы на всём протяжении сети, независимо от её масштабов и используемых протоколов, циркуляцию данных в рамках определённых параметров качества. Для этого были выявлены основные параметры, определяющие качество КИВС. Ими, по мнению экспертов, стали: *готовность сети* (availability); *пропускная способность* (throughput); *задержка* (delay); *вариация задержки* (jitter); *потери пакетов* (packet loss). Ниже приводится краткая характеристика каждого из указанных параметров.

Готовность сети – доступность сетевого ресурса в течение всего срока эксплуатации. Готовность сети оценивается временем простоя предприятия в год: чем меньше время простоя, тем выше готовность сети. Время простоя в результате выхода из строя или ухудшения работы сети отражается непосредственно на доходах предприятия. Пропускная способность – это максимально возможная скорость передачи информации в сети. Она является одним из основных параметров, так как для корпоративных сетей характерна неравномерная структура тра-

фика, всплески и падения. Поэтому, если порт небольшой пропускной способности, то в те моменты, когда трафик велик, и сеть испытывает нагрузки, качество передачи будет падать. Задержка характеризует интервал между приёмом и передачей пакетов. Вариация задержки – параметр, описывающий возможные отклонения от времени задержки при передаче пакетов. Потери пакетов возникают, когда один или более пакетов с данными, передаваемыми по сети, не доходит до своего адресата.

К изменениям этих параметров сетевые сервисы чувствительны в разной степени. В моменты перегрузок в сети параметры начинают ухудшаться, и в итоге страдают все критически важные сетевые сервисы. Специалисты предприятия предполагают реализовать политику дифференцированного обслуживания трафика сетевых сервисов (Quality of Service, сокращённо QoS), что позволит обеспечить функционирование критических сервисов за счёт ограничения трафика менее важных сетевых приложений. Однако для обеспечения качественного функционирования критически важных для предприятия приложений в корпоративной сети реализации только политики дифференцированного обслуживания недостаточно. Даже при успешной работе QoS в моменты перегрузок перед компанией возникнут задачи, которые не решаются необходимой настройкой QoS. К таким задачам относятся следующие: проверить, удовлетворяют ли параметры качества установленным требованиям; выявить причины выхода какого-либо параметра за установленные пределы; определить локализацию проблемы в сети и комплекс мер по её устранению.

Поэтому для обеспечения качественного функционирования сети необходим комплекс технических мер по реализации политики обслуживания сети, а также система мониторинга и управления качеством. Под системой управления качеством понимается системы конфигурации, которая позволяет оценить качество и описать политику качества сети, с помощью определения классов сервиса, параметров, норм и действий в случае их нарушения.

Учитывая требования и возможности предприятия, для построения сети выбрано решение на базе услуги IP VPN (*Virtual Private Network* — виртуальная частная сеть), основанной на технологии MPLS (*Multi Protocol Label Switching* – мультипротокольная коммутация по меткам). В сети смогут функционировать любые системы, поддерживающие IP-протокол, то есть подавляющее большинство существующих приложений. К достоинствам технологии MPLS относится гибкое определение топологии сети и возможность назначать различный приоритет пропуску трафика в зависимости от решаемых задач.

Предприятие провело классификацию трафика КИВС, и поскольку некоторые сегменты сети планируется арендовать у оператора связи, согласовало принятую классификацию с поддерживаемыми им классами обслуживания следующим образом:

- первый класс – класс обслуживания с высоким приоритетом – соответствует трафику видеоконференций и ряда приложений, для которого задержки критичны;
- второй класс – класс обслуживания со средним приоритетом – соответствует трафику телефонии и приложений, для которого потери пакетов критичны;
- третий класс – класс обслуживания с низким приоритетом – соответствует обычному бизнес-трафику, к которому особых требований не предъявляется.

2 Построение структурной схемы моделирующего алгоритма системы

Процесс функционирования предлагаемой автором системы представлен на рисунке 1.

Качество работы рассматриваемой КИВС характеризуется набором технических параметров, которые условно можно разделить на параметры качества транспортировки сетевых сервисов и основные параметры качества сети. Качество транспортировки сетевых сервисов определяется следующими параметрами: задержка, вариация задержки, потери пакетов. К основным параметрам качества отнесены: готовность сети и её пропускная способность.

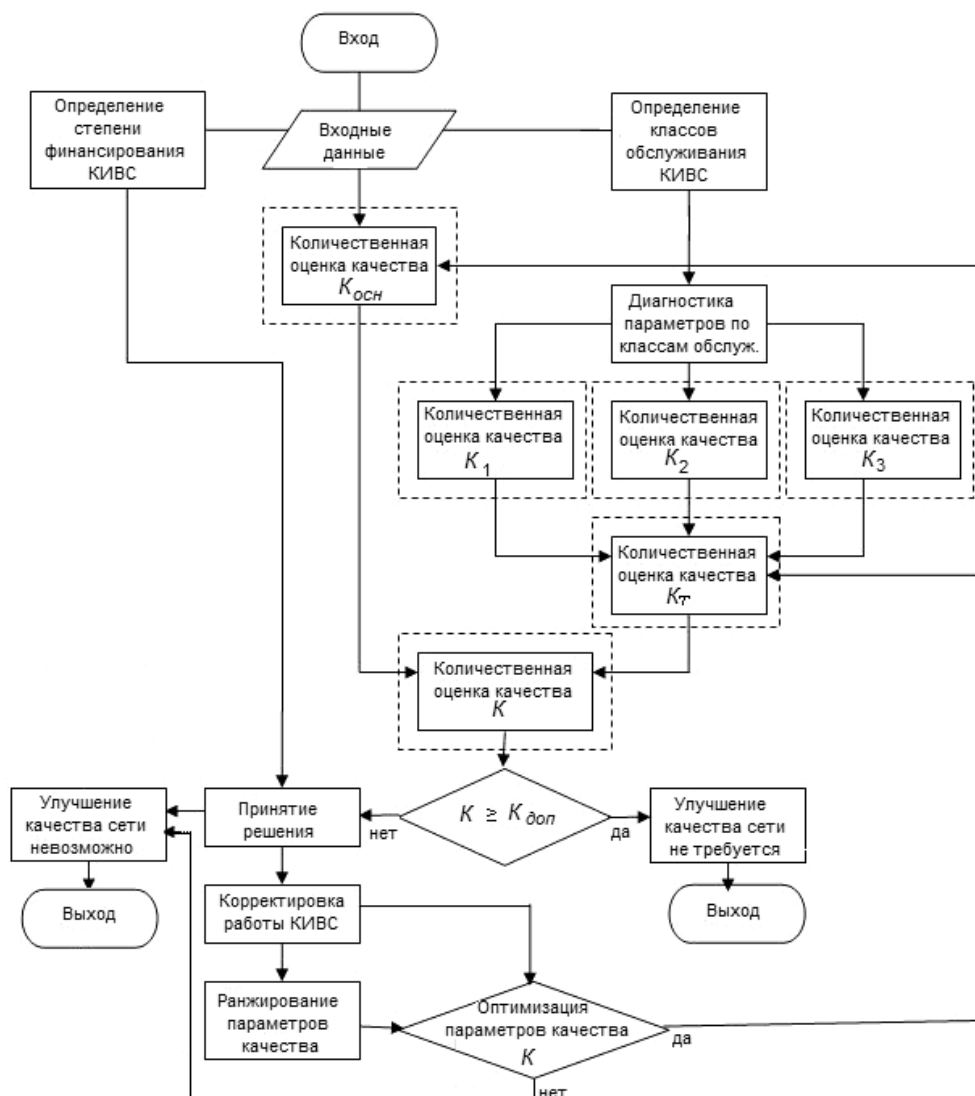


Рисунок 1 – Структурная схема моделирующего алгоритма системы

Как видно из схемы, оценка обобщённого качества K сети производится на основе оценки качества K_T транспортировки сетевых сервисов и оценки основного качества $K_{осн}$. Для оценки качества K_T предварительно определяются оценки качеств K_1, K_2, K_3 в разных классах обслуживания: первом, втором и третьем соответственно. При этом K_i – функция от переменных $З_i, ВЗ_i, ПП_i$, где указанные переменные – соответственно задержка, вариация задержки, потери пакетов в i – ом классе, $i = 1; 2; 3$. $K_{осн}$ – функция от переменных Γ (готовности) и $ПС$ (пропускной способности). Такой подход позволяет трактовать качество как функцию от независимых переменных, что, в свою очередь, позволяет определять количественную оценку качества как значение функции «качество» на конкретном наборе значений переменных.

В блоках, выделенных пунктиром, взаимосвязь между входами и выходом определяется нечёткой базой правил «Если (...), то (...)». На рисунке 2 представлена нечёткая модель оценки основного качества КИВС.

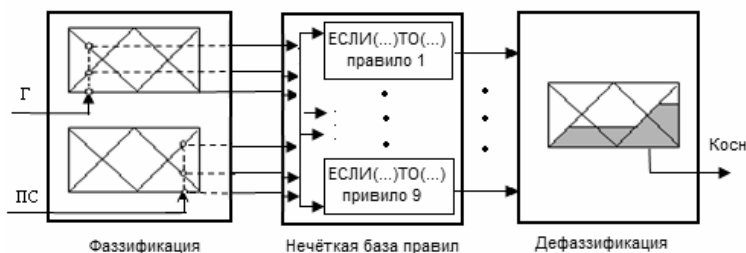


Рисунок 2 – Общая схема нечёткой модели оценки качества $K_{осн}$

В блоке «Фаззификация» происходит преобразование чётких значений переменных Γ и $ПС$ в нечёткие множества, необходимые для выполнения нечёткого логического вывода. Блок «Нечёткая база правил» содержит информацию о зависимости $K_{осн} = f(\Gamma, ПС)$ в виде девяти лингвистических правил «Если (...), то (...)». В блоке «Дефаззификация» происходит преобразование выходного нечёткого множества в чёткое число $K_{осн}$. В блоке-условии производится сравнение количественной оценки допустимого качества $K_{доп}$ с вычисленной оценкой качества K . Эксперты установили $K_{доп} = 0.77$, принимая во внимание финансовые и технические возможности предприятия, а также требования заказчика.

3 Создание системы нечёткого вывода для оценки качества КИВС

Рассмотрим задачу оценки качества транспортировки сетевых сервисов для класса обслуживания с высоким приоритетом. Для создания СНВ (системы нечёткого вывода) запускаем в *Matlab* модуль *fuzzy*. Добавляя входные переменные, получаем следующую структуру СНВ: три входа (задержка, вариация задержки, потери пакетов), механизм нечёткого вывода Мамдани, один выход (качество K_1). Каждой входной и выходной переменной ставим в соответствие набор функций принадлежности (ФП) типа *trimf*. Для переменной $З_1$ был определён диапазон значений от 0 до 80 (единица измерения – миллисекунда), терм-множества {низкая, средняя, высокая} и соответствующие значения (0, 0, 18), (16, 30, 50), (40, 80, 80). Для переменной $ВЗ_1$ диапазон значений составил отрезок от 0 до 60 (единица измерения – миллисекунда), терм-множества {низкая, средняя, высокая} и соответствующие значения (0, 0, 16), (12, 20, 50), (40, 60, 60). Для переменной $ПП_1$ диапазон значений был выбран от 0 до 2 (единица измерения – процент), терм-множества {низкие, средние, высокие} и соответствующие значения (0, 0, 0.25), (0.2, 0.5, 1), (0.9, 2, 2). Значения выходной переменной K_1 были определены в диапазоне от 0 до 1 (единица измерения – действительное число); затем были добавлены пять ФП типа *trimf*, терм-множества {неприемлемо низкое, низкое, среднее, выше среднее, высокое} и соответствующие значения (0, 0, 0.3), (0.25, 0.4, 0.5), (0.45, 0.5, 0.7), (0.65, 0.75, 0.9), (0.9, 1, 1). В качестве базы знаний были сформулированы 27 правил управления. Для иллюстрации укажем только несколько:

- Если $З_1$ низкая и $ВЗ_1$ низкая и $ПП_1$ низкие, то K_1 высокое.
- Если $З_1$ низкая и $ВЗ_1$ средняя и $ПП_1$ средние, то K_1 выше среднего.
- Если $З_1$ средняя и $ВЗ_1$ средняя и $ПП_1$ средние, то K_1 среднее.

- Если $З_1$ средняя и $ВЗ_1$ высокая и $ПП_1$ средние, то K_1 низкое.
- Если $З_1$ высокая и $ВЗ_1$ высокая и $ПП_1$ высокие, то K_1 неприемлемо низкое.

С помощью средства просмотра правил вывода вводятся значения входных данных, отображается процесс нечёткого вывода и результат.

Аналогичным образом были разработаны СНВ для оценок качеств K_2 и K_3 . Полученные значения оценок качеств K_1, K_2 и K_3 были введены как значения входных данных в СНВ для оценки качества K_T .

Для создания СНВ для оценки качества $K_{осн}$ использовались входные переменные: *готовность*: диапазон значений [0;1000] (единица измерения – минута), терм-множества {низкая, средняя, высокая} и соответствующие значения (263, 1000, 1000), (25, 53, 526), (0, 0, 53); *пропускная способность*: диапазон значений [64;2048] (единица измерения – кбит/с), терм-множества {низкая, средняя, высокая} и значения (64, 64, 256), (256, 768, 1024), (786, 2048, 2048). В качестве базы знаний были сформулированы 9 правил управления (рис.3). Поверхность вывода, соответствующая указанным правилам приведена на рисунке 4.

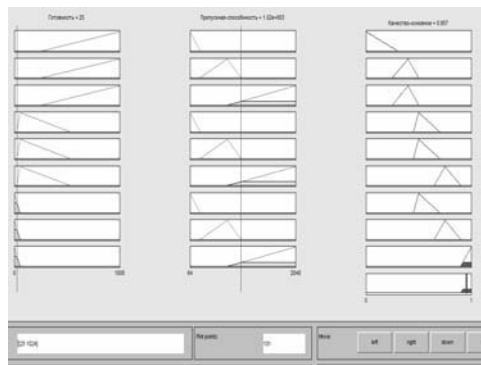


Рисунок 3 – Окно правил вывода СНВ для оценки качества $K_{осн}$

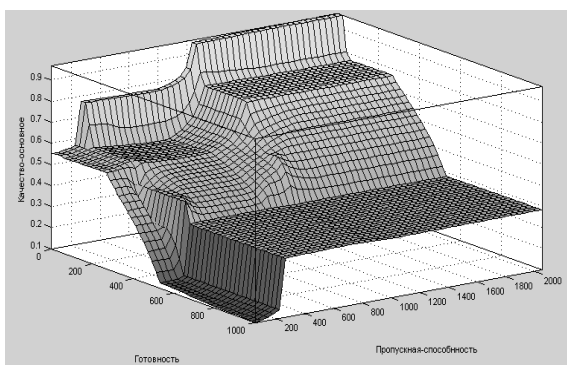


Рисунок 4 – Поверхность вывода для оценки качества $K_{осн}$

Полученные значения оценок качеств K_T и $K_{осн}$ были введены как значения входных данных в СНВ для оценки обобщённого качества K . Геометрическая интерпретация полученной зависимости оценки качества K от оценок качеств K_T и $K_{осн}$ изображена на рисунке 5.

Система для оценки качества проектируемой сети на основе информации о параметрах качества с учётом классов сервиса и применением нечёткого моделирования была протестирована и показала следующие результаты. Определены оценки качеств для классов K_1, K_2, K_3 и на их основе – оценка качества K_T транспортных услуг сети. При входных данных (13, 13, 0.2) $K_1 = 0.848$, что соответствует оценке качества «выше среднего» для трафика высокого класса обслуживания (чувствительного к задержке). При входных данных (11, 11, 0.18) $K_2 = 0.959$, что соответствует высокой оценке качества для трафика среднего класса обслуживания (чувствительно к параметру потери пакетов). При входных данных (14, 14, 0.22) $K_3 = 0.963$, что соответствует высокой оценке качества для трафика низкого класса обслуживания. На основе вектора $(K_1, K_2, K_3) = (0.848, 0.959, 0.963)$, была определена оценка качества транспортных услуг сети для трёх классов $K_T = 0.961$ (высокое). Оценка качества $K_{осн}$ при

входных данных (25,1024) равна $K_{осн} = 0.957$ (высокое). Оценка качества сети $K(0.961,0.957) = 0.965$ (высокое).

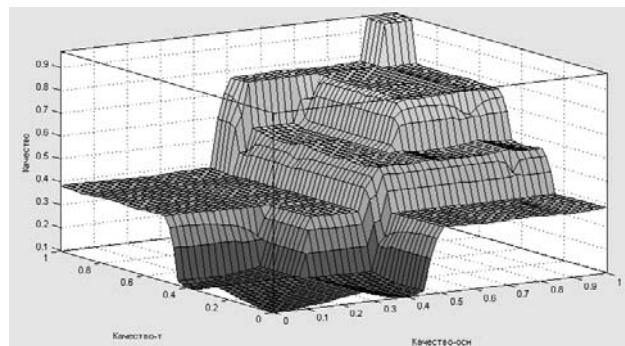


Рисунок 5 – Поверхность вывода для оценки качества K

Полученное при тестировании значение $K = 0.965$ выше допустимого (см. рис.6). Это означает, что улучшение качества сети не требуется, заказчика устраивает данное значение оценки качества сети.

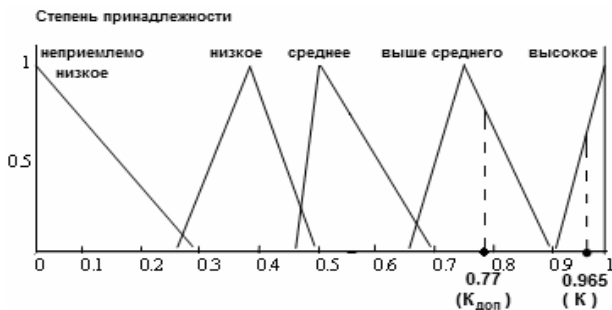


Рисунок 6 – Лингвистическая переменная «Качество сети»

Заключение

Нейросетевые технологии и в частности возможности интерактивного модуля **anfisedit** в рамках пакета Fuzzy Logic Toolbox позволяют также провести моделирование параметров качества и определить динамику их изменения в случае увеличения числа входных параметров. Адаптивная нейро-нечеткая система ANFIS автоматически синтезирует из экспериментальных данных нейро-нечеткие сети. При этом функции принадлежности синтезированных систем настроены так, чтобы минимизировать отклонения между экспериментальными данными и результатами нечеткого моделирования. Таким образом, оценку качества КИВС представляется возможным проводить по экспериментальным данным имитационной модели или реальной сети.

Список литературы

[1] Пегат, А. Нечёткое моделирование и управление. М.: Лаборатория знаний, 2009.- 798с.
[2] Ярушкина, Н.Г. Основы теории нечетких и гибридных систем. М.: Финансы и статистика, 2004.- 320с.
[3] Zadeh L.A. Fuzzy sets // Inform. Contr. 1965. V.8. P. 338—353.

СИНТЕЗ И СИСТЕМАТИЗАЦИЯ ИЕРАРХИЧЕСКИХ БЛОЧНО-МОДУЛЬНЫХ СТРУКТУР АБСОЛЮТНЫХ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦИФРОВЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ

М.А. Габидулин

Московский государственный институт радиотехники, электроники и автоматики
(технический университет)

119454, Москва, пр-т Вернадского, 78, Россия

gabidulin_ma@mail.ru

тел: +7 (495) 434-73-74

Ключевые слова: синтез, систематизация, иерархические блочно-модульные структуры, абсолютные фотоэлектрические цифровые преобразователи перемещений

Abstract

The problem of synthesis and ordering of set of alternative variants of hierarchical block-modular structures of absolute analog-to-digital encoders the movings, considering variety of known structures of high-precision of photo-electric digitizers of movings is formulated and solved.

Введение

Создание цифровых преобразователей перемещений для прецизионных измерений и отвечающих совокупности предъявляемых требований по точности, быстродействию, массогабаритным параметрам, технологичности, условиям эксплуатации и другим показателям является одной из актуальных и технически сложных задач [1,2].

В этом отношении перспективны фотоэлектрические цифровые преобразователи перемещений (ФЦПП), точность которых обеспечивается повышением электрической редукции, прецизионности технологии изготовления, в первую очередь, растровых оптических шкал, интегральным съемом с них измерительной информации и применением интерполяции. Из них [2,3] наибольшими универсальностью и возможностью совершенствования характеризуются ФЦПП, построенные с использованием растровых синусно-косинусных преобразователей (СКП) в качестве датчиков перемещений и в которых статическая и динамическая точность при приемлемых аппаратурных затратах достигается за счет выбора соответствующих коэффициентов электрической редукции и интерполяции, унификации и перевода электронных узлов на микроэлектронную основу, а также применения методов повышения точности.

Однако создание таких преобразователей на основе комплексного подхода к структурному, схемотехническому, конструкторскому и технологическому проектированию в целом представляет собой сложную научно-техническую задачу из-за трудности полной формализации описания вышеперечисленных этапов [4,5].

Постановка задачи

Впервые задача формального описания процесса АЦ-преобразования в системе вложенных позиционных систем счисления с произвольными основаниями сформулирована и решена в [4]. Произведен анализ возможных алгоритмов и порождаемых ими методов АЦ-преобразования при различных наборах используемых операций. Однако из-за значительной трудности вопросы синтеза порождаемых структур при данном подходе не ставились. Причем

анализ показывает, что представленные алгоритмы адекватно отражают процессы АЦ-преобразования электрических величин.

В [5] на примере проектирования ПНК рассмотрены задачи и методы проектирования АЦП. Отмечается сложность полной формализации описания всех этапов их проектирования и создания САПР для АЦ-устройств в целом. Охарактеризовано содержание основных этапов проектирования: выбора и разработки элементной базы, структурного, функционального и конструкторского проектирования и задач, решаемых на каждом из них. Сформулирована задача синтеза оптимальной структуры как задача выбора наилучшей в известном смысле структуры из конечного множества альтернативных вариантов структур, которая сведена к решению двух основных задач: синтеза множества альтернативных структур и выбора из них оптимальной структуры. Однако в указанной работе первая из задач решается эвристически, поэтому полнота синтезированного множества эквивалентности достоверно не гарантирована.

В обеих цитируемых работах рассматриваются АЦП электрических величин, в отличие от которых ФЦПП представляют собой более сложный вид АЦП, а именно АЦП перемещений (АЦПП), структура которых состоит, как минимум, из двух последовательно соединенных каскадов: первичного преобразователя (ПП), преобразующего перемещение в электрическую величину, и АЦП, преобразующего ее в цифровой код, являющийся цифровым эквивалентом (ЦЭ) перемещения.

Воспользовавшись подходами, изложенными в этих работах, поставим задачу синтеза и систематизации множества альтернативных вариантов иерархических блочно-модульных структур абсолютных АЦПП (ААЦПП), адекватно учитывающую многообразие известных структур высокоточных ФЦПП [6,7].

Синтез и систематизация блочно-модульных структур ААЦПП

Систематизация и обобщение результатов исследований и разработок высокоточных ФЦПП показывают, что по виду и характеру участия в организации АЦ-преобразования можно выделить аналоговые, кодовые и смешанные структуры ПП, имеющие один и тот же физический принцип, заключающийся в считывании первичной измерительной информации с растровых шкал.

Однако в аналоговых структурах измерительные звенья применяются, как правило, для преобразования перемещения в многофазную систему пространственных сигналов, являющихся периодическими функциями, взаимно однозначно отображающими измеряемую величину в пределах шага растров, т.е. ее дробную часть.

В отличие от них в кодовых структурах считывание в общем случае производится с разных растровых шкал, получивших название кодовых шкал, взаимно однозначно отображающих закон первичного кодирования. Поэтому выходные сигналы измерительных звеньев, будучи по-прежнему аналоговыми, характеризуют целочисленное значение измеряемой величины, т.е. целую часть.

Указанные различия определяют специфику и конструктивно-технологические и схемотехнические особенности построения высокоточных ФЦПП в виде многоотсчетных структур на взаимно дополняющих аналоговых и кодовых структурах ПП, в которых группы старших разрядов, формируются грубыми отсчетами (ГО), а группы младших разрядов – точными отсчетами (ТО), построенными соответственно на аналоговых и кодовых ПП.

Показано, что многоотсчетный принцип построения высокоточных ФЦПП является обобщением параллельного принципа АЦ-преобразования на случай представления ЦЭ в системе вложенных составных позиционных систем счисления, имеющих, как правило, различные основания в разрядах и в ступенях иерархического представления и двоичное в последней низшей ступени и используемых в качестве промежуточных рабочих представлений ЦЭ. При этом АЦПП, построенные описанным образом, имеют так называемую полную структуру, в

которой все группы разрядов формируются с использованием первичных сигналов, а разбиение на группы и подгруппы осуществляется последовательным делением диапазона на все более мелкие части. Это в сочетании с цифровым кодированием в системе вложенных позиционных систем счисления с основаниями, равными целочисленным множителям числа уровней квантования, является одним из основных принципов декомпозиции алгоритмов АЦ-преобразования перемещений и соответственно иерархического разбиения ААЦПП на узлы, модули и блоки.

В рамках данного подхода наилучшим образом разрешается поиск компромиссных проектных решений при зачастую взаимоисключающих требованиях к совокупным характеристикам ААЦПП. В соответствии с ним вопросы структурного синтеза и оптимизации решаются на самых верхних уровнях горизонтального проектирования (например, абстрактного проектирования), вопросы коррекции (например, согласования отсчетов) – на уровне функционально-логического проектирования. Вопросы комплексного обеспечения точности, быстродействия и других параметров решаются на вертикальных уровнях блочно-модульного агрегатного схемотехнического и конструктивно-технологического проектирования как восходящими, так нисходящими методами, и использующими адекватные уровню системные представления, математические модели, аппарат и методы анализа, синтеза и оптимизации, обусловленные спецификой рассматриваемого показателя.

Для решения задач абстрактного проектирования и формализованного описания и адекватного учета физических особенностей построения представим обобщенную структуру ААЦПП вне зависимости от конкретной реализации, состоящей из двух блоков: ПП и АЦП, реализующих операции дробной и целой части их входных переменных, взятых с соответствующими целочисленными масштабными коэффициентами. Все переменные должны быть нормированы приведением их диапазонов к единичному отрезку числовой оси, а вышеуказанные операции определены всюду на ней, входная переменная x периодически продолжена [6,7]. Масштабные коэффициенты характеризуют квантование и отражают принцип электрической редукции и наряду с принципом интегрального усреднения являются одним из основных средств повышения точности преобразования. Периодичность аргументов позволяет их трактовать как пространственную фазу, а элементы – фазовыми преобразователями.

Полагая, что ПП осуществляет линейное преобразование входной величины y_0 в аналоговую величину y_1 с масштабным коэффициентом $h_0 = 1$, а АЦП осуществляет линейное преобразование ее в ЦЭ N , имеем

$$(1) \quad y_0 = Fr[x], y_1 = Fr[h_0 y_0], N = Ent[hy_1],$$

где $Ent[*], Fr[*]$ – операции взятия целой и дробной части числа в квадратных скобках; $y_0, y_1 \in [0,1)$, $N \in \{0,1,...,h-1\}$ – входной, промежуточный и выходной сигналы, рассматриваемые в функции x и отражающие процесс формирования ЦЭ в системе счисления с основанием h . Это позволяет рассматривать операторы $Ent[*], Fr[*]$ как формализованные модели ПП и АЦП, учитывающие наиболее существенные параметры преобразования такие, как коэффициент масштабного преобразования и основание системы счисления, в которой выражен ЦЭ.

Выражение (1) представляет собой формализованную модель ААЦПП и определяет в базисе $\{Ent[*], Fr[*]\}$ одну единственную структуру, состоящую из последовательно соединенных блоков ПП и АЦП и соответствующую случаю $p = 1$, где p – число разрядов N , а число уровней квантования равно основанию системы счисления h .

Выразив ЦЭ в относительных единицах, уравнение АЦ-преобразования можно представить в виде:

$$(2) \quad y_0 = \hat{y}_0 + \Delta, \hat{y}_0 = Nh^{-1}, \Delta = h^{-1}Fr[hy_1],$$

где $\hat{y}_0$ – оценка y_0 ; Δ – остаточная разность, представляющая собой дробную часть y_l , взятую с коэффициентом масштабного преобразования, численно равным основанию ЦЭ.

Анализ (2) показывает, что АЦ-преобразование всегда сопровождается аналоговым преобразованием, в результате которого повышается в h раз пространственная частота входного сигнала блока АЦП.

Многообразие структур в выбранном элементном базисе порождается представлением N в позиционной системе счисления с основаниями h_l , равными целочисленным множителям числа уровней квантования h исходной одноразрядной структуры:

$$(3) \quad h = \prod_{l=1}^{l=p} h_l .$$

С учетом выражений (1)-(3) уравнение АЦ-преобразования для l -го разряда будет иметь вид:

$$(4) \quad y_l = \hat{y}_l + \Delta_{l+1}, \quad \hat{y}_l = N_l h_l^{-1}, \quad \Delta_{l+1} = h_l^{-1} y_{l+1}, \quad l = \overline{1, p},$$

где $\hat{y}_l$ – оценка выходного сигнала l -го канала ПП $y_l = Fr[h_{l-1} y_{l-1}]$; $N_l = Ent[h_l y_l]$ – цифра l -го разряда ЦЭ; Δ_{l+1} – остаточная разность, не скомпенсированная l -м разрядом; $y_{l+1} = Fr[h_l y_l]$ – выходной сигнал $(l+1)$ -го канала ПП.

Разрешив последовательно, начиная со старшего разряда $l = 1$, систему уравнений (4) относительно y_0 , находим значение ее оценки, выраженное через разрядные цифры N_l , $l = \overline{1, p}$:

$$(5) \quad \hat{y}_0 = \sum_{l=1}^{l=p} \hat{y}_l k_l^{-1} = \sum_{l=1}^{l=p} N_l q_l,$$

где $k_l = \prod_{i=0}^{l-1} h_i$ – значение коэффициента масштабного преобразования $y_l = Fr[k_l y_0]$; $q_l = (h_l k_l)^{-1}$ – значение веса цифры l -го разряда ЦЭ, численно равное шагу квантования в l -ом разряде.

Выражение (5) характеризует приближенное представление входного бесконечномерного сигнала y_0 в пространстве $\hat{y}_0$, натянутом на базис q_l ; $l = \overline{1, p}$, в котором ЦЭ представляет собой вектор-строку $N = (N_1, N_2, \dots, N_l, \dots, N_p)$ координат вектора $\hat{y}_0$.

Учитывая, что $q_p = (h)^{-1}$, находим представление N в позиционной системе счисления с основаниями h_l , $l = \overline{1, p}$:

$$(6) \quad N = \sum_{l=1}^{l=p} N_l \xi_l,$$

где $\xi_l = \prod_{i=l+1}^{l=p} h_i$ – значение веса цифры l -го разряда, если вес ЕМР считать равным единице.

Таким образом, представление ЦЭ в позиционной системе счисления (6) трансформирует исходную одномерную структуру в многомерную структуру, размерность которой определяется разрядностью ЦЭ.

Так как в базисе $\{Ent[*], Fr[*]\}$ сигналы y_0 , y_l , N_l ; $l = \overline{1, p}$ определены функциями скалярной переменной x , выходные сигналы блоков ПП И АЦП представляют собой вектор-функции:

$$(7) \quad y = (y_1, y_2, \dots, y_l, \dots, y_p),$$

$$(8) \quad N = (N_1, N_2, \dots, N_l, \dots, N_p),$$

где $y_l = Fr[k_l y_0]$, $N_l = Ent[h_l y_l]$.

Из выражений (7), (8) видно, что выходные сигналы блоков ПП и АЦП и, следовательно, структура блока АЦП однозначным и единственным образом определяются заданным разбиением числа уровней квантования на множители (3). Однако выходные сигналы y_l ; $l = \overline{1, p}$ блока ПП выражаются через входной сигнал y_0 не единственным образом, так как оператор $Fr[k_l y_0]$ представим композицией (суперпозицией) операторов $Fr[k_s y_r]$ и $Fr[k_r y_0]$:

$$(9) \quad y_l = Fr[k_l y_0] = Fr[\overline{k_s Fr[k_r y_0]}],$$

где $k_l = k_r k_s$, $r = \overline{0, l-1}$, в чем нетрудно убедиться, если заметить, что множество $\forall y \in Y = \{y : y = Fr[kx], k \in \mathbb{N}\}$ с операцией композиции представляет собой абелеву полугруппу (группу без обратного элемента) [6, 7], а операция бинарного отношения между элементами данного множества транзитивна:

$$y_l = Fr[k_s y_r], \quad y_r = Fr[k_r y_0] \Rightarrow y_l = Fr[k_l y_0].$$

Это означает, что множество элементов, образующих ПП, с операцией каскадирования также представляют собой абелеву полугруппу. Данное свойство позволяет сформировать элемент с требуемым коэффициентом масштабного преобразования, соответствующим умножению пространственной частоты, каскадированием нескольких элементов с меньшими коэффициентами.

Из (9) следует, что сигнал y_l и, следовательно, цифра l -го разряда могут быть сформированы l способами. Поэтому каждый последующий l -й разряд увеличивает число вариантов структур ААЦПП в l раз, а общее их число однозначно определяется числом разрядов ЦЭ:

$$(10) \quad Q_s = \prod_{l=1}^{l=p} l = p!.$$

Граф множества структур ААЦПП, построенный на $2p+1$ узлах, состоит из подграфа ПП и подграфа АЦП (рис. 1). Входным узлом подграфа ПП является сигнал y_0 , а выходными – промежуточные сигналы y_l ; $l = \overline{1, p}$. Каждый $l = \overline{1, p}$ узел связан с каждым $r = \overline{0, l-1}$ узлом. Выходы подграфа ПП служат входами подграфа АЦП.

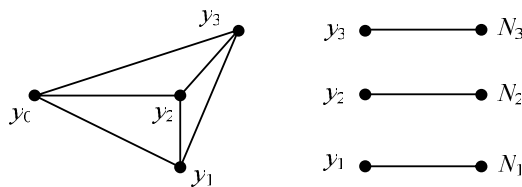


Рисунок 1 – Подграфы ПП и АЦП графа множества структур ААЦПП для случая $p=3$

Частная структура ААЦПП определяется указанием связи l -го узла с одним из узлов $r = \overline{0, l-1}$ для всех $l = \overline{1, p}$.

Отсюда следует, что каждой частной структуре соответствует число, записанное в позиционной системе с основаниями, представляющими собой множители выражения (10), если номером l -й позиции считать номер l -го узла, а значением цифры разряда – номер r -го узла, с которым связан l -й узел:

$$(11) \quad b = b_1 b_2 \cdots b_l \cdots b_p; \quad b_l \in \{0, 1, \dots, l-1\}.$$

Так, для $p=3$ матрица ЦЭ структур ААЦПП будет иметь вид:

$$(12) \quad G = \begin{vmatrix} 000 & 001 & 002 \\ 010 & 011 & 012 \end{vmatrix}.$$

Как видно, упорядоченное выражением (11) множество ЦЭ структур ААЦПП является абелевой группой относительно операции поразрядного сложения по модулю $l = \overline{1, p}$, а строки матрицы (12) есть не что иное, как разложение группы G на смежные классы G_1 и G_2 по подгруппе $\begin{bmatrix} 000 \\ 010 \end{bmatrix}$, порождаемые образующими элементами $\begin{bmatrix} 001 & 002 \end{bmatrix}$, как показано на рис.2.

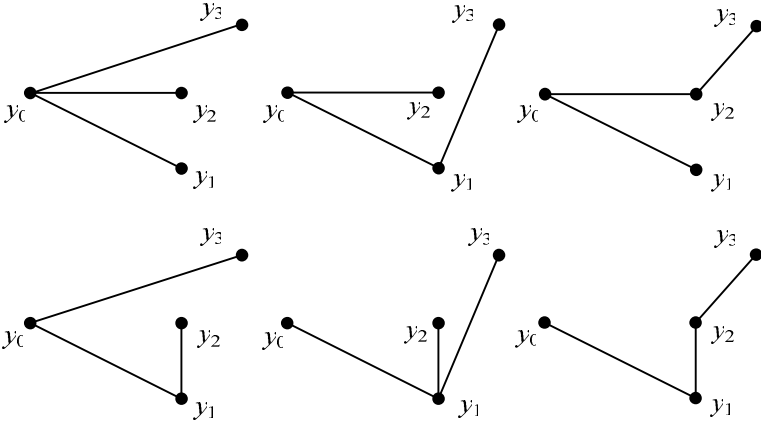


Рисунок 2 – Графы упорядоченного множества частных структур ПП

Таким образом, множеству структур ААЦПП можно поставить во взаимно однозначное соответствие множество упорядоченных вектор-строк (11) и представить структуру точкой пространства, координаты которой однозначно определяют подграф ПП и, следовательно, граф ААЦПП. Анализ топологии частных структур (рис. 2) показывает, что вектор-строке $b = \begin{bmatrix} 000 \end{bmatrix}$ соответствует радиальная, а вектор-строке $b = \begin{bmatrix} 012 \end{bmatrix}$ – цепочечная структуры. Остальные структуры имеют смешанную топологию и являются древовидными.

С увеличением p число структур резко возрастает, что затрудняет их анализ. В этом отношении более упорядоченными являются иерархически построенные структуры [6,7], основанные на формировании ЦЭ во вложенных друг в друга позиционных системах счисления [4]. Суть подхода заключается в формировании промежуточных сигналов по ступеням. На первой ступени формируются сигналы (7). На второй ступени каждый из сигналов первой ступени преобразуется в соответствующие подгруппы сигналов второй ступени, которые поступают на входы одноименных АЦП. Их уровни квантования соответствуют основаниям систем счисления второй ступени, вложенных в систему счисления первой ступени, и представляют собой множители разложений оснований $h_l = h_{l1}h_{l2} \cdots h_{lt} \cdots h_{lp_l}$, $l = \overline{1, p}$.

Следовательно, представление разрядных цифр ЦЭ в позиционной системе с меньшими основаниями $N_l = N_{l1}N_{l2} \cdots N_{lt} \cdots N_{lp_l}$, $l = \overline{1, p}$ трансформирует одноступенчатую структуру АЦП в двухступенчатую структуру, состоящую из последовательно соединенных l субблоков ПП (СУБПП) второй ступени и l субблоков АЦП (СУБАЦП) разрядных цифр N_{lt} ; $t = \overline{1, p_l}$, $l = \overline{1, p}$.

Отсюда полный граф двухступенчатых структур ААЦПП может быть составлен из подграфов ПП первой ступени и подграфов субблоков СУБПП и СУБАЦП второй ступени. Входным узлом подграфа ПП первой ступени является сигнал y_0 , а выходными – промежуточные

сигналы y_l ; $l = \overline{1, p}$, которые являются входными узлами подграфов СУБПП второй ступени. Их выходные сигналы y_{lt} ; $t = \overline{1, p_l}$ являются входными сигналами СУБАЦП_l, $l = \overline{1, p}$.

Так как СУБПП_l, $l = \overline{1, p}$ устроены аналогично ПП первой ступени, число структур ПП второй ступени равно произведению $p_1 \times p_2 \times \dots \times p_p!$ и, следовательно, общее число двухступенчатых структур ААЦПП составит [6,7]:

$$(13) Q_s = p! \prod_{l=1}^{l=p} p_l!.$$

Сопоставление выражений (10), (13) показывает, что при одинаковом числе разрядов число двухступенчатых структур значительно меньше, чем одноступенчатых. Частным двухступенчатым структурам соответствуют графы, построенные аналогично графу первой ступени и в которых подграф СУБПП_l порождается вектор-строкой:

$$b_l = b_{l1} b_{l2} \dots b_{lt} \dots b_{lp_l}; b_{lt} \in \{0, 1, \dots, h_{lt} - 1\},$$

где h_{lt} – основание t -го разряда СУБАЦП_l, $h_l = \prod_{t=1}^{t=p_l} h_{lt}$.

Поскольку каждая последующая ступень строится аналогично второй, рассмотренный подход легко обобщить на произвольное число ступеней. Однако практическое значение могут иметь структуры с числом ступеней не более трех, четырех.

Произведенная формализация позволяет решить задачу синтеза и систематизации структур алгебраически, а используемый при этом аппарат может быть охарактеризован как алгебра абстрактных схем ААЦПП, поскольку элементы схем определены на уровне информации, а не физически реализуемых сигналов. Сами структуры определены как графы составных отображений, узлами которых служат точки пространства периодических функций действительной переменной двух видов, которые соответствуют вышеопределенным функциям преобразования ПП и АЦП.

Изложенный подход позволил построить чисто формальную теорию синтеза иерархических структур ААЦПП, в которой в качестве элементов используются структуры нижестоящего уровня, представленные точками системы вложенных линейных пространств.

Список литературы

- [1] Домрачев В.Г. и др. Схемотехника цифровых преобразователей перемещений: Справоч. пособ./ В.Г. Домрачев, В.Р. Матвеевский, Ю.С. Смирнов. – М.: Энергоатомиздат, 1987.
- [2] Высокоточные преобразователи угловых перемещений/ Э.Н. Асиновский, А.А.Ахметжанов, М.А. Габидулин и др.; Под общ. ред. А.А.Ахметжанова. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 128с.
- [3] Габидулин М.А. Потенциальная точность фотоэлектрических цифровых преобразователей перемещений на основе растровых синусно-косинусных интерполяторов с учетом технологических ограничений// Искусственный интеллект. – Донецк, Украина: Изд-во “Наука і освіта”. 2010. №3. Раздел 6. Интеллектуальные робототехнические системы. – С. 570-582.
- [4] Микроэлектронные цифро-аналоговые и аналого-цифровые преобразователи информации/ В.Б. Смолов, Е.П. Угрюмов, В.К. Шмидт и др.; Под ред. В.Б. Смолова. – Л.: Энергия, 1976. – 336с.
- [5] Гитис Э.И., Пискулов Е.А. Аналого-цифровые преобразователи: Учеб. пособ. для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1981. – 360с.
- [6] Габидулин М.А. Формализованное описание блочно-модульных структур цифровых преобразователей перемещений// Программное и информационное обеспечение систем различного назначения на базе персональных ЭВМ. Межвуз. сб. научн. трудов. – М.: МГУПИ, 2006, вып.9, С. 53-58.
- [7] Габидулин М.А. Формализованный синтез обобщенных структур блочно-модульных абсолютных фотоэлектрических цифровых преобразователей перемещений// Сб. трудов 55 НТК. – М.: МИРЭА, 2006. – Ч.2. Физико-математические науки. – С.59-64.



Social Self-organization

Социальная самоорганизация

МОДЕЛИ СОЦИАЛЬНОЙ САМООРГАНИЗАЦИИ КАК ИНСТРУМЕНТЫ РЕШЕНИЯ ИННОВАЦИОННЫХ ЗАДАЧ

В.Е. Хиценко

Новосибирский государственный технический университет

630092, Новосибирск, пр. К.Маркса, 20, Россия

khits@is.cs.nstu.ru

тел: +7 (383) 346-08-53

Ключевые слова: самоорганизация, сложность, неравновесность, операциональная замкнутость, автопоэзис, рекурсия, собственное поведение, гомеостазис, самореферентность, рефлексия, координация

Abstract

In a paper little-known models of social self-organising (autopoiesis, recursion to eigen-behaviours, network of homeostats, self-reference, reflexion) in a context of search of innovative decisions are considered. The abbreviated review of models and possibilities of their use for co-ordination in scientific group are made.

Введение

На рисунке 1 показано, что из множества точек можно скомпоновать правильную евклидовскую конфигурацию а), хаотическую россыпь в) и нечто среднее, имеющее художественные черты б). Сложность явления по Колмогорову это длина алгоритма, позволяющего его воспроизвести. Объект а) предельно прост, легко составить алгоритм его построения. Несложный датчик случайных чисел позволит нам воспроизвести внешне неотличимую россыпь в). Центральный фрагмент существенно сложнее, описать его, что «алгеброй гармонию поверить» – это творческая задача. Абсолютный порядок а) и абсолютный хаос в) равновесны, устойчивы, но «безжизненны» в отличие от б).

Можно видеть, что неупорядоченность, хаотичность, энтропия растут слева направо, а детерминированность, связность точек, подчиненность системной цели убывают.

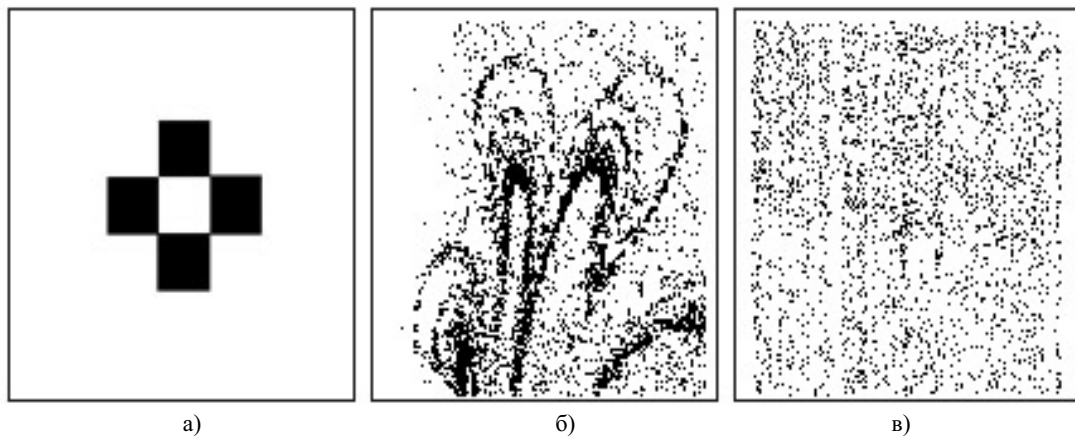


Рисунок 1 – Между порядком и хаосом

Определим самоорганизацию как спонтанный процесс становления и поддержания взаимокординации элементов системы с повышением ее сложности и неравновесности [1].

Это общее условие возникновения синергетического эффекта на полпути от хаоса к порядку, как в неживой, так и в живой природе. Различие же в том, что, начиная с живой клетки, поднимаясь от физиологического к психическому и выше к социальному уровню, мы видим рост приоритета коммуникационных процессов над энергетическими. Высшее в своей непротиворечивости проявление феномена самоорганизации это человеческий социум, где неизмеримо возрастает роль интерпретации символов, слов, контекста. Попробуем формализовать разные аспекты этой сложности и неравновесности с помощью разных моделей, заранее признавая их ограниченность.

1 Модели

1.1 От автономии к операциональной и семантической замкнутости

Автономия системы означает, что изменения ее состояний и внешние их проявления определяются лишь внутренним устройством, алгоритмом работы системы. Биологическую автономию можно определить как самостоятельное функционирование, направленное на поддержку самостоятельности и невозможное без нее. Эту самообращенность жизни, начиная с простейших организмов, можно понимать как примитивную форму сознания.

Теория автопоэзиса [2] называет основным свойством живой системы особую активность ее частей, связанных в сети взаимного производства. Это поддерживает сеть как нечто узнаваемое, обособленное в пространстве. Активность и взаимодействие частей организованы так, чтобы сохранять активность и взаимодействие – предельный эгоцентризм. Циркулярный характер динамики воспроизводства частей, где нет начала и конца, не позволяет выделить причины и следствия, производителя и продукт. Это *операциональная замкнутость*, объясняющая автономию закрытостью от среды в смысле отсутствия явной связи внешних воздействий и реакций. Реакции обусловлены текущей активностью частей. Идентичность клетки определяется в замкнутом цикле процессов, не выходящих за ее границы. Та же скрытая от наблюдателя цикличность является ключевым свойством нервной системы многоклеточного организма – это уже автопоэзис второго порядка.

Интеграция нервных систем в социальную систему с теми же неявными процессами становления смысла их взаимодействий приводит к автопоэзису следующего третьего порядка. Физические, психические и социальные процессы здесь сосуществуют и подобны в принципах автопоэзиса. Физические процессы поддерживают психические, которые производят ментальные конструкции социального уровня, стимулирующие коммуникативные процессы психического плана для поддержки и физического автопоэзиса в том числе.

Теория автопоэзиса выделяет в любой системе две сущности: организацию и структуру. *Организация* – это главные отношения между компонентами системы, принципы, которые конституируют систему, придают ей идентичность и смысл. Без них нет системы или это другая система. Организация независима от свойств составляющих систему частей и не вытекает из них, это эмерджентный эффект соединения частей в целое. Она может быть реализована разными способами и из других частей. *Структура* – это конкретные текущие связи компонентов системы, которые воплощают организацию, ее принципы в данный момент. Следовательно, компоненты должны непрерывно генерировать и менять связи, определяющие структуру, уточняя пространство, в котором может существовать система. Точнее говоря, структура меняется в целях сохранения организации и в рамках, обусловленных этим сохранением.

Организация как основная идея, структурирующая отношения между частями сохраняется путем онтогенетического дрейфа структуры. Этот процесс лишь модулируется средой, которая инициирует структурные изменения, но не специфицирует их. В комплементарности

структуры и организации, в балансе пластичности структуры и стабильности организации проявляется автопоэзис.

Социальная среда значительно подвижнее биологической, циклический обмен возмущениями идет быстрее. Творческие проявления, новации, абсолютно немислимые в биоте, неизбежны в социуме. Они предельно ускоряют социальную эволюцию. Связность совместных структурных дрейфов компонентов становится особенно сложной и изменчивой, если речь идет о человеческом социуме. Становление смысла человеческих взаимодействий на социальном, надиндивидуальном метауровне нам недоступно, невидимо – в этом *семантическая замкнутость* социальных систем.

Появление социального контекста, в котором возникает и развивается язык, порождает разум и самосознание, дающие смысл нашему онтогенезу и коонтогенезу, то есть той цепи структурных изменений, что называется жизнью. Мы постоянно изменяемся в становлении лингвистического мира, который строим вместе с другими. Человеческая жизнь проходит в переговорах, формирующих социальную реальность. Мы живем в этом лингвистическом поле, где слова служат установившимися регуляторами поведения, социальной жизни в целом. Это “изысканная хореография поведенческой координации” [2, с.206]. Язык как феномен требует иного описания, ему узка автопоэзийная модель. Такие направления мысли как лингвистика, семиотика, семиодинамика, герменевтика более адекватны становлению смысла и цели человеческих социальных систем.

1.2 Рекурсия к собственным поведениям и изменение операторов рекурсии

Как уже отмечалось, принципиальное различие самоорганизации в неживой и живой природе в приоритете коммуникационной сферы, а сходство – в существовании особых конфигураций, узнаваемых эффектов, поведений, иначе говоря, аттракторов (рисунок 1б). Если мы видим самопроизвольное появление порядка, симметрии, чего-то выделяющегося из среды, то разумно считать это результатом работы какого-то механизма самоорганизации, *собственным поведением* некоторого оператора. Возникает задача – идентифицировать, формализовать этот оператор, найти его собственное поведение, возможно спектр поведений, как набор аттракторов, центров притяжений эволюции. К одному из них приходит система, а зная спектр, легче распознать цель ее тенденции, определить момент и характер точной коррекции при приближении системы к бифуркационным состояниям повышенной чувствительности.

Предположим, что $a, b, c, d, \dots$ на рисунке 2 а) есть компоненты системы, влияющие друг на друга в соответствии с конкретной структурой, в сети определенных отношений. Характер отношений между компонентами определяет знаки обратных связей в замкнутых контурах этой структуры и всю ее динамику. Подадим внешнее воздействие на любой из элементов и попытаемся проследить распространение реакции по этой сети. Мы увидим, что пути реакции разветвляются, и она бесконечно циркулирует по многочисленным контурам, что следствие циклично становится причиной. Мы вскоре забудем о том внешнем толчке, а сеть будет продолжать «жить» в этих циркуляциях.

Как правило, мы не знаем досконально структуру сложной системы, не видим подводную часть этого айсберга связей (рисунок 2 а), но даже наличие полной информации о характере взаимодействия частей малополезно в силу сложности структуры.

Сконцентрируем внимание на одной из связей, считая ее главной, определяющей организацию, и будем отождествлять состояние системы с сигналами x , проходящими по этой связи (рисунок 2 б). Понятно, что циркуляции в структуре проявляются в последовательности смен состояний, и что изменения эти развиваются рекурсивно, как бы «от достигнутого». Этому соответствуют схема (рисунок 2 в) и уравнение рекурсии $x_{k+1} = \Phi(x_k)$, $k=0,1,2,\dots$ формирующее следующее состояние x_{k+1} в момент $k+1$ в зависимости от предыдущего x_k .

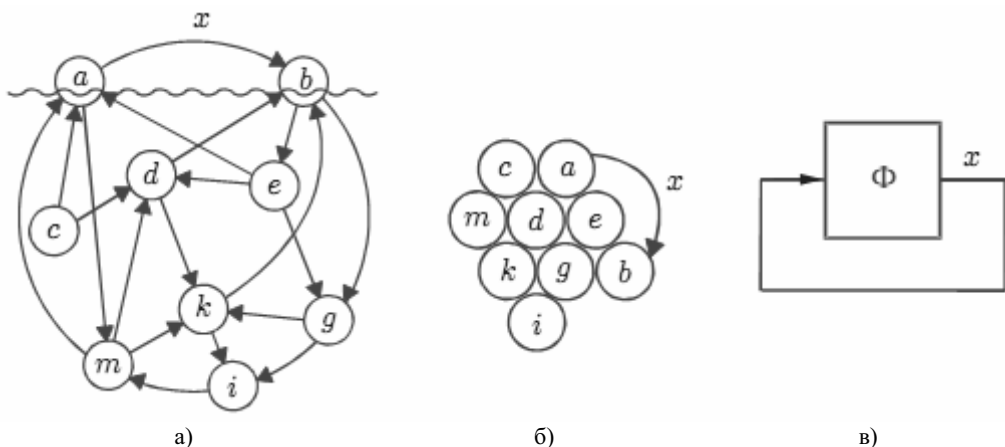


Рисунок 2 – Операциональное замыкание сложной системы

Допустим, внешний сигнал приводит систему в начальное состояние x_0 , но затем с течением времени, с ростом k , по мере развития рекурсии мы практически забываем о нем, основную роль играет структура внутренних связей, отражаемая оператором Φ . Так что можно прийти к одинаковому результату от разных начальных состояний. Этот предел и есть аттрактор $x^* = \Phi(x^*) = \lim_{k \rightarrow \infty} \Phi(x_k)$. Его можно назвать неподвижной точкой рекурсии или собственным поведением оператора Φ , его внутренним делом.

Операциональная замкнутость в свете динамики, эволюции систем означает, что самоорганизующаяся система функционирует рекурсивно, что итог рекурсии не зависит от начального толчка x_0 . Только это гарантирует автономное существование. Наши усилия как будто должны сконцентрироваться на поиске операторов Φ , циркулярно поддерживающих самосохранение систем любой природы, будь-то организм, социальная группа, климат планеты и пр.

Но идентификация оператора Φ проблему не решает. Мы уже знаем, что сложность проявляется в изменениях структуры, сохраняющей организацию. Меняются связи и характер взаимодействия элементов, т.е. нестационарен этот оператор. Пластичность структуры исключает выход на предсказуемый аттрактор и пребывание в нем как остановку рекурсии, как любое ограничение пластичности. Фактически это проявляется в изменениях границ бассейнов притяжения к различным аттракторам, возможна даже смена спектра аттракторов. Математические модели теории динамических систем не дотягивают до уровня биологической и социальной самоорганизации. Таким образом, возникает неравновесность как еще одно необходимое условие самоорганизации сложности. Автопозийная модель структурного дрейфа, движения в пространстве структур к неизвестному аттрактору более адекватна этой сложности, хотя и она не отражает лингвистические и культурные особенности социума.

1.3 Устойчивая неравновесность гомеостаза

Попробуем иначе формализовать эту сложность. Можно предположить смену оператора Φ по определенным правилам. Не исключено, что где-то на высшем уровне также рекурсивно уточняются эти правила. Идет непрерывный поиск собственных поведений, поиск правил изменения структуры и правил изменения правил. Наконец возникает самоорганизация правил на метауровне системы, координируемая с еще более высокого уровня.

С высоты этого взгляда на сложность становится ясно, что поведения системы не только собственные и не запрограммированы ее оператором Φ . Это малопредсказуемый результат непрерывного взаимодействия системы и среды, например, организма и его окружения.

Представьте себе Φ , как систему правил, которая удерживает собственное поведение системы близким к желаемому x^* так, что любое отклонение от него быстро нейтрализуется. Затем на верхнем уровне признают необходимым определенное смещение собственного поведения и по алгоритму Θ начинают менять параметр μ , влияющий на структуру оператора Φ (рисунок 3а). А где-то на следующем уровне может меняться, скажем, законодательная база, меняющая параметр λ в алгоритме изменения правил Θ . Получаем систему в виде иерархии рекурсивных контуров, где верхний уровень параметризует рекурсию нижнего, исключая его выход на неизменное собственное поведение.

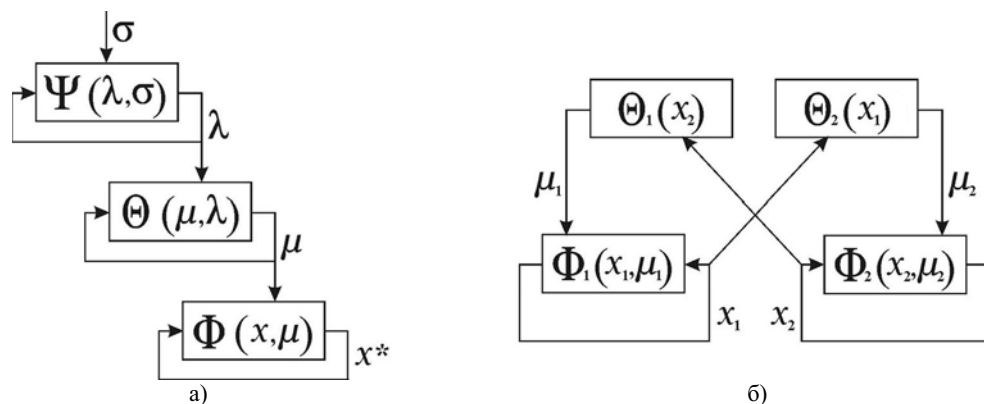


Рисунок 3 – Схемы параметризации рекурсии к собственным поведениям

А теперь вообразите такую связь двух или более систем, взаимно параметризующих, возмущающих друг друга (рисунок 3 б). Теперь состояния одной влияют на параметр оператора рекурсии другой, смещая ее собственное поведение, а следовательно, и свое практически непредсказуемым образом, но внутри некоей гомеостатической области, определяемой этим конфликтом и, понятно, в приемлемом для сохранения организации диапазоне. Такое воплощение операциональной замкнутости больше походит на реальную сложность.

Необходимо комплементарный характер этих возмущений порождает коонтогенез структур, сохраняющих организацию в системе взаимодействия организмов, классов, полов, поколений и т.д. Так возникает устойчивая неравновесность социальных групп и общества в целом благодаря запасу внутренних противоречий в сети гомеостатических противовесов.

1.4 Самореферентность и рефлексивность

Исследования природы и механизмов нашего восприятия внешней среды приводят к убеждению, что мы воспринимаем в основном то, на что настроена наша текущая структура, что соответствует опыту как набору собственных поведений. Происходит не «схватывание» среды, а поиск внутренних референтов, спецификация реальности. Эту способность живых систем ссылаться на себя называют *самореферентностью* [1]. Это не отражение, а скорее полагание среды, привнесение в нее смысла.

Самореферентность суть следствие операциональной замкнутости и дальнейшего усложнения системы. Действительно, организмы, обладающие нервной системой, воспринимают среду как бы в контексте своей текущей структуры. Структура же меняется в непрерывном онтогенезе, и меняется контекст, приоритеты и вся классификация внешних событий.

В теории познания известна похожая схема – «перцептуальный цикл» Найссера [3], согласно которой воспринимаемая среда является последовательно конструируемой реальностью и отражается вначале лишь поверхностный ее аспект. Эта первичная информация изменяет «ориентирующую схему», т. е. предубеждение, ожидание, что ведет к уточнению информации,

воспринимаемой из окружения, к изменению ее интерпретации, и эта измененная реальность снова рекурсивно модифицирует ориентирующую схему, как нашу готовность «видеть» определенные данные. Такова рекурсивная динамика самореферентности. Похоже, что так в сложности и сомнительности доступного нам окружения мы конструируем уместную и ожидаемую информацию, находим смысл как итог эволюции самореферентной системы.

Признание контекстно обусловленных циклов обработки внешних сигналов, рекурсивно стягивающихся к нашим собственным смыслам и к общему смыслу, возникающему в коогенезе наших структур, подтверждает семантическую замкнутость социальной системы.

Сложность растет, и возникает *рефлексия* как осмысление себя, собственных действий и мыслей. Говоря о самореферентной системе, мы подразумеваем наличие в ней модели среды, модели взаимодействия с ней и, наконец, модели самой системы. Так что рефлексивность как свойство выглядит развитием самореферентности, которая позволяет рефлексивное выстраивание уникального внутреннего мира. Затем мы начинаем оперировать собственными референтами, работать в своем «ментальном архиве», а это уже использование рефлексии.

Рефлексивно-интерпретативная природа человеческого мышления – это скорее правило, чем исключение. Например, смысл слова нам становится понятен из всего предложения, но ведь смысл предложения определяется словами. Так что же первично в анализе текста слово или фраза? Смысл предложения, буквальный или иронический, окончательно проясняется текстом, состоящим из предложений. Получается герменевтический цикл интерпретаций и уточнений текста. Он бывает быстрым или долгим, но каждый приходит к своему смыслу.

Человек есть часть социальной системы, но ведь и система входит в его сознание, формирует референты, личность. Именно потому, что наблюдатели являются одновременно и объектами наблюдения и участниками, возникает активная рефлексия, как особый источник неопределенности. Наблюдатель всегда связан с функционированием социальной системы, как ее составная часть. Поэтому любая попытка описания системы изменяет ее. И мы уже не получаем сходящейся рекурсии уточняющих интерпретаций социальной ситуации, модели. Это больше похоже на чередование истинности и ложности парадокса Рассела.

Именно эта рефлексия познающего наблюдателя, рефлексивность наблюдения за наблюдателями, ускоряемая ростом информатизации и интеллектуализации общественных процессов, приводят к особой характеристике современности, которую Луман называет *конtingентностью*. Все наши модели и метафоры по сложности уступают реальности. Она неуловима, так как включает наши размышления, умственные построения и реагирует на них.

Понятие истины недостижимо по Геделю в рамках любой формальной системы. Нужен инсайт, творческий прорыв, чтобы выйти за рамки, выйти в метасистему. Человек рефлексивен, пытается увидеть со стороны свои логические затруднения, и этим усилием сознания вскрывает семантическую замкнутость, выстраивает отношения метауровня с нижним уровнем, совершенствует технику этой рефлексии. Такие схемы познания на основе самопознания возможны и вероятно работают и в процессах группового решения проблем.

Луман в своих социологических исследованиях [4] использует тезис Гуссерля о том, что сознание всегда одновременно относится к самому себе и к наблюдениям, соединяя самореферентность и внешнюю референцию, переключаясь между рефлексией и направленностью на мир. Не объяснимы ли эти осцилляции между двумя инструментами мыслящего сознания гомеостазисом? Хочется подогнать внешнюю ситуацию под внутренний референт, но рефлексия выявляет несоответствия с опытом, и необходимо запускается трудный процесс поиска смысла и новых моделей. Как только мы самореферентно подбираем аналог, рефлексивизируем и рекурсивно уточняем модель, встраиваем ее в свой опыт, обновляя мир и себя в нем, нам становятся доступными новые грани мира, невидимые с прежним ментальным архивом референтов.

2 Инструменты

Человеческий интеллект “выскальзывает” из многих им же найденных законов и моделей логического и кибернетического толка, включая их в архив своих референтов и вскоре убеждаясь в их неадекватности феноменальности социума. И синергетическое, и автопоэзийное описание не охватывают сложности человеческого общения. На этом уровне не работает формальная логика и некоторые законы общей теории систем. Коллективный разум социальных самоорганизующихся взаимодействий не терпит ограничений. Неколебим лишь закон необходимого разнообразия. Как иначе можно преодолеть разнообразие возникающих проблем как не разнообразием набора решений, интеллектуальных инициатив свободных людей? Но как их объединить, не ущемляя, ни индивидуальности, ни творческого духа?

Взаимодействие в научной, творческой группе должно развиваться в согласии с моделями социальной самоорганизации [5]. Самоорганизующаяся система, отвечает на непредсказуемые внешние изменения непредсказуемыми изменениями собственных поведений. Устойчивая неравновесность самоорганизации гарантирует чувствительность в поиске оптимальных решений. Однако для становления и поддержки этого феномена нужна ювелирная точность координации баланса коллегиальности и автономии человеческой креативности.

Все мы помним легендарных генеральных конструкторов, масштаб личности и научный авторитет которых счастливо совпадали с организаторскими способностями, с пониманием динамики человеческих отношений. Такие люди – большая редкость. Но можно организовать совместную работу научного руководителя и координатора, который должен владеть всеми известными и нижеописанными средствами культивации процессов самоорганизации, инструментами запуска и контроля желательных тенденций, созвучными моделям сложности и неравновесности социальных взаимодействий.

2.1 Культивация рекурсивного движения

Системотехническая схема «вход-преобразование-выход» сменяется логикой поддержки рекурсивного движения к решению, неизвестному никому, но свойственному системе, т.е. конкретной группе. Возможен целый спектр таких собственных решений-аттракторов и вначале все они вероятны. В ходе работы сужается спектр и коридор рекурсивного движения. Руководитель и координатор обсуждают это движение с участниками проекта, чтобы почувствовать «куда идем». И уточняется характер и момент координирующего вмешательства с целью повысить надежность полезной тенденции, ослабить самоусиление негативной.

Известный прием – использование эвристик [6]. Ведь мы, как правило, неточно представляем себе решение, по крайней мере, в деталях, но должны найти правило, следуя которому, мы будем к этой цели приближаться. И на этом пути будет проявляться цель, и рекурсивно уточняться правило, та самая эвристика.

Для опытных руководителей ничего нового в этом нет. Будем считать это подтверждением правильности подхода. Новизна начинается при выборе средств координации. Как же культивировать самоорганизацию креативности?

2.2 Координация в сети гомеостатов

Тотальная комплементарность, ответственная зависимость людей, связанных общей целью, создает команду. Неизбежные противоречия в субъективных оценках, критериях и мотивациях дают жизнестойкость команды. Это позволяет идентифицировать ее в виде сети гомеостатов. Именно эта неустраняемая зависимость и тлеющий конфликт поддерживает неравновесность как чувствительный баланс интересов, обеспечивая гибкость в адаптации к обстоятельствам. Устойчивость и гибкость группы обеспечивается балансами между консерватизмом и стремлением к новому, перспективными и текущими делами, дисциплиной и автономией, быстрым результатом и надежным решением и тому подобными противовесами. Важнейший гомеостат это стиль общения и руководства: коллегиальность против авторитарности.

Закон необходимого разнообразия Эшби воплощается в управленческой кибернетике Бира [6] гомеостатическим путем комбинирования методов сужения разнообразия проблемных ситуаций и расширения разнообразия средств их контроля. Баланс этих способов поглощения сложности регламентируется текущими внутренними и внешними обстоятельствами.

Системная цель может достигаться усилиями противоположных по интересам людей. На этом можно и нужно строить политику координации, увеличивая самоконтролируемую часть проблемы, расширяя границы бесконфликтного несовпадения мнений и действий. Вместо бесполезной борьбы с негативной тенденцией нужно создать альтернативную и опекать затем гомеостатический баланс «добра и зла». Только человеческая изобретательность может победить человеческую изобретательность. Вот конструктивный взгляд Бира на закон Эшби.

Координатор должен видеть сеть гомеостатов, корректировать ее динамику, не допуская безразличной уступчивости, равно как и нарастания конфликта, вносить то комплементарность, то состязательность в отношения людей. Оправданием жесткости этой метасистемной деятельности служит забота о жизнеспособности группы и перспективности проекта.

Иногда в попытках переломить самоорганизацию негативных тенденций мы наблюдаем большие и неустраняемые колебания. Чем объяснить эту болезнь гомеостата, этот “порочный круг”? Как уменьшить колебания крайностей, как сдвинуть их баланс к желаемым собственным значениям? Необходимо совершенствовать рефлексивные средства управления, обогащая социальное взаимодействие различными моделями самоорганизации групповой работы.

2.3 Переговоры и рефлексивное управление

Координировать баланс противоречий нужно в тщательно организованных переговорах. Переговоры повышают у участников сомнения в несомненности своих позиций и тем склоняют к необходимости компромиссов. В ходе обсуждения уточняется смысл, который определяет, что является разумным вопросом и каков разумный ответ. Разнообразие возможных сценариев и результатов совещания быстро сужается, необратимо сжимаясь к собственному результату, свойственному конкретному составу участников и стилю обсуждения.

Известный кибернетик Паск [7] трактует переговоры как попытку договориться о значении, смысле проблемы. В переговорах мы ищем наши сходства и, пусть ненадолго, игнорируем различия. Мы пытаемся приблизиться к чужому видению ситуации. Оно не только не совпадает, но часто и не пересекается с нашим. И запускается рекурсия. Мы иными словами излагаем свои позиции, отходя незаметно от первоначальных представлений, пока не возникнет «резонанс», т.е., соглашение по пониманию. Происходит взаимная ориентация участников группы внутри постоянно согласуемой области, и процесс этот ведет к общему смыслу как отношению к реальности. Происходит некоторая потеря индивидуальности в обмен на взаимно- и самопознание. Понимание позиций собеседников не всегда ведет к сближению, но выявляется источник противоречий. Действительно, излагая взгляд на проблему, мы дистанцируем свою модель, свое представление о реальности, чтобы собеседники смогли к нему приблизиться. Рефлексия каждого участника и протекающая на метауровне групповая рефлексия по анализу субъективных моделей ведет к синтезу общей модели ситуации, общего смысла.

Координатор искусно выводит мышление на метауровень для демонстрации процесса сближения точек зрения, координирует увеличение области пересечения частных моделей. Модели должны рекурсивно сближаться, но они никогда не сольются, да и не должны быть очень похожими. Образно говоря, необходима определенная разность интеллектуальных потенциалов в группе, напряженность гомеостатической неуспокоенности, та самая неравновесная устойчивость. Координатор поддерживает и демонстрирует всем эту напряженность.

Польза взгляда на себя и группу со стороны несомненна. Вспомните зеркальные стены балетных классов, использование видеосъемки спортсменами. Это способствует автоматизму и виртуозности физических навыков. Тот же эффект дает рефлексия для роста интеллектуального мастерства.

2.4 Координация структурного дрейфа

Эти модели органично дополняются автопоэзийными представлениями о непостижимости процессов становления смысла социальных взаимодействий. И опять же, только выводя рефлексию на метауровень в совместных обсуждениях рекурсивного становления смысла в меняющемся контексте, можно смутно разглядеть ту самую «невидимую руку», почувствовать, куда идет групповое решение, и повлиять на него.

Организация в инновационной группе это отношения между разработчиками, как основное производство. Структура это второстепенные связи, службы поддержки, координация и руководство, необходимые сейчас для сохранения организации как смысла главных отношений. Структура меняется, поддерживая организацию в постоянно меняющихся обстоятельствах. Механизмы и правила этих изменений структуры, точнее, гибкость правил, естественная или искусственно привнесенная, определяет возможности становления и поддержки самоорганизации. Это та же гомеодинамика, но в свете теории автопоэзиса. Координатор должен отслеживать и этот структурный дрейф и демонстрировать его в групповых обсуждениях, обогатив тем самым возможности рефлексии, образно говоря, добавляя еще одно зеркало.

2.5 Этичное «манипулирование»

Известно, что не все люди одинаково бесстрашны перед лицом сверхзадач. Психологи знают, что порой невозможно достигнуть желаемого результата, если он заявлен как цель. Существует психотерапевтический прием, когда главная цель достигается как побочный эффект движения к иной декларируемой цели, как следствие намерений, а не их объект. Координатор должен учитывать этот феномен, при необходимости комбинировать декларируемые второстепенные и скрытые главные цели. Формирование системы эвристик может быть результатом этой работы координатора.

Понятно, что манипулирование людьми противоречит этическим нормам и может вредить автономии творчества. Но история знает выдающихся лидеров, которые чувствовали динамику связей между людьми и пользовались этим, меняя и комбинируя цели и правила, нередко с пользой для дела и для людей, не сразу эту пользу понимающих. Нужно сказать, что этот инструмент поддержки самоорганизации наиболее трудно формализуем и тем опасен.

Заключение

Координатор должен обеспечивать такой дрейф структуры, чтобы общая цель, явная или скрытая, приближалась. Он должен видеть процесс трансформации мнений и корректировать его, контролируя сближение и нарастание различий. Именно так этот специалист по самоорганизации отслеживает становление смысла, обсуждает стадии этого процесса с участниками группы, разрывая семантическую замкнутость метауровня. Такова его надсистемная роль регулятора контекста, стимулятора активности рефлексии, культиватора гомеостатического баланса полярных сил.

Координация такого уровня это формирование сознания, придания человеческого измерения событиям и обстоятельствам. В этой метасистемной деятельности уместны все известные методы организации итеративных экспертных процедур и переговоров, уникальные алгоритмы ТРИЗ, опыт управления космическими проектами, рекомендации Бира, в частности, ситуационная комната с возможностью компьютерной имитации перспективных направлений работы и оценки последствий альтернативных решений.

Особенно полезным может оказаться специальный экран, куда выводится заранее заготовленная информация о частных мнениях. Это позволит аккумулировать мышление участников обсуждения проблемы. При этом должна быть продумана подготовка визуального отображения частных моделей и управление трансформацией этих материалов в процессе проведения совещания. Постоянный доступ участников группы к обновлению своих соображений на этом экране обеспечит мониторинг ситуации становления общего смысла.

Напомним о необходимости предусмотреть социально приемлемые способы оперативного ограничения автономии с целью противодействия самоорганизации негативных тенденций, если они уже вывались из гомеостатических областей. Возможны моменты, когда ситуация в группе исключает нормативное согласие, консенсус, и «нужно власть употребить».

В идеале просматривается метагомеостат для балансирования между подчиненностью и коллегиальностью, между гибкостью и стабильностью правил структурных изменений, и нужны безопасные технологии этого баланса. Нужно готовить специалистов по социальной самоорганизации, формирователей социального метауровня, помогающих участникам группы размышлять о своем мышлении, усомниться в несомненности собственного мнения и почувствовать креативную силу этой рефлексии. Затем процесс самоосознания становится привычным и необходимым, начинает формировать стиль мышления и общения в группе, повышая эффективность групповой рефлексии на пути поиска спасительных оптимальных решений.

Сверхсложные проблемы современности, угрозы цивилизационного и экологического характера могут быть разрешены и преодолены только с помощью человеческой мудрости, координируемой в междисциплинарных научных группах и координирующей работу этих групп. Этой давней мечте о синтезе научных направлений мешает дефицит терпимости в среде интеллектуальной элиты человечества, дефицит сомнений в своей правоте. Ученые, работающие на границах условно разграниченных областей единой человеческой мысли неизбежно будут пользоваться упрощенными моделями смежных наук, подвергаясь обвинениям в дилетантизме и примитивизме. Чтобы преодолеть этот барьер, необходимо развивать теорию самоорганизации процессов научного творчества и практику координации этих процессов в межотраслевых научных коллективах.

Список литературы

- [1] Хиценко В.Е. Самоорганизация: элементы теории и социальные приложения. – М.: Комкнига, 2005.
- [2] Матурана У. Р., Варела Ф.Х. Древо познания. - М.: Прогресс-Традиция, 2001.
- [3] Neisser U. Cognition and Reality. San Francisco: Freeman, 1976.
<http://www.zipsites.ru/psy/psylib/info.php?p=2909>
- [4] Luhmann N. Soziale Systeme. Frankfurt a.M.: 1984.
http://soc.pu.ru/materials/golovin/reader/luhmann/r_luhmann2.doc
- [5] Хиценко В.Е. Можно ли управлять самоорганизацией? // Рефлексивные процессы и управление, 2007, том 7, №1.
- [6] Бир С. Мозг фирмы.- М.: Комкнига, 2006.
- [7] Pask G. Conversation Theory. N. Y.: Elsevier, 1977.

СОЦИАЛЬНОЕ ПАРТНЕРСТВО КАК ОСНОВА ОРГАНИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ УПРАВЛЕНИЯ В ИНФОРМАЦИОННОМ ОБЩЕСТВЕ

В.А. Виттих

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

Ключевые слова: информационное общество, социальное партнёрство, самоорганизация, коммуникативное действие, дискурс, онтологический подход, интеграционная платформа

Abstract

The forthcoming information society is characterized by the growth of the role of the social partnership, which arises not under an influence of a management body, but as a result of self-organization in the process of communication of social partners. It is proposed to put the concept of discourse as a base for social partnership. The discourse is a form of communication there the statements of each side are carefully checked, understood, specified, and finally accepted or rejected. The crucial role in this process plays argumentation, but not any form of coercion including traditions, authority, etc. The article notes the necessity of creation of an integrating platform for support of communicational activity of community, authorities and business in order to achieve mutual understanding.

Грядущее информационное общество характеризуется распространением индивидуализма и либерализацией отношений в общественной жизни одновременно с расширением возможностей коммуникации, создающей условия для достижения взаимопонимания и консенсуса. Социальная «атомизация», таким образом, сопровождается усилением связующей роли коммуникативных действий, способствующих сохранению целостности и развитию социальных систем. Такие системы являются открытыми и обычно находятся в неравновесном состоянии, что предопределяет их способность к самоорганизации, рождающей порядок из хаоса [1,2], в частности, устанавливающей устойчивые партнёрские отношения между элементами социальной системы.

При этом само понятие «социальное партнёрство» претерпевает изменения. Если в недавнем прошлом оно определяло только механизм регулирования отношений между работниками и работодателями, то в настоящее время этот термин обозначает межсекторные партнёрские отношения между государственными структурами, коммерческими предприятиями (бизнесом) и некоммерческими организациями, в центре внимания которых находится человек [3] (Рис. 1). В работе [4] даётся более общее определение социального партнёрства, трактующего его как «отношения, в которые вступают субъекты социальной коммуникации (организации, группы, личности, в том числе представляющие один из трёх секторов) для объединения усилий и ресурсов в решении социально значимой проблемы в сфере разделяемой партнёрами ответственности».

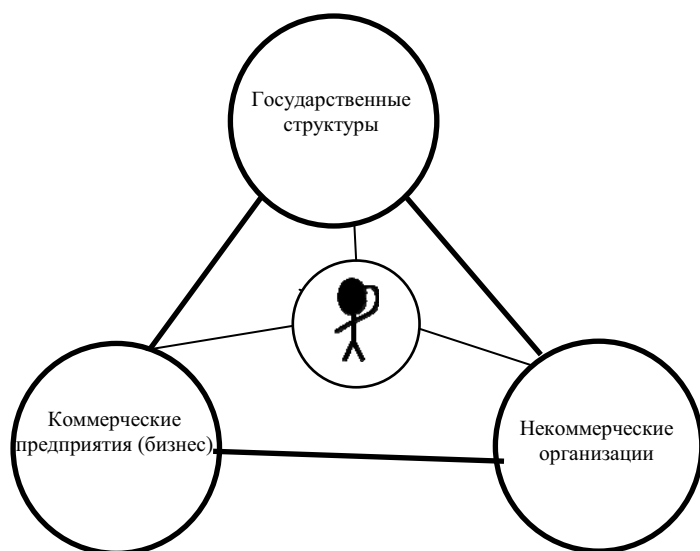


Рисунок 1 – Социальное партнёрство

Следует подчеркнуть, что социальное партнёрство возникает не под воздействием команд какого-то управляющего органа, а является результатом самоорганизации в процессах коммуникаций потенциальных партнёров. В теории коммуникативного действия Ю. Хабермаса коммуникация рассматривается в качестве базового социального процесса. Коммуникативное действие – такое взаимодействие индивидов, которое упорядочивается согласно обязательным нормам, и предназначено для достижения взаимопонимания действующих индивидов. Именно развитие коммуникативных практик и коммуникативная рационализация лежат, с точки зрения Ю. Хабермаса, в основе современного гражданского общества [5]. Коммуникативное действие в этой связи может рассматриваться как способ координации социального партнёрства [4].

Здесь возникает два основных вопроса: каковы мотивация и инструментальные средства поддержки коммуникативного поведения и социального партнёрства?

Что касается бизнеса, то он может быть мотивирован потребностью в социальном доверии, уровень которого падает тогда, когда коммерческое предприятие работает исключительно в целях получения прибыли и не участвует в решении социально значимых проблем. Государственные структуры заинтересованы, с одной стороны, в привлечении ресурсов бизнеса в социальную сферу, а с другой, - в достижении взаимопонимания с общественностью, роль которой в управлении государством возрастает по мере развития коммуникационных возможностей информационного общества. А некоммерческие организации и различные общественные объединения, создаваемые для защиты интересов граждан, по самому своему назначению ориентированы на установление партнёрских отношений с властью и бизнесом. Более того, общественность, по Ю. Хабермасу, должна выступать в качестве организующего и контролирующего начала в отношении партнёрских процессов [4,6].

Партнёрство предполагает при этом, что один человек (субъект) не может использовать другого в качестве средства (объекта) для достижения цели. Возможно принятие другого (субъекта) лишь в качестве самодостаточной целостности, т.е. субъект – объектные отношения должны быть заменены субъект – субъектными. Исследованию именно таких принципиально ненасильственных (не-вертикальных) способов бытия посвящены работы Ю. Хабермаса [7].

В основу построения инструментальных средств поддержки социального партнёрства может быть положено понятие дискурса – формы коммуникации, в ходе которой высказывания другого тщательно проверяются, понимаются, уточняются, критикуются и, наконец, принимаются или отвергаются [4,8]. Дискурс организован комплексом правил: участие в нём открыто для любого, способного к речи; участники равноправны; приемлема только одна сила – лучший аргумент, и запрещается какое-либо принуждение к согласию [4].

Ю. Хабермас разрабатывает концепцию дискурса как специальную форму речевой коммуникации, основанной на рефлексивном диалоге, акцентирующем все значимые для соучастников аспекты как обсуждаемой предметности, так и самой ситуации диалога [7]. В этике дискурса, в которой категорический императив заменяется моральной аргументацией, он предлагает учитывать не только значимость твёрдых нравственных норм, но и степень возможной солидарности личностей, участвующих в дискурсе [5]. Дискурс понимается, таким образом, как идеальный вид коммуникации, осуществляемой в отрыве от традиций, авторитета и т.п. и имеющий целью критическое обсуждение и обоснование взглядов и действий участников коммуникации. Согласно Ю. Хабермасу, именно дискурс выступает своеобразным критерием определения истинности или ложности достигнутого соглашения [9].

Чтобы понять другого, необходимо проникнуть в его сознание посредством постижения значений знаков, передаваемых одним сознанием и воспринимаемых другими сознаниями через их внешнее выражение [5], т.е. в широком смысле, через тексты, если относить к ним любые осмысленные целостные знаково-символические системы [10]. В этом контексте в современной философии дискурс трактуется как последовательность совершённых в языке коммуникативных актов. Такой последовательностью может быть диалог, письменные тексты, содержащие взаимные ссылки и посвященные общей тематике, и т.д.

Продукция дискурса осуществляется по выбранным правилам синтаксиса и определённой семантикой. Дискурс тем самым создаётся в определённом смысловом поле и призван передавать определённые смыслы, нацелен на коммуникативные действия со своей прагматикой. Ключевую роль играет здесь особая языковая среда, в которой создаются языковые конструкции. Дискурсивное мышление, развёртывающееся в последовательности понятий или суждений, при этом противопоставляется интуитивному, схватывающему целое независимо и вне всякого последовательного развёртывания [5].

Иными словами, дискурс, как форма коммуникативных действий в процессах социальной самоорганизации, может рассматриваться в качестве механизма достижения взаимопонимания его участников и установления социального партнёрства. Однако реализация дискурсивных практик чрезвычайно затруднительна (а при работе в реальном масштабе времени подчас и невозможна) без разработки специальных инструментальных программных средств, к числу которых могут быть отнесены системы поддержки коммуникативных действий [11], базирующиеся на онтологическом подходе, успешно использованном при создании информационно-логических моделей в процессах управления социальными системами [12].

С целью повышения эффективности формирования и осуществления социального партнёрства целесообразны разработка и применение в регионах интеграционных платформ на основе технологий Интернет, онтологий и технологий решения задач в открытой форме [2] для создания проблемно-ориентированных систем поддержки коммуникативных действий граждан, органов власти и бизнеса.

Список литературы

- [1] G. Küppers. Self-organization – The Emergence of Order. From local interactions to global structures. – <http://www.uni-bielefeld.de/iwt/sein/paperno2.pdf>, July 1999.
- [2] В.А. Виттих. Организация сложных систем. – Самара: Самарский научный центр РАН, 2010

- [3] Л.И. Никовская, В.Н. Якимец. От конфликта к межсекторному партнёрству. – Журнал социологии и социальной антропологии, №1, 2003, с. 96-112. Словарь философских терминов. – М.: ИНФРА-М, 2004.
- [4] Е.В. Соловьёва. Понятия «общественность» и «коммуникативное действие» Юргена Хабермаса как инструмент анализа социального партнёрства. – Вестник Нижегородского университета им. Н.И.Лобачевского (серия «Социальные науки»), №1, 2009, с. 62-66..
- [5] Новая философская энциклопедия (в четырёх томах). – М.: «Мысль», 2010.
- [6] Ю. Хабермас. Демократия. Разум. Нравственность. (Лекции и интервью. Москва, апрель 1989г.) – М.: Наука, 1992, с.105-174.
- [7] Всемирная энциклопедия. Философия. – М.: АСТ; Мн.: Харвест, Современный литератор, 2001.
- [8] Ю. Хабермас. Моральное сознание и коммуникативное действие. – СПб.: Наука, 2006.
- [9] Современный философский словарь. – Лондон, Франкфурт-на-Майне, Париж, Люксембург, Москва, Минск/ «ПАНПРИНТ», 1998.
- [10] Словарь философских терминов. – М.: ИНФРА-М, 2004.
- [11] В.А. Виттих. Механизмы социальной самоорганизации. – Проблемы управления и моделирования в сложных системах: Труды XIII международной конференции. – Самара, Самарский научный центр РАН, 2011.
- [12] В.А. Виттих, П.В. Ситников, С.В. Смирнов. Онтологический подход к построению информационно-логических моделей в процессах управления социальными системами. – Вестник компьютерных и информационных технологий, №5, 2009, с. 45-53.

СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ КОММУНИКАТИВНЫХ ДЕЙСТВИЙ

В.А. Виттих¹, М.В. Игнатьев², С.В. Смирнов¹

¹Институт проблем управления сложными системами РАН
443020, Самара, ул. Садовая, 61, Россия
iccs@iccs.ru

тел: +7 (846) 332-39-27, факс: +7 (846) 333-27-70

²Национальный исследовательский университет Высшая Школа Экономики – Нижний Новгород
603155, Нижний Новгород, ул. Б. Печерская, 25/12, Россия
mikhail.ignatyev@gmail.com

Ключевые слова: *самоорганизация, принятие решений, взаимопонимание, коммуникация, коммуникативный процесс, система поддержки коммуникативных действий, онтологические модели ситуаций*

Abstract

This paper describes a new conceptual approach to the construction of information systems for artificial systems which have been formed based on the principles of self-organization. The main problem in management processes such organizations is the organization of decision-making process. In the matter of fact, there are college heterogeneous actors who are makes decisions. Here comes the problem: How to arrive at mutual understanding of the actors. To solve this problem, we propose to introduce special support tools for actor communications - Communication Actions Support System (CASS).

Введение

Управление сложными системами является актуальной областью исследований. Перед людьми, занятыми управлением такими системами, встает множество неформализованных задач и проблем. Зачастую они предпринимают попытки обогатить информационное обеспечение процесса управления, применяя методы, базирующиеся на парадигме классической научной рациональности. Таким образом, они пытаются облегчить процесс принятия решения и отыскать необходимую доказательную базу его рациональности и оправданности. Такой подход к управлению изначально, на концептуальном уровне, обречен на порождение большого числа проблемных ситуаций при его использовании в управлении сложными искусственными системами. Дело в том, что в процесс управления в социально экономических системах вступает человек, а методы парадигмы классической рациональности исключают человека из процессов управления [1].

Фундаментальным свойством сложных искусственных систем является их самоорганизация, реализация которой осуществляется на основе коммуникации, понимаемой не как связь или передача сообщений, а как процедура достижения взаимопонимания акторов [2]. Именно содержательность информации, её интенциональность, или направленность, составляют важнейшие предпосылки взаимного обмена мыслями, благодаря которому достигается взаимопонимание и взаимодействие между акторами в процессе коммуникации. К важнейшим функциям коммуникации относят информативную, побудительную, ориентированную на внушение, убеждение и аргументацию [3].

Возникает необходимость создания адекватных инструментов поддержки коммуникативных действий. Такие инструменты можно объединить в некоторую систему, называемую *системой поддержки коммуникативных действий* (СПКД) [4].

1 Достижение взаимопонимания с применением СПКД

Взаимопонимание зачастую понимается как согласие, общее для всех сторон отношение к чему-либо или кому-либо. Если акторы однородны, их поведение и предпочтения идентичны в любых ситуациях, то взаимопонимание заложено в них изначально. Но такая гипотеза об однородности акторов является далекой от реальности идеализацией, например, применительно к экономической теории она «столь слаба, что лишь немногие экономисты до сих пор отстаивают её» [5]. Взаимопонимание неоднородных акторов, имеющих различные интересы и предпочтения, является неотъемлемой характеристикой процесса децентрализованного принятия решений. Решение, которое принимается без взаимопонимания, как правило, не способно разрешить проблемную ситуацию.

Взаимопонимание необходимо уже и на этапе постановки задачи. Тот, кто формулирует задачу, обязан понимать её особенности, поскольку при коллегиальном управлении он несет ответственность за ее решение в сфере своей деятельности.

Коммуникативная деятельность группы акторов может характеризоваться большим количеством операций приема или передачи информации, полиморфизмом личностной оценки проблемной ситуации, диалогом, как одним из основных инструментов производства материальных следов процесса коммуникации – текстов.

Принимая во внимание эти характеристики, можно говорить об особенностях систем поддержки коммуникативных действий.

Прежде всего, следует отметить, что в настоящее время такие системы представляют собой информационно-коммуникационные системы. В современном мире нельзя представить процесс коммуникации оторванным от компьютерной реальности, соответствующих программных и аппаратных средств.

Необходимо также помнить о персонализации знаний. Каждый участник коммуникативного действия обладает своими персональными знаниями, но одновременно желает иметь доступ ко всем доступным источникам знаний, которые могут быть как общими (социальными), так и персональными. Как положительное следствие процесса коммуникации можно отметить накопление общего знания, которое приобретается в ходе интересубъективного взаимодействия индивидов.

Полиморфизм личностной оценки актора – это изменение во время коммуникативного действия, качественной оценки проблемной ситуации или отношения к тому или иному положению. Такая характеристика требует оперативного изменения информации, которая отражает текущую точку зрения актора. Эта информация должна становиться доступной другим акторам в реальном масштабе времени.

Можно также отметить, что должна предоставлять каждому актору возможность самостоятельной работы с системой. Принципиальное отсутствие посредников оправдано персональной ответственностью за принятые решения и необходимостью обеспечения полноты информации для решения поставленных задач.

Наконец, важно подчеркнуть, что в отличие от систем поддержки процессов принятия решений (СППР), ориентированных на выработку решений (которые в малой степени зависят от степени взаимопонимания акторов), СПКД призваны обеспечивать именно достижение взаимопонимания и консенсуса, которые и создают благоприятную почву для принятия согласованного решения.

2 Онтологический подход к построению СПКД

Для создания СПКД целесообразно использовать онтологический подход, успешно примененный при создании информационно-логических моделей в процессах управления социальными системами [6, 7].

Наряду с персональными онтологиями, которых выражаются субъективные позиции акторов, при коллегиальном принятии решений должны формироваться групповые онтологии, включающие в себя фрагменты персональных знаний акторов. Групповая онтология должна разделяться и использоваться всеми неоднородными акторами.

Все онтологии делятся на две категории: онтологии предметных областей реального мира и методо-ориентированные онтологии мира абстрактного [8]. Последние состоят из методов решения задач-описаний того, как получить решения задачи, которые независимы от предметных областей и допускают повторное использование.

Групповая онтология разрабатывается акторами, уже погруженными в проблемную ситуацию. В групповой онтологии выражается общее предположение акторами сложившейся ситуации, но отсутствует информация о конкретных атрибутах этой ситуации. Эти сведения включаются акторами в объектные (денотативные) модели, которые разрабатываются на основе групповых онтологий [9].

Таким образом, находясь в общей проблемной ситуации, группа неоднородных акторов вырабатывает онтологическую модель ситуации (ОМС) как описание ситуации в форме персональных, групповых онтологий и объектных моделей, разрабатываемых в процессах взаимодействия неоднородных акторов, находящихся в этой ситуации и имеющих возможность изучать и воздействовать на неё [2].

Прагматический смысл использования онтологического подхода состоит в том, что такой подход объектно-ориентирован, а значит – позволяет использовать любые уровни абстракции при построении ОМС и облегчает разработку СПКД.

Заключение

Коммуникативные действия являются механизмом достижения взаимопонимания и консенсуса неоднородных акторов, а системы поддержки коммуникативных действий, создаваемые на основе онтологического подхода, могут обеспечить повышение эффективности социальной самоорганизации и решение проблем управления в сложных системах.

Список литературы

- [1] Виттих В.А. Парадигма ограниченной рациональности принятия решений // Вестник Самарского государственного технического университета (серия «Технические науки»). 2009. №3(25). - С. 22-31; 2010. №2(26). - С. 23-31.
- [2] Виттих В.А. Организация сложных систем // Самара: Самарский научный центр РАН, 2010.
- [3] Философский словарь. – М.: Республика, Современник, 2009.
- [4] Виттих В.А. Механизмы социальной самоорганизации. – См. настоящий сборник.
- [5] Сапир Ж. К экономической теории неоднородных систем (опыт исследования децентрализованной экономики). - М., ГУ – ВШЭ, 2001.
- [6] Виттих В.А., Ситников П.В., Смирнов С.В. Онтологический подход к построению информационно-логических моделей в процессах управления социальными системами // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2009. № 5. - С. 45-53.
- [7] Онтологический подход к разработке и внедрение информационно-аналитической системы управления предоставлением консолидированных услуг населению (на примере сферы здравоохранения и социального развития Самарской области) / Авт.: В.А. Виттих, Е.А. Гриценко, П.В. Ситников и др. // Проблемы управления и моделирования в сложных системах: Труды XI международной конф. (22-24 июня 2009 г., Самара, Россия). – Самара: СамНЦ РАН, 2009. - С. 28-43.
- [8] Виттих В.А. Онтологический анализ и синтез при управлении сложными открытыми системами. // Проблемы управления и моделирования в сложных системах: Труды V международной конференции. – Самара: Самарский научный центр РАН, 2003. - С. 50-60.
- [9] Смирнов С.В. Онтологический анализ предметных областей моделирования // Известия Самарского научного центра РАН. 2001. Т.3. №1. - С. 62-70.

МОДЕЛЬ ИННОВАЦИОННОГО УНИВЕРСИТЕТА НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТАФОРЫ МОЗГА

Г.А. Мкртычян

Национальный исследовательский университет Высшая Школа Экономики – Нижний Новгород
603155, Нижний Новгород, ул. Большая Печерская, 25/12, Россия
nnov@hse.ru
тел: +7 (831) 419-55-81, факс: +7 (831) 416-96-50

Ключевые слова: *инновационный университет, метафора мозга, информационная система, принятие решений, обучающаяся организация, самоорганизация, принципы голографической структуры*

Abstract

The work considers the possibility of the brain metaphor usage at the development of the organizational model. The brain metaphor is offered as a root and underlying metaphor of the innovation university. Three main metaphorical images of the university are analyzed: as an informational system, as an educational organization and as a holographic structure.

Введение

«Западный университет умер. В это трудно поверить, но такова реальность. Правда, история университета говорит о его необыкновенной способности к обновлению и адаптации к новым условиям. Это позволяет надеяться, что и сейчас свершится чудо и возникнет новый университет». Такова оценка известного специалиста в области образовательной политики Рональда Барнетта, которую он дал в своей инаугурационной профессорской лекции, прочитанной в Институте образования Лондонского университета в 1997 году [1, С. 46]. Понятно, что речь в ней идет не о буквальной «смерти» университета как института, а о готовности университета классического типа, долгое время доминировавшего в европейском образовании, отвечать вызовам времени. В основе модели классического (Гумбольдтовского) университета лежит представление о ведущей роли фундаментальных научных исследований и их неразрывной связи с образовательным процессом. Каждый преподаватель в таком университете должен заниматься научными исследованиями и транслировать полученные результаты студентам через учебную деятельность. Основная задача студента заключается в приобретении опыта научной деятельности в контакте с передовой наукой, в процессе непрерывного поиска новых научных знаний. В последние годы среди управленцев и экспертов образования распространённой стала точка зрения, что такая наукоцентрическая модель классического университета, при всех ее достоинствах, не в полной мере отвечает запросам современного общества и нуждается в существенной трансформации. В результате стали возникать университеты нового типа: исследовательские, инновационные, предпринимательские, корпоративные, международные, открытые и иные. Принято считать, что стихийный процесс дифференциации университетов происходит под воздействием рынка образовательных услуг: при этом каждый университет пытается найти свою нишу, т. е. правильно определить свою миссию и стратегию [2]. Несмотря на все многообразие возникающих типов университетов, все они могут быть описаны с помощью ограниченного числа моделей. К примеру, одна из классификаций новейших университетских моделей предлагает выделять прагматическую, религиозную, контркультурную модели, а также модель политизированного университета [3]. Есть все основания утверждать, что сам по себе факт одновременного сосуществования нескольких

моделей университета является одной из важных тенденций настоящего этапа развития университета. Однако при этом остается актуальной задача определения и описания *ведущей* для современных условий модели университета.

1 Особенности инновационного университета

В международных программных документах в качестве основного вектора модернизации образования признается необходимость его максимального соответствия потребностям глобальной экономики, основанной на знаниях [4]. В итоговом коммюнике Всемирной конференции по высшему образованию (июль 2009 г., Париж) специальный раздел посвящен образовательным исследованиям и инновациям. В нем отмечается, что организация научных исследований должна предполагать некую гибкость, для того, чтобы поставить фундаментальную науку и междисциплинарные исследования на службу обществу. При этом высшие учебные заведения должны искать такие области исследовательских работ и такие направления обучения, которые будут связаны с проблемами благосостояния населения и построением прочного фундамента для новых технологий и областей развития науки, значимых для данного конкретного региона [5]. С необходимостью перехода к инновационной экономике связывают развитие образования в России и ведущие отечественные эксперты. «Именно образование – как система формирования интеллектуального капитала нации и как одна из главных сфер генерации инноваций – создает базовые условия для быстрого роста рынка на основе обновления технологий и продуктов. Оно выступает первым звеном инновационной цепочки «образование – исследования – венчурные проекты – массовое освоение инноваций» [6, С. 4].

Подобная формулировка запроса общества к образованию позволяет выделить в качестве ведущей модели современного университета модель инновационного университета, в основе которой лежит «треугольник знаний»: *образование – исследование – инновации* [7]. Мощный импульс для внедрения модели инновационного университета в России создает присвоение университетам категории национального исследовательского и создание на этой основе своего рода клуба элитных вузов, получивших этот высокий статус. В общем виде национальный исследовательский университет можно определить как высшее учебное заведение, одинаково эффективно осуществляющее образовательную, научную и инновационную деятельность на основе принципов интеграции науки и образования. Отличительными особенностями этого типа университета являются:

- проведение широкого спектра фундаментальных и прикладных исследований;
- эффективная образовательная деятельность;
- обеспечение трансфера знаний в экономику.

Следует обратить внимание, что ключевую роль в модели инновационного университета, наряду с традиционными функциями генерации научных знаний и образования, начинает играть функция – *трансфера знаний* [8]. Система трансфера знаний призвана обеспечить передачу знаний, включая технологии, опыт и навыки от университета к внешним заказчикам – предприятиям, общественным и государственным структурам, приводя к инновациям в экономике и общественной жизни. Трансфер знаний в университете имеет два основных направления реализации: коммерциализацию результатов научных исследований и реализацию рыночно-ориентированных образовательных программ. В первом случае речь идет о «*трансфере технологий*», который понимается организационный процесс передачи научно-технического «know-how» из научной лаборатории в производство в условиях рыночной экономики. Это направление деятельности включает в себя проведение научных исследований в рамках договоров с предприятиями и организациями, использование прав интеллектуальной собственности на результаты научных разработок университета, участие в национальных и региональных программах развития, работу технологических инкубаторов и научных парков. Второе направление трансфера знаний связано с разработкой и реализацией востребованных на рынке

образовательных услуг *инновационных образовательных программ*, позволяющих заказчику получить необходимый экономический эффект.

Отметим, что успешная реализация функции трансфера знаний в экономику возможна только на основе высокого уровня научных исследований и качества образования. В такой плоскости рассмотрения трансфер знаний является функцией вторичной и надстраивается над базовыми функциями университета: исследованиями и образованием. В тоже время данная функция оказывает существенное влияние как на выбор направлений научных исследований – принимается во внимание возможность коммерциализации результатов исследований, так и на разработку новых образовательных программ – учитывается их востребованность на рынке труда.

2 Метафоры в понимании организации и управления

Разработка концептуальной модели инновационного университета предполагает определение основ его функционирования и развития. Для решения этой задачи нам представляется конструктивным использование современных подходов, сложившихся в теории управления организациями. Следует отметить, что в настоящее время вузовский менеджмент существует и развивается достаточно изолированно от теории и практики управления организациями, что не позволяет использовать накопленный в них потенциал.

В последние годы при анализе организаций широко используются *метафоры*. Мощным толчком для переосмысления концепции организации послужила работа Гарета Моргана «Имиджи организации: восемь моделей организационного развития». По мнению автора «...все теории организации и управления опираются на определенные образы или метафоры, которые, хотя и ограничивают и сужают реальную ситуацию, тем не менее, облегчают нам правильное видение, понимание и управление организацией» [9, С. 13]. Иными словами, метафора выступает основным инструментом мышления, определяющим на подсознательном уровне понимание сути организации и управление ее развитием. Г. Морган выделяет восемь таких метафор, каждая из которых предлагает свое видение организационной жизни: как «механизма», как «живого организма», как «мозга», как «культуры», как «политической системы», как «тюрьмы для психики», как «постоянного движения и трансформации» и как «инструмента власти».

Механистическая метафора предполагает видение организации в качестве сложного технического устройства, состоящего из взаимосвязанных частей, каждый из которых выполняет строго определенную функцию. Подобный способ мышления руководителя приводит к созданию организации бюрократического типа. Метафора «живого организма» предлагает рассматривать жизнь организации по аналогии с жизнью живых организмов в природе. При этом для организационного анализа широко используются существующие в биологии эволюционные принципы и закономерности: адаптации к окружающей среде, межвидовой конкуренции, стадий жизни организма и др. Метафора «мозга» позволяет представить организацию в образе органа отвечающего за хранение и переработку человеком информации. Этот образ акцентирует внимание на важности процессов переработки информации, обучения и самоорганизации. Метафора организации как особой «культуры» предлагает нам еще один альтернативный способ построения и управления организацией. В нем основной акцент делается на общегрупповых ценностях, нормах, ритуалах и других представлениях, определяющих организационную жизнь. Еще одной распространенной метафорой организации является видение организации в качестве «политической системы». В центре внимания такого видения находится политический аспект жизни организации: различия в интересах различных групп людей, конфликты, борьба за власть и т.п. Особняком в предлагаемом перечне занимает метафора организации как «тюрьмы для психики». В ней предпочитаемый нами способ организации рассматривается в качестве отражения наших бессознательных предубеждений, касающихся власти и контро-

ля, подавленной сексуальности или страха смерти. Седьмая метафора предлагается нам представить организацию как постоянный процесс изменений и преобразований, имеющих свою логику и формирующих социальную жизнь. Данная метафора помогает понять природу организационных перемен и научиться управлять ими. И, наконец, последняя метафора подчеркивает мысль о том, что всякая организация есть инструмент власти и служит эксплуатации своих работников. Эта метафора отражает образ организации как «политической системы» и помогает глубже понять отношения между руководством и работниками в организации.

Одним из основных преимуществ использования метафор является их способность формировать новые идеи и направлять анализ в нужное русло. Считается, что применение метафор в рассуждениях и исследованиях улучшает творческие процессы и обеспечивает инсайт. Конечно, при этом существует опасность выбора неудачной метафоры, которая может увести исследователя в ложном направлении. Выбор той или иной ведущей метафоры, чаще всего, осуществляется интуитивно и отражает субъективный опыт исследователя. В тоже время можно говорить о двух основных объективных критериях выбора метафоры: 1) *адекватности* - уровне соответствия метафоры объекту исследования и 2) *описательной силе* – возможности отражения всей сложности объекта. С точки зрения адекватности объекту следует различать *корневую* и *организующую* метафоры: первая отражает фундаментальный образ объекта, а вторая обрамляет и структурирует его ограниченную часть (сторону). С точки зрения описательной силы следует различать метафору *глубинную*, позволяющую отражающую всю сложность объекта и *поверхностную*, ведущую к определенному ее упрощению [10].

3 Метафора мозга в разработке модели инновационного университета

Нам представляется, что для разработки модели инновационного университета в качестве *корневой* и *глубинной метафоры* может выступать метафора *мозга*. Выбор этой метафоры может быть «оправдан» сложившимся комплексом ожиданий по отношению к современному университету. Действительно, основополагающей функцией университета в обществе, основанном на знании, является роль «интегратора знаний» или «информационного интегратора». Под интеграцией понимается организация процессов информационного взаимодействия (процессов генерации, обмена и трансфера знаний) частей сложной системы в целях обеспечения ее развития. Университет становится ведущим участником и организационным посредником для кооперации научных и образовательных структур с производством, культурными учреждениями и властными структурами. Целью кооперации является объединение усилий для решения междисциплинарных задач образования и науки и внедренческая инновационная деятельность [11]. Легко видеть, что аналогичную роль в организме человека выполняет мозг, который осуществляет функции приема и переработки разнообразной информации с периферии, принятия сложных умственных решений и регуляции адаптивного поведения.

Еще одним основанием для выбора «метафоры «мозга» являются условия высокой неопределенности и сложности, в которых вынужден существовать современный университет. По мнению Р. Барнетта, за основу реконструкции университета следует принять тезис о его существовании в условиях «сверхсложности», при котором даже границы понимания мира проблематизируются. Университет – это место, где «сверхсложность» рождается, и одновременно создаются условия для выживания в этом чреватом последствиями, хрупком и непредсказуемом мире [1]. Из этого тезиса вытекает требование к способности университета реагировать на неопределенность и воспроизводить ее в новых формах, что существенно сближает деятельность университета и головного мозга человека.

Принятие метафоры мозга в качестве *корневой* и *глубинной метафоры* позволяет использовать основные *образы* функционирования мозга для разработки концептуальной модели инновационного университета. При этом следует отметить, что человеческий мозг является совершенно уникальным по своей сложности и совершенству органом человека, механизмы

функционирования которого по сегодняшний день остаются малоизученными. Однако этот факт не исключает возможности использования ключевых образов работы мозга для понимания природы и принципов управления инновационным университетом. К таким трем ключевым взаимосвязанным образам Г. Морган относит [9]:

- 1) организация как обрабатывающий информацию мозг;
- 2) обучающаяся организация;
- 3) организация как голографический мозг.

Первый образ позволяет рассмотреть один из важнейших аспектов в деятельности университета – организацию его информационной системы, а также системы принятия решения. Развитие современных информационных технологий и форм «сетевого интеллекта» позволяет направить в новое русло понимание процесса обработки информации в организации и его применение на практике. Информационные системы организации начинают заменять традиционные модели взаимодействия работников организации между собой, с клиентами и с другими организациями. В таких условиях организация все в большей степени существует в пределах информационной системы и превращается в «виртуальную организацию». Эта тенденция отчетливо прослеживается и в создании компьютерных информационных систем в современных университетах (ярким примером здесь может служить НИУ ВШЭ). В рамках этих систем осуществляется большинство коммуникаций на самых разных уровнях: между головным университетом и филиалами; между факультетами, кафедрами, лабораториями и другими структурными подразделениями; между преподавателями и студентами. *Информационная система* инновационного университета становится похожей на «электронный мозг», основными принципами функционирования которого являются равная для всех *доступность* источников информации и *децентрализация* коммуникационных сетей.

Что касается, процесса принятия решения в организации, то здесь метафора мозга «подсказывает» нам необходимость выхода за пределы классической (рационально-экономической) модели принятия управленческих решений. Новая модель принятия решения должна учитывать одну из базовых закономерностей работы мозга – межполушарные взаимосвязи в обработке информации. Это означает, что принимаемые решения могут пониматься как результат взаимодействия процессов формально-логических и аналитических – с одной стороны, и процессов распознавания образов – с другой. Следует полагать, что именно подобное *взаимодействие* и лежит в основе *принятия интуитивных решений*, наиболее приемлемых для ситуаций инновационного развития, отличающихся высокой степенью неопределенности и риска.

Еще один аспект управленческих решений связан с построением в организации целостной системы принятия решений. Системно-уровневый принцип работы мозга по принятию решений представляет нам своего рода эталон для эффективной организации аналогичной деятельности в организации. Он предполагает выделение нескольких взаимосвязанных *уровней* принятия решений, каждому из которых соответствует свой тип решаемых задач [12]. В рамках университета такими уровнями могут выступать институты, факультеты, кафедры, лаборатории, проектно-исследовательские группы. Делегирование на эти уровни необходимых и достаточных полномочий (и ответственности) создаст крайне необходимую для инновационной деятельности *самостоятельность* и *гибкость* в принятии решений.

Второй образ ставит вопрос о том, существуют ли способы построения организаций, способных, подобно мозгу обучаться? Одним из результатов исследований, проведенных в рамках кибернетики, стало представление о необходимости различения процесса обучения (однопетлевое обучение) и процесса обучения обучению (двухпетлевое обучение). Однопетлевое обучение происходит благодаря способности системы определять и исправлять ошибки, руководствуясь заданными нормами. Двухпетлевое обучение происходит благодаря способности бросить «двойной взгляд» на ситуацию и проверить заданные ей нормы. Подобный тип обучения позволяет системе не только действовать в пределах заданных норм, но и находить в них

ошибки и устанавливать новые нормы. Именно это умение и лежит в основе способности системы к развитию и самоорганизации. Установлено, что двухпетлевое обучение присуще только сложным кибернетическим системам и, в первую очередь, человеческому мозгу.

Проблема создания обучающейся организации впервые была поставлена в работах Криса Арджириса [13] и сегодня находится в центре внимания менеджеров. Специалисты выделяют следующие основные условия (требования) перехода от однопетлевого обучения к двухпетлевому:

- постоянное изучение и предвидение перемен во внешней среде
- развитие критического отношения к действующим нормам и допущениям
- поддержка возникающих новых направлений и структур

Идея перехода к двухпетлевому обучению и создания *обучающейся организации*, на наш взгляд, должна быть ключевой в концептуальной модели инновационного университета – принципы обучения и самоорганизации изначально заложены в самой природе этого нового типа университета. Переход к двухпетлевому обучению зависит от способности преодолеть ограничения однопетлевого обучения и бюрократические защитные механизмы, удерживающие университет в прошлом (в модели классического университета). При этом необходимо усвоение новой философии управления, которая признает важность обучения и побуждает учиться обучению, признавая эту задачи первостепенными. Необходимо также утверждение таких организационных принципов и структур, которые оказали бы поддержку этому процессу перехода.

Третий образ направляет наше мышление к построению такой организации, в которой свойства целого содержатся в каждой его части, благодаря чему она приобретает способность к непрерывной *самоорганизации* и *воспроизводству*. Известно, что такой способностью обладает мозг, когда повреждена или удалена какая-либо его часть. Выделяют несколько ключевых принципов, создающих условия для голографической самоорганизации: встраивания целого в часть, избыточности, необходимого разнообразия, минимума условий и требований.

Принцип встраивания целого в часть может быть реализован в организации, по крайней мере, в четырех сферах: корпоративная культура, информационные системы («сетевой разум»), структуры и роли. Важность этого принципа в реализации механизмов социальной самоорганизации показана в исследованиях В.А. Виттиха [14]. Второй принцип связан с наличием некоторой степени *избыточности*, создающей пространство для инновации и развития. Третий принцип формулируется как принцип *необходимого разнообразия*: согласно ему внутренняя сложность должна соответствовать сложности внешней среды. И, наконец, четвертый принцип – *минимум условий и требований* – создает организации необходимую ей для развития свободу. Конкретизация этих принципов применительно к деятельности инновационного университета представляется нам сложной, но, безусловно, перспективной задачей, решение которой позволит вывести осмысление университета на принципиально иной концептуальный уровень.

Заключение

Современный этап развития университета характеризуется появлением новых его типов. Ведущим типом университета, готовым ответить на вызовы времени, выступает инновационный университет. В основе его функционирования лежит треугольник знаний: «образование – исследования – инновации». Продуктивным инструментом понимания природы инновационного университета и управления его развитием являются метафоры. В качестве корневой и глубинной метафоры инновационного университета может быть использована метафора мозга. Применение метафоры мозга позволяет рассматривать инновационный университет в трех основных плоскостях: как информационную систему и систему принятия решений; как обучающуюся организацию; как структуру, способную к самоорганизации и воспроизводству.

Рассмотрение в первой плоскости предполагает создание компьютерной информационной системы, удовлетворяющей требованиям доступности источников информации и децентрализованности коммуникационных сетей. Эффективная система принятия организационных решений должна иметь уровневое строение и предусматривать делегирование на них соответствующих полномочий и ответственности. Понимание инновационного университета как обучающейся организации означает необходимость преодоления ограничений однопетлевого обучения и перехода к двухпетлевому. Видение университета как самоорганизующейся структуры предполагает реализацию в ее жизни основных принципов голографической структуры: встраивания целого в часть, наличия определенной избыточности и необходимого разнообразия, минимума условий и требований.

Список литературы

- [1] Барнетт Р. Осмысление университета // *Alma mater*. – 2008. – №6. – С. 46 – 56.
- [2] Филиппов В.М. Многомерные социальные измерения университетов классического типа // *Высшее образование сегодня* – 2009 – №8. – С. 4 – 7.
- [3] Каррье Г. Культурные модели университета // *Alma mater*. – 1996. - №3. – С. 15 – 24.
- [4] «Группа восьми» об образовании // *Высшее образование сегодня*. – 2006. – №1. – С. 15 – 27.
- [5] Всемирная конференция по высшему образованию – 2009. Итоговое коммюнике // *Высшее образование сегодня*. – 2009. – №8. – С. 13 – 17.
- [6] Волков А.Е., Кузьминов Я.И., Реморенко И.М., Рудник Б.Л., Фрумин И.Д., Якобсон Л.И. Модель системы образования России в перспективе до 2020 года: поворот к экономике, основанной на знаниях // *Высшее образование сегодня*. – 2008. – №5. – С. 4 – 9.
- [7] Инновационный университет. Проектно-ориентированное управление: стратегия, интеграция, качество: Сборник статей. Составители: Р.Г. Стронгин, А.О. Грудзинский. – Н.Новгород: Изд-во ННГУ, 2007. – 218 с.
- [8] Грудзинский А.О., Бедный А. Б. Трансфер знаний – функция инновационного университета // *Высшее образование в России*. – 2009. - №9. – С. 66 – 71.
- [9] Морган Г. Имиджи организации: восемь моделей организационного развития / Гарет Морган; [пер. с англ. под ред. Н. Лапиной]. – М.: Вершина, 2006 – 416 с.: ил.
- [10] Элвессон М. Организационная культура / Мэтс Элвессон; [пер. с англ.] – Харьков.: Изд-во Гуманитарный Центр, 2005. - 460 с.
- [11] Стронгин Р.Г., Максимов Г.А., Грудзинский А.О. Университет как интегратор в обществе, основанном на знании // *Высшее образование в России*. – 2006. – №1. – С. 15 – 27.
- [12] Карпов А.В. Психология принятия управленческих решений / А.В. Карпов. – М.: Юрист, 1998. – 440с.
- [13] Арджирис К. Организационное научение / Крис Арджирис; [пер. с англ.] – М.: ИНФРА-М, 2004. – 563 с.
- [14] Виттих В.А. Механизмы социальной самоорганизации: препринт. – Самара: Учреждение Российской академии наук «Институт проблем управления сложными системами РАН», 2011. – 17 с.

О МОДЕЛИ ИНФОРМАЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ В СОЦИАЛЬНЫХ СЕТЯХ

Д.Н. Федянин¹, А.Г. Чхартшвили²

¹Репетит-Центр
Москва, Россия
dfedyanin@inbox.ru

²Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН
117806, Москва, ул. Профсоюзная, 65, Россия
sandro_ch@mail.ru
тел: +7 (495) 334-90-51

Ключевые слова: социальная сеть, управление, теория игр

Abstract

The paper considers the game-theoretic model of interaction between agents in social network. We investigated the structure of Nash equilibrium under different types of agents. On this basis, we formulated conditions on the types in which the governing body maximize its objective function.

Введение

В последние годы большой интерес исследователей привлекают социальные сети – см., напр., обзорную работу [1] или монографию [3], автор которой анализирует большое число работ по исследованию формирования сетей и их динамики.

Под социальной сетью на качественном уровне понимается социальная структура, состоящая из множества элементов сети или агентов (субъектов – индивидуальных или коллективных, например, индивидов, семей, групп, организаций) и определенного на нем множества отношений (совокупности связей между агентами, например, знакомства, дружбы, сотрудничества, коммуникации). Формально социальная сеть представляет собой граф $G(N, E)$, в котором $N = \{1, 2, \dots, n\}$ – конечное множество вершин и E – множество ребер, отражающих взаимодействие агентов. В данной статье мы будем считать, что ребра являются ориентированными и отражают взаимное влияние (доверие) агентов (эта модель подробно описана в [2,3]).

В последние годы социальные сети привлекают большой интерес исследователей – см., напр., [5, 7-10], а также обзорную работу [1]. Также можно отметить монографию [6], автор которой анализирует большое число работ по исследованию формирования сетей и их динамики.

При моделировании социальных сетей обычно исходят из предположения о том, что основная характеристика его элемента (его мнение по какому-либо вопросу, «зараженность» чем-либо в моделях распространения эпидемий и т.п.) меняется по некоторому заданному закону исходя из характеристик «соседних» элементов. В таких моделях (назовем их условно моделями первого типа) элемент сети является, по сути, пассивным.

Реже встречаются модели, где элемент сети сам выбирает характеристику (например, действие или бездействие) исходя из своих возможностей и интересов. В таких моделях (назовем их условно моделями второго типа) элемент сети является активным, т.е. обладает своими интересами (например, формализованными в виде целевой функции) и свободой выбора.

В данной работе рассматривается пример комплексной модели, в которой учитывается как пассивный, так и активный аспект элементов социальной сети. Каждый такой элемент характеризуется некоторым параметром (типом), который может меняться под влиянием других агентов и на который может оказывать влияние управляющий орган – центр. В то же время,

каждый агент обладает целевой функцией и выбирает свое действие из множества допустимых действий.

Далее во втором разделе рассматривается ситуация взаимодействия агентов при отсутствии управления со стороны центра, анализируется структура решений игры – равновесий. В третьем разделе рассматривается задача информационного управления: центр стремится воздействовать на индивидуальные характеристики агентов с целью добиться требуемого ему результата игры.

1 Описание и анализ теоретико-игровой модели

Пусть имеется конечное множество агентов, $N=\{1, 2, \dots, n\}$, каждый из которых характеризуется параметром – типом – r_i (где $r_i > 0$), степенью воздействия b_i (где $b_i > 0$), целевой функцией f_i и выбирает неотрицательное действие x_i . Целевая функция i -го агента имеет следующий вид:

$$f_i(x_1, \dots, x_n) = x_i(b_1x_1 + \dots + b_nx_n - b) - \frac{x_i^2}{r_i}.$$

Содержательная интерпретация следующая: агенты прикладывают усилия x_i к некоторому совместному действию, которое окажется успешным (дает положительный вклад в целевые функции агентов) в случае, если сумма усилий превышает некоторый порог, который принимается равным b (где $b \geq 0$). Если действие оказалось успешным, то выигрыш агента (первое слагаемое целевой функции) тем больше, чем больше его усилие. С другой стороны, само по себе усилие агента вносит в его целевую функцию отрицательный вклад (второе слагаемое целевой функции), который зависит от типа r_i – чем больше тип, тем «легче» агенту прикладывать усилие (например, это может быть психологически объяснено тем или иным мнением агента по какому-либо вопросу, его большей лояльностью, симпатией агента к совместному действию и т. п.). Коэффициенты b_i характеризуют степень воздействия агента на достижение порога.

Введем новую величину $d_i = r_i b_i$, которую назовем *независимостью* (от коллектива) i -го агента. Если эта величина больше 1, то агенту коллектив не нужен, он может получить любое значение целевой функции, просто увеличив свои собственные действия. Поэтому будем далее считать выполненным условие $0 < d_i < 1$.

Для моделирования исхода игры агентов в данной работе используется равновесие Нэша – ситуация (набор действий игроков), от которой никому не выгодно отклоняться в одностороннем порядке. Для нахождения равновесия Нэша, при котором все действия положительны (т.е. максимум целевой функции каждого агента достигается в области $x > 0$), запишем следующую систему уравнений:

$$\frac{\partial f_i(x_1, \dots, x_n)}{\partial x_i} = b_i x_i - \frac{2}{r_i} x_i + (b_1 x_1 + \dots + b_n x_n - b) = 0, \quad i \in N.$$

Удовлетворяющий этой системе набор действий точек действительно является равновесным по Нэшу, поскольку, в силу того, что независимость агентов меньше единицы, справедливо соотношение

$$\frac{\partial^2 f_i(x_1, \dots, x_n)}{\partial x_i^2} = 2b_i - \frac{2}{r_i} < 0,$$

т.е. действия каждого агента максимизируют его целевую функцию.

Для решения системы выразим действие x_i через сумму всех действий агентов (здесь и далее суммирование проводится от 1 до n):

$$x_i = \frac{r_i}{2 - b_i r_i} \left(\sum_{j=1}^n b_j x_j - b \right).$$

Далее просуммируем по всем агентам,

$$\sum_{i=1}^n b_i x_i = \sum_{i=1}^n \frac{b_i r_i}{2 - b_i r_i} \left(\sum_{j=1}^n b_j x_j - b \right).$$

и введем следующие обозначения:

$$k_i = \frac{r_i}{2 - b_i r_i}.$$

$$\sigma = \sum_{i=1}^n b_i k_i.$$

Используя эти обозначения, можно записать

$$\sum_{i=1}^n b_i x_i = \frac{\sigma}{\sigma - 1}.$$

Из последнего соотношения видно, что система уравнений имеет решение при условии $\sigma > 1$.

При этом условии для равновесных действий агентов получаем выражение

$$x_i = \frac{k_i b}{\sigma - 1}.$$

Приведенные выше выкладки доказывают следующее утверждение.

Утверждение 1. Необходимым и достаточным условием существования ненулевого равновесия является условие $\sigma > 1$.

Отметим, что полученное равновесие является не единственным, поскольку в некоторых случаях максимум целевой функции агента достигается на границе области допустимых действий, т.е. при $x_i = 0$. Сформулируем еще два утверждения, которые вместе с утверждением 1 полностью описывают структуру равновесий игры.

Утверждение 2. Набор действий $(0, 0, \dots, 0)$ является равновесием Нэша.

Доказательство. Нетрудно видеть, что

$$f_i(0, \dots, x_i, \dots, 0) = x_i(b_i x_i - b) - \frac{x_i^2}{r_i}, \quad i \in N.$$

Первая и вторая производные этой функции по x_i в нуле отрицательны, поэтому $x_i = 0$ является точкой максимума. Утверждение 2 доказано.

Утверждение 3. Если действие хотя бы одного из агентов равно нулю и система находится в положении равновесия Нэша, то это равновесие $(0, 0, \dots, 0)$.

Доказательство. Не ограничивая общности, будем считать, что нулю равно действие 1-го агента. Поскольку нуль является точкой максимума по x_1 (поскольку это равновесное действие), частная производная в нуле неположительна,

$$\frac{\partial f_1(x_1, \dots, x_n)}{\partial x_1} = \left(2b_1 - \frac{2}{r_1} \right) x_1 + \sum_{j \neq 1} b_j x_j - b \leq 0,$$

откуда получаем соотношение

$$\left(2b_1 - \frac{2}{r_1} \right) x_1 = 0 \leq b - \sum_{j \neq 1} b_j x_j.$$

Последнее соотношение дает необходимое условие существования равновесия Нэша при нулевом действии 1-го агента:

$$\sum_{j=1}^n b_j x_j \leq b.$$

Выпишем теперь производную целевой функции k -го агента:

$$\frac{\partial f_k(x_1, \dots, x_n)}{\partial x_k} = \left(2b_k - \frac{2}{r_k}\right)x_k + \sum_{j \neq k} b_j x_j - b.$$

Так как действия ограничены только снизу и функция непрерывно дифференцируема, то необходимым условием ненулевого локального максимума является равенство нулю производной, которое можно записать в следующем виде:

$$2\left(\frac{b_k r_k - 1}{b_k r_k}\right)x_k = b - \sum_{j \neq k} b_j x_j.$$

Последнее равенство противоречиво, поскольку левая его часть отрицательна, а правая – неотрицательна. Утверждение 3 доказано.

2 Задача информационного управления

Введем в рассмотрение центр, который стремится управлять типами агентов таким образом, чтобы привести их в наиболее желательное для него равновесие Нэша. Некоторые возможные варианты целевых функций центра приведены в монографии [2], в данном случае будем считать, что целевая функция центра имеет следующий вид:

$$F = -\sum_{j=1}^n x_j.$$

Содержательно это означает, что действия агентов для центра нежелательны, поэтому его задачей является минимизация их суммарных действий. Типичным примером такой ситуации является задача системы защиты от возможных действий потенциальных злоумышленников.

Максимум целевой функции центра достигается при нулевых действиях агентов, поэтому он должен стремиться исключить ненулевое равновесие, т.е. сделать его невозможным. Согласно утверждению 1, ненулевое равновесие не существует при условии

$$\sigma \leq 1.$$

Переписывая последнее соотношение для типов агентов, получаем окончательно условие на невозможность ненулевого равновесия:

$$(1) \quad \sum_{i=1}^n \frac{2}{2 - b_i r_i} \leq 1 + n.$$

Данное выражение можно также записать в виде

$$\sum_{i=1}^n \frac{1}{2 - d_i} \leq \frac{1 + n}{2}.$$

В случае, если типы агентов одинаковы и равны r , притом все агенты имеют одинаковую степень воздействия равную 1, соотношение (1) можно преобразовать к следующему виду:

$$(2) \quad r \leq \frac{2}{n+1}.$$

Заметим, что порог b не входит в полученное условие (1). Его значение определяет, насколько большие усилия надо приложить агентам в ненулевом равновесии Нэша, однако не влияет на само его наличие или отсутствие. Это говорит о том, что если центр и может увеличивать порог, то в рамках рассматриваемой модели это нецелесообразно.

Таким образом, мы получили условие на типы агентов, при выполнении которого центр достигает своей цели. При выполнении этого условия в системе не существует ненулевого равновесия Нэша. Поэтому единственным оказывается нулевое равновесие, в котором целевая функция центра принимает максимальное значение.

Рассмотрим возможности центра по осуществлению управления посредством изменения начальных мнений (типов) агента.

Находясь в одной социальной сети, агенты общаются, обмениваясь мнениями. Агенты в сети влияют друг на друга, и степень влияния задается *матрицей прямого влияния* A размерности $n \times n$, где $a_{ij} \geq 0$ обозначает степень доверия i -го агента j -му агенту. Здесь можно говорить как о влиянии, так и о доверии, и считать, что эти два понятия являются противоположными в следующем смысле: выражение «степень доверия i -го агента j -му равна a_{ij} » тождественно по смыслу выражению «степень влияния j -го агента на i -го равна a_{ij} ».

Обмен мнениями приводит к тому, что тип агентов изменяется в соответствии с типами агентов, которым он в данный момент доверяет. В том случае, если взаимодействие агентов продолжается достаточно долго, то их типы стабилизируются (условие стабилизации типов подробно описано в [1]) и полностью определяются исходными типами и матрицей *результующего влияния*

$$A^\infty = \lim_{\tau \rightarrow \infty} (A)^\tau.$$

Если начальный вектор типов обозначить r^0 , то в результате взаимодействия агентов вектор типов r приобретает (при отсутствии каких-либо воздействий центра) следующий вид:

$$r = A^\infty r^0.$$

Нетрудно видеть, что в данном случае центр заинтересован в уменьшении мнений агентов, поэтому будем рассматривать только воздействия, уменьшающие типы. Зависимость типа агента от воздействия на него центра должна обладать следующими свойствами

- быть непрерывной;
- асимптотически стремиться к нулю при увеличении воздействия центра;
- в нуле равняться типу агента до воздействия центра;
- монотонно убывать.

Этим условиям удовлетворяет следующая функция:

$$r_j^u = r_j^0 e^{-\frac{u_j}{\alpha_j}},$$

где j – номер агента, неотрицательное действительное число u_j – прилагаемое усилие центра, r_j^0 – начальный тип агента (до воздействия центра), r_j^u – тип агента после воздействия центра, положительное действительное число α_j – константа, характеризующая степень влияния центра на данного агента. Ниже также будет введено ограничение сверху на u_j .

Естественно предположить, что сумма всех усилий центра ограничена сверху. Обозначим такое суммарное максимальное усилие центра U , которое будем называть ресурсом. Обозначив k количество агентов, на которых может влиять центр (без ограничения общности можно считать, что это первые k агентов), оптимизационную задачу относительно u_j можно записать в следующем виде:

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^n w_i r_i^0 e^{-\frac{u_i}{\alpha_i}} &\rightarrow \min, \\ u_j &\geq 0; \forall j \leq k, \\ \sum_{j=1}^k u_j &= U; u_{k+p} = 0; p = 1, \dots, n - k. \end{aligned}$$

Для нахождения решения применяется метод множителей Лагранжа. Функция Лагранжа для поставленной задачи.

Это позволяет выписать оптимальные управляющие воздействия, которые при существующем ограничении обеспечивают наименьший результирующий тип агентов

$$u_i = \left(\sum_{j=1}^k \alpha_j \right)^{-1} \alpha_i U + \left(\sum_{j=1}^k \alpha_j \right)^{-1} \sum_{p=1}^k \alpha_p \ln \alpha_p w_p r_p^0 - \alpha_i \ln \alpha_i w_i r_i^0.$$

Таким образом, мы получили условие, при выполнении которого центр способен предотвратить активность агентов, т.е. сделать нулевое равновесие Нэша единственным.

Заключение

Основной целью данной работы является рассмотрение примера комплексной модели информационного управления в социальной сети, учитывающей как пассивный, так и активный аспекты элементов социальной сети. Перспективным направлением дальнейших исследований представляется описание и исследование различных вариантов воздействия центра на социальную сеть (возможно, социальные сети специального вида), а также их взаимосвязь с результатами игры агентов.

Список литературы

- [1] Губанов Д.А., Новиков Д.А., Чхартишвили А.Г. Модели влияния в социальных сетях // Управление большими системами. Выпуск 27. М.: ИПУ РАН, 2009. С 205-281.
- [2] Губанов Д.А., Новиков Д.А., Чхартишвили А.Г. Социальные сети: модели информационного влияния, управления и противоборства – М.: Физматлит, 2010.
- [3] Губанов Д.А., Новиков Д.А., Чхартишвили А.Г. Модели информационного влияния и информационного управления в социальных сетях // Проблемы управления. 2009, №5, С 28-35
- [4] Чхартишвили А.Г. Теоретико-игровые модели информационного управления. М.: ПМСОФТ, 2004. – 227 с.
- [5] Buchanan J. An Economic Theory of Clubs. // *Economica* (Blackwell Publishing). – 1965. – №32 (125) pp. 1–14
- [6] Jackson M. *Social and Economic Networks*. // Princeton: Princeton University Press, 2008. – 520 p.
- [7] Meinzen-Dick R., Di Gregorio M. Collective action and property rights for sustainable development. // *International Food Policy Research Institute (IFPRI)*. – 2004. – 36 p.
- [8] Newman M. Coauthorship networks and patterns of scientific collaboration.// *Proceedings of the National Academy of Sciences*. – 2004. – №101. – pp. 5200 – 5205.
- [9] Ostrom E. *Governing the Commons: The Evolution of Institutions for Collective Action (Political Economy of Institutions and Decisions)*.// Cambridge University Press. – 1990. – 298 p.
- [10] Schettler S. A structured overview of 50 years of small-world research. // *Social Networks*. –2009. – 31(3). – pp. 165 – 178.

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПОРОГОВОЙ МОДЕЛИ ВЗАИМНОГО СТРАХОВАНИЯ

В.В. Бреер

Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН
117997, Москва, Профсоюзная, 65, Россия
breer@live.ru
тел: +7 (495) 364-50-63

Ключевые слова: модель взаимного страхования, склонность к риску, нейтральность к риску, равновесие Нэша

Abstract

The game model of mutual insurance with thresholds is considering. Threshold models are used in many describing the social behavior. The Nash equilibrium depends upon the distribution of the risk aversion of the players. Those risk aversion values is evaluating according to the survey.

Введение

Отношение страхователя к риску имеет первостепенное значение при описании принципов страхования и, в том числе, к системе взаимного страхования [5]. Участники страхования делятся на склонных, не склонных и нейтральных к риску [7]. Учет отношения страхователя к риску определяется через его целевую функцию.

Пусть агенту предлагают вложить деньги с высокой доходностью, но и с высоким риском. Предположим, что p - вероятность неполучения дохода (доход равен нулю), $(1 - p)$ - вероятность получения дохода x . Ожидаемый доход составит, очевидно, $Ex = (1 - p)x$. Зададимся вопросом - какую сумму x_0 индивидиум готов заплатить за участие в такой лотерее?

Принято условно разделять субъектов на три группы:

- нейтральные к риску (risk-neutral) - готовые участвовать в лотерее за ожидаемый выигрыш, то есть $x_0 = (1 - p)x$;
- несклонные к риску (risk-averse) - готовые внести за участие в лотерее сумму строго меньшую ожидаемого дохода, то есть $x_0 < (1 - p)x$;
- склонные к риску - готовые участвовать в лотерее даже при условии, что ожидаемый выигрыш меньше их взноса, то есть $x_0 > (1 - p)x$.

Таким образом, отношение агента i к риску характеризуется его целевой функцией f_i , а именно ее линейностью ($f_i' = \text{const} > 0, f_i'' = 0$) - нейтральность к риску, выпуклостью ($f_i' > 0, f_i'' > 0$) - склонность к риску, вогнутостью ($f_i' > 0, f_i'' < 0$) - несклонность к риску.

Ситуацией, когда страхование возможно, является разница между страхователем и страховщиками в их отношении к риску. Как правило, страхователь должен быть несклонным к риску. Многообразие случаев, которые характеризуют вогнутость целевой функции можно для простоты свести к одному параметру $\xi_i \geq 0$ ([2], [3]), как это показано в разделе 1.

В случае взаимного страхования между потенциальными страхователями устанавливаются отношения об участии или неучастии агента в страховании, которую можно описать, как игру. Социальное поведение в этой игре характеризуется пороговыми значениями [6] склонности игроков к риску. Равновесие Нэша для этой игры рассмотрено в разделе 2.

Распределение параметра несклонности к риску ξ_i было идентифицировано путем опроса, описываемого в разделе 3.

1 Модель взаимного страхования

Рассмотрим объединение $N = \{1, 2, \dots, n\}$ (которое в случае взаимного страхования можно условно считать страховщиком) из n страхователей, имеющих в отсутствии страхования целевые функции (равные математическому ожиданию¹ их функций полезности)²

$$(1) \quad Ef_i = H_i - p_i Q_i (1 + \xi_i), \quad i \in N,$$

где H_i – детерминированный доход i -го страхователя, p_i – вероятность наступления страхового случая у i -го страхователя (страховые случаи у различных страхователей будем считать независимыми событиями), Q_i – потери i -го страхователя при наступлении у него страхового случая, $\xi_i \geq 0$ – коэффициент, отражающий степень несклонности i -го страхователя к риску.

Модель с распределением страховых резервов. Целевые функции страхователей в присутствии страхования для этой модели имеют вид:

$$(2) \quad EF_i = H_i - r_i + p_i (h_i - Q_i) (1 + \xi_i) + x_i, \quad i \in N,$$

где r_i – страховой взнос i -го страхователя, h_i – выплачиваемое ему при наступлении страхового случая возмещение, x_i – доля страховых резервов, "возвращаемая" i -му страхователю.

Математическое ожидание полезности нейтрального к риску страхового фонда взаимного страхования равно:

$$(3) \quad E\Phi = \left[\sum_{i \in N} r_i - p_i h_i - x_i \right] - c,$$

где c – затраты на организацию и поддержание деятельности фонда.

Введем следующие предположения относительно свойств механизма взаимного страхования:

A.1. Страховой взнос составляет единую для всех страхователей долю $\alpha \in (0; 1)$ от страховых потерь:

$$(4) \quad r_i = \alpha Q_i, \quad i \in N.$$

A.2. Страховое возмещение составляет единую для всех страхователей долю $\beta \in (0; 1)$ от страховых потерь:

$$(5) \quad h_i = \beta Q_i, \quad i \in N.$$

A.3. Фонд взаимного страхования бесприбылен, то есть страхователям возвращаются остатки страховых взносов за вычетом страховых возмещений, причем распределение этих остатков происходит пропорционально страховым взносам страхователей:

$$(6) \quad x_i = \left[\left(\sum_{i \in N} r_i - p_i h_i \right) - c \right] r_i / \sum_{j \in N} r_j, \quad i \in N.$$

A.4. Вероятности наступления страховых случаев у всех страхователей одинаковы: $p_i = p$, и потери от наступления страховых случаев у всех страхователей одинаковы³: $Q_i = Q$, $i \in N$.

С учетом предположения A.4 и выражений (4)-(5) выражение (6) примет вид:

$$(7) \quad x_i = x = (\alpha - p\beta) Q - c / n, \quad i \in N.$$

¹ В настоящей работе мы оперируем ожидаемыми полезностями, не рассматривая вероятности разорения страховых фондов и т.д.

² Для простоты ограничимся описанием взаимодействия страхователей в течение одного промежутка времени, на протяжении которого однократно производится сбор взносов и компенсация ущерба. При этом будем считать, что остатки резервов (разность между собранными взносами и произведенными выплатами), если они положительны, распределяются в соответствии с некоторым механизмом между участниками системы взаимного страхования.

³ Фактически, предполагается, что страхователи отличаются лишь своим отношением к риску.

Подставляя (4), (5) и (7) в выражение (2), получим, что целевые функции страхователей имеют вид:

$$(8) \quad EF_i = H_i - p Q [1 + (1 - \beta) \xi_i] - c / n, i \in N.$$

Участвовать в системе взаимного страхования для i -го страхователя выгодно, если его ожидаемая полезность при этом выше, чем при неучастии. Сравнивая выражения (1) и (8), получим, что участие в системе взаимного страхования выгодно для всего множества N страхователей, если

$$(9) \quad \xi_i \geq \frac{c}{np\beta Q}, i \in N.$$

Выражение (9) показывает, что нейтральные к риску агенты ($\xi_i = 0$) при ненулевом содержании страхового фонда не будут участвовать во взаимном страховании. Участие в страховании не зависит от доли страхового взноса α . Кроме того участие во взаимном страховании целесообразно с точки зрения страхователя, если:

- 1) Число страхователей достаточно велико.
- 2) Стоимость содержания фонда не очень велико. Если содержание фонда бесплатно или оплачивается сторонней (благотворительной) организацией, то все страхователи будут участвовать.
- 3) Страховой случай достаточно вероятен.
- 4) Выплаты βQ ощутимы, т.е. доля выплат велика.

2 Теоретико-игровой анализ поведения анонимных страхователей

Полученное в предыдущем разделе условие (9) характеризует ситуации, в которых каждому из n агентов выгодно участвовать в системе взаимного страхования при условии, что все остальные агенты также участвуют (в правой части этих выражений содержится общее число агентов). На самом деле, корректней считать, что имеет место игровое взаимодействие агентов, в котором каждый из них выбирает одно из двух решений – участвовать ему системе взаимного страхования или нет.

Рассмотрим условие (9). Оно описывает простое поведение анонимных страхователей. Анонимность заключается в том, что агенту не важны индивидуальные характеристики (вероятность страхового случая или потери при страховом случае) других, принимающих участие во взаимном страховании агентов. Важно только их количество.

Рассмотрим множество агентов $N = \{1, \dots, n\}$ и опишем модель этого коллективного поведения в виде следующей *игры в нормальной форме* $G = (\{X_i\}_{i \in N}, \{u_i(\cdot)\}_{i \in N}, N)$, где множество допустимых стратегий агента-игрока i есть $X_i = \{0, 1\}$, а его целевая функция $u_i(\cdot)$ (или функция индивидуальной полезности) определяется ниже.

Обозначим *стратегию* игрока i через $x_i \in \{0; 1\}$, где выбор стратегии «1» означает, что игрок участвует во взаимном страховании, а стратегии «0» – не участвует. Будем говорить, что при выборе страхования игрок действует, иначе – бездействует. *Ситуацию игры*, т.е. вектор стратегий всех игроков, обозначим через $x = (x_1, \dots, x_n) \in X$. *Обстановку игры* для игрока i обозначим через следующий $n - 1$ мерный вектор стратегий $x_{-i} = (x_1, \dots, x_{i-1}, x_{i+1}, \dots, x_n) \in X_{-i}$.

Из выражения (9) можно получить для каждого агента величину *минимального числа других (анонимных) агентов*, участвующих в системе взаимного страхования, при котором ему выгодно к ним присоединиться:

$$(10) \quad m_i(\xi_i) = \left\lceil \frac{c}{\xi_i p \beta Q} \right\rceil + 1, i \in N.$$

Здесь скобки [...] обозначают целую часть числа. Пороги (10) убывают с увеличением степени несклонности к риску ξ_i игрока i .

Таким образом, для игрока при принятии решения имеет значение количество других игроков, намеревающихся участвовать во взаимном страховании. Поэтому в качестве обстановки игрока i целесообразно выбрать величину $\Sigma(x_{-i}) = \sum_{j \neq i}^n x_j$. Если эта величина не меньше порога m_i , то игроку выгодно принять участие в системе взаимного страхования.

Поведение игрока i определяется его целевой функцией, значения которого зависят от ситуации игры. Пусть эта целевая функция имеет вид:

$$(11) \quad u_i(x_i, \Sigma(x_{-i})) = \left(\sum_{j \neq i}^n x_j - m_i \right) x_i, \quad i \in N.$$

Перейдем к исследованию равновесий в этой игре.

Равновесием Нэша ([4]) в чистых стратегиях в игре G называют ситуацию x^N , если для всех $i \in N$ и $x_i \in X_i$ справедливо неравенство:

$$(12) \quad u_i(x_i^N, \Sigma(x_{-i}^N)) \geq u_i(x_i, \Sigma(x_{-i}^N)).$$

Исследуем условия и структуру равновесий Нэша для игры G .

В [1] доказано, что для того чтобы ситуация x^* была равновесием Нэша в игре G , необходимо и достаточно, чтобы все игроки с порогами меньше суммарного действия $\Sigma(x^*)$, действовали, а остальные – бездействовали, т.е. были выполнены следующие условия:

$$(13) \quad \forall i: m_i < \Sigma(x^*) \rightarrow x_i^* = 1$$

$$(14) \quad \forall i: m_i \geq \Sigma(x^*) \rightarrow x_i^* = 0$$

Этот факт связывает структуру ситуации равновесия Нэша с распределением порогов игроков. Так, выбирать страхование будут только те игроки, пороги которых меньше общего действия в ситуации равновесия Нэша. Остальные будут бездействовать. Если расположить игроков в порядке возрастания их порогов $m_i(\xi_i)$ (другими словами, по убыванию их степени несклонности к риску ξ_i) вдоль оси абсцисс и откладывать значения их порогов вдоль оси ординат, то структура равновесия Нэша будет выглядеть так, как это условно показано на рисунке 1. Здесь высота прямоугольника соответствует значению порога соответствующего игрока, а цвет означает действие (черный прямоугольник) или бездействие (белый) игрока.

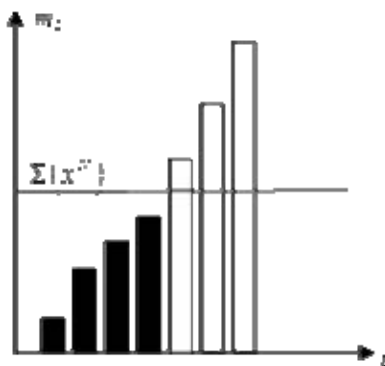


Рисунок 1 – Структура равновесий Нэша

Используя выражения (10), найдем условия (13) и (14) для показателей несклонности к риску ξ_i .

Будем называть *базисной ситуацией* $x^{(p)}$, где p – натуральное число, не превышающее количества игроков n , следующую ситуацию игры:

$$1) \quad \forall i: m_i < p \rightarrow x_i^{(p)} = 1,$$

$$2) \quad \forall i: m_i \geq p \rightarrow x_i^{(p)} = 0.$$

Условия (13), (14) дает возможность определить все равновесия Нэша в игре G , как одни из базисных ситуаций. Для этого введем следующую функцию распределения порогов:

$$(15) \quad F(p) = \#\{i \in N \mid m_i < p\},$$

где p – натуральное число, а через $\#$ обозначена операция вычисления мощности множества.

В [1] доказано, что для того чтобы *базисная ситуация* x^* для p была равновесием Нэша в пороговой игре G , необходимо и достаточно, чтобы выполнялось следующее условие:

$$(16) \quad F(p) = p.$$

Доказательство этого утверждения приведено в [1].

Таким образом, равновесия Нэша можно найти, решая уравнение (16) относительно p и выбирая соответствующую базисную ситуацию. Далее пересчитывая по (10) соответствующие степени несклонности к риску.

3 Идентификация порогов

Полученные результаты позволяют находить условия, описывающие, какие из страхователей, в зависимости от несклонности к риску, будут согласны участвовать во взаимном страховании. Ключевым является понятие порога (10), зависящего от отношения страхователя к риску (параметра ξ_i). Следовательно, возникает задача идентификации порогов, для чего достаточно идентифицировать отношение страхователей к риску. При этом целесообразно воспользоваться экспериментальными исследованиями отношения к риску, как отдельных индивидуумов, так и экономических субъектов.

Нами было проведено экспериментальное исследование (см. <http://new.mtas.ru/form/25/>), в котором одним из вопросов анкеты было: "Представьте, что Вы оказались перед выбором: потерять наверняка X \$ или потерять 2000 \$ с вероятностью 25 %. При каком значении X Вам будет все равно, что выбрать?" Из ответов на этот вопрос (объем выборки составил 173 человека, из них 113 человек нейтральных или несклонных к риску, в том числе – 28 человек строго несклонных к риску) можно вычислить значения ξ , а по ним в соответствии с выражением (10), предполагая, например, $c = 100$, $p = 0,0001$, $\beta = 0,8$, $Q = 200$, найти распределение порогов – см. рисунок 2.

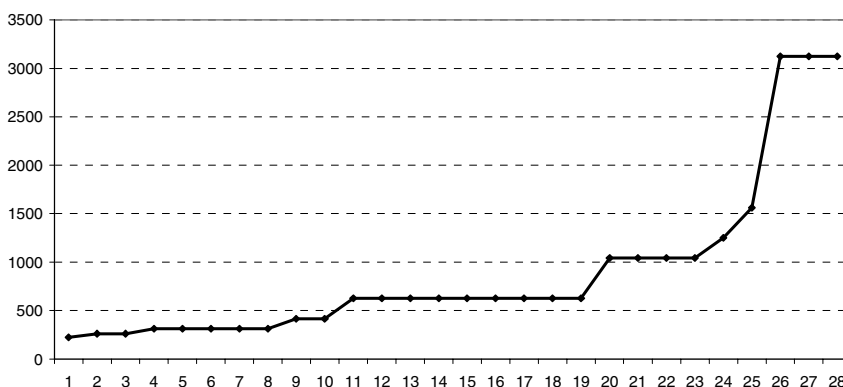


Рисунок 2 – Пороги, упорядоченные по возрасту

Заключение

В докладе изложен подход к нахождению равновесий Нэша в пороговой игре взаимного страхования. Этот подход использует описание социального поведения игроков с помощью пороговой модели. Пользуясь тем, что выпуклость целевой функции игрока характеризуется единственным параметром ξ_i , была произведена идентификация распределения этой величины.

Список литературы

- [1] Бреев В.В. Теоретико-игровые модели конформного коллективного поведения. – Автоматика и Телемеханика, готовится к печати.
- [2] Бурков В.Н., Новиков Д.А. Механизмы страхования в социально-экономических системах. – М.: ИПУ РАН, 2002.
- [3] Бурков В.Н., Новиков Д.А. Как управлять проектами. – М.: Синтег, 1997.
- [4] Губко М.В., Новиков Д.А. Теория игр в управлении организационными системами. – М.: Синтег, 2002.
- [5] Общества взаимного страхования / Сост. К.Е. Турбина. – М.: Анкил, 1994.
- [6] Granovetter M. Threshold Models of Collective Behavior // AJS. 1978. Vol. 83. № 6. P. 1420 – 1443.
- [7] Pratt J. Risk aversion in the small and in the large // Econometrica. 1964. Vol. 52. №. 1. P. 122 – 136.

ПРИНЦИПЫ УПРАВЛЕНИЯ ВУЗОМ НА ОСНОВЕ САМООРГАНИЗАЦИИ

Н.М. Боргест

Самарский государственный аэрокосмический университет им. С.П. Королева
(национальный исследовательский университет)
443086, Самара, Московское ш., 34, корп. 10, Россия
borgest@yandex.ru
тел: +7 (846) 267-46-46

Ключевые слова: высшее учебное заведение, управление, принципы, самоорганизация, проектное обучение

Abstract

The article proposes unrealized management principles the university. The basis of these principles is self-organization, the involvement of staff in the process of university management, the ownership and the students and teachers in the outcome.

*Если вы не ставите перед собой цель,
вы никогда ее не достигнете.
Х. Маккей*

В статье рассматриваются принципы, реализация которых, по мнению автора, могла бы способствовать повышению эффективности управления вузом. В основе этих принципов лежит моделирование самоорганизации, вовлечение персонала в процесс управления, в заинтересованное участие и студентов, и преподавателей в конечном результате: получение и передачи новых знаний.

Внедряемые в вузах системы менеджмента качества (СМК) требуют осуществлять сбор и анализ рекомендаций по улучшению от сотрудников, что является по замыслу разработчиков СМК повышением степени их участия в управлении университетом. Наряду с этим, по утверждению многих российских ученых [1-7], «несмотря на перманентное реформирование российской высшей школы, принципы управления вузами, как правило, остаются ... бюрократическими» [1].

Важные сущности в самоорганизации

Понятийная область социальной самоорганизации все еще формируется. Краткое описание важных, по мнению автора, сущностей, необходимых при рассмотрении принципов управления на основе самоорганизации, приводится ниже.

Источник социальной самоорганизации – сам человек, его способности, его потребности, внутренняя мотивация. Резервы повышения качества жизни, эффективности экономики и государственного управления - в самих людях, в их интеллектуальных и волевых ресурсах [8].

Жизненный цикл социальной самоорганизации определяется и зависит от реализации потребностей, достижимости целей и исчерпаемости ресурсов. Любая форма социальной самоорганизации от семьи до империи имеет свой жизненный цикл, свой период существования. Субъективная «усталость» в отношениях, в определенной степени, объективна: поставленные цели достигнуты, ресурсы закончились («и спускаемся мы с покоренных вершин...»).

Формы и принципы социальной самоорганизации определяются теми же человеческими потребностями, общественными и личностными целями.

Атомизация общества – это фактически распад традиционных связей в обществе в результате слабости социальных интеграторов, культурных и организационных. Атомизация, по сути, **антипод социальной самоорганизации**, ее идентификация и проявление – это мощный сигнал о грядущих и неизбежных общественных преобразованиях, перегруппировки и перестройки форм организации общества.

Распад горизонтальных связей при атомизации общества стимулирует развитие вертикальных, авторитарных связей и соответствующих нравственных ценностей. Именно они способствуют появлению круговой поруки на местах, коррупции, автаркии. В этом случае коррупция становится «онкологической болезнью» современного общества. Объективные причины появления коррупционных метастаз в самой природе индивида, в противоречиях его личностных, групповых и социальных интересов. Созданные фактически закрытые бюрократические властные структуры, работающие в режиме непрозрачности принятия решений и без ответственности за них, – благоприятная почва для социальной болезни.

Социальный конформизм – приспособленчество, пассивное принятие существующего порядка вещей, господствующих мнений, отсутствие собственной позиции, беспринципное и некритическое следование любому образцу, обладающему наибольшей силой давления (мнение большинства, признанный авторитет, традиция и т.п.).

Критический взгляд сверху

Системный подход настоятельно рекомендует оценивать функционирование элементов, объектов, подсистем и систем в структуре более высокой по иерархии системе. Вуз как сложная искусственная система [1] осуществляет свою деятельность по правилам, прописанным в государстве. Стоит отметить, что период взросления демократии в России затянулся, и власть приняла формы, в которой принципы оказались далеки от ранее декларируемых [8]. Успехи нового Президента, всей исполнительной вертикали и законодательного большинства зиждутся, в основном, на реализации естественного для России богатства природных ресурсов и благоприятной внешнеэкономической конъюнктуры. Человеческий потенциал, главное его достоинство – интеллект, знания, культура используется **неэффективно**, оценивается **несправедливо**. Отсутствие внятной государственной идеологии, способной сплотить граждан, мотивировать на служение Отечеству, может привести либо к распаду самого государства, либо к тоталитарному строю. Поиск разумных компромиссов между частной и государственной формой собственности, между личным и общественным – затянулся. Генерируемое несовершенство в верхних эшелонах транслируется на подчиненные структуры, как властные (административные), так и госпредприятия (учреждения). И вуз здесь не является исключением. Он встроен, подотчетен, он часть сгенерированной сложной системы. Рост бюрократии, упор на расстановку «своих» доверенных лиц, а не профессионалов, немотивированные и волюнтаристические решения, официальная подмена понятий «гласности» на «свободу слова», закрытость от общества важной для него информации и поощрение растлевающих СМИ – не лучшие стороны современного российского общества.

Резюмируя сказанное можно утверждать, что *источники для самоорганизации общества* не формируются. Возможные формы социальной самоорганизации атомизируются, сжимаясь до размера индифферентной ко всему происходящему в обществе семьи. Напротив, с усиленной энергией системообразующая властная вертикаль работает на разобщение, атомизацию общества, поддержание конформистских тенденций, разрушение зарождающихся инициатив, видя в них угрозу для своего статус-кво, и в меньшей степени заботясь об управляемой ими же системе, ее эффективности. По данным, опубликованным в апреле 2011 года Всероссийским центром изучения общественного мнения (ВЦИОМ), «две трети опрошенных игнорируют общественную и политическую жизнь страны (61%)» (в 2004 и 2007 году было 32 и 39% соответственно).

Разрушение в начале 2011 года выстроенных «властных пирамид» на Ближнем Востоке, где основное население было выведено за скобки и «мудрые» монархи, и «вечные» президенты в итоге лишились своих мест, все это говорит о коротком жизненном цикле таких искусственных систем в современном открытом мире. Такое течение событий в технократическом обществе – не лучший сценарий его апокалипсических перспектив [9]. Безусловно, тезис о сакральности власти придумала сама власть. Но объективности ради стоит согласиться с точкой зрения, что у некоторых ученых «возникает потребность высказать положительное суждение по эту сторону» [10], хотя такое суждение не стоит искусственно притягивать.

Поэтому напрашивается вывод, что России как государству и Президенту как гаранту Конституции нужна новая модель власти, модель управления, которая бы была эффективна для всего общества и государства. Эта модель должна отвечать системным критериям, понятна гражданам и они должны быть активными участниками, задействованы в управлении. Задача власти не столько управлять, сколько создать условия для раскрытия потенциала своих граждан, оградив их от порочных тенденций и проявлений.

Открытая модель управления вуза

Открытые и мультиагентные модели широко и активно внедряются, показывая свою эффективность. В работе [2] предложены такие системные требования к управлению вузом как оптимальность, адаптивность, целесообразность, самоорганизуемость, наблюдаемость, управляемость и своевременность. Самоорганизуемость управления трактуется как автономное формирование алгоритмов функционирования учебных и научных подразделений вуза, направленных на повышение качества образовательных услуг в соответствии с политикой, проводимой его руководством, и реализуется на основе структурных способов адаптации к изменениям, происходящим на рынке образовательных услуг [2].

Разработанные Организацией экономического сотрудничества и развития (ОЭСР - международная экономическая организация развитых стран, признающих принципы представительной демократии и свободной рыночной экономики) принципы корпоративного управления активно пропагандируются и используются в странах ЕС, США и др. Анализ этих принципов показал, что большинство принципов корпоративного управления легко могут быть адаптированы к управлению такими некоммерческими организациями, как вузы [3]. В работе [3] авторы отмечают важность таких принципов, как «заинтересованность лиц в управлении», «публичность и прозрачность» информации и принятия решений.

Снижение значимости ученого совета вуза: с уровня органа самоуправления до уровня коллегиального органа, констатируется в публикации [4]. В частности, отмечается что самоуправление — это не только процедуры и формы коллективного принятия решений, но и наличие механизмов обеспечения их реализации. Самоуправление реализуется через непосредственное или представительное участие в управлении, в то время как коллегиальность обеспечивается преимущественно через профессиональное или экспертное представительство. Самоуправление реализуется по основным вопросам жизнедеятельности организации, в то время как коллегиальность востребована в ситуациях дефицита управленческой воли [4].

Вуз - среда относительно однородная в культурном и интеллектуальном плане. Это тонкий слой общества, в некотором смысле его вершина, определяющая уровень его развития. В университете каждый доцент, профессор – это профессионал высочайшего уровня, способный не только постичь сложные вопросы мироздания, провести исследования, получить и проанализировать новые знания, но и передать их другому поколению.

Именно вуз способен предложить свою *открытую модель управления*, которая активно задействует *человеческий капитал*, использует его внутренние ресурсы. Реализация изложенных ниже принципов в управлении вузом, а также предложений по проектному обучению

на базе самоорганизации учебного процесса, позволит, по мнению автора, не только построить такую модель, но и добиться повышения эффективности деятельности вуза в целом.

В открытой модели любая практическая деятельность в университете должна верифицироваться, проверяться на соответствие принципам, которые являются гарантом роста, развития, качества. В основу принципов должны быть положены системные критерии, в частности, эффективность функционирования всей системы УНИВЕРСИТЕТ, где его кадровый состав включен в деятельность, информирован, причастен и мотивирован на результат. «Нематериальный» актив вуза – преподаватели и научные сотрудники, являясь носителями знаний и технологий, опыта и навыков, должны иметь наивысший приоритет внимания и заботы руководства, быть нацелены на решение поставленных задач.

При всей кажущейся простоте и очевидности принципов управления и развития университета сложнейшей задачей является их практическое воплощение, что как раз и является ежедневной заботой ректора. Ведь согласно закону «О высшем и послевузовском образовании»: «управление высшим учебным заведением осуществляется ... на принципах сочетания единоначалия и коллегиальности ..., а непосредственное управление высшим учебным заведением осуществляет ректор».

Принципы управления вузом [7]

Принцип преемственности. Преемственность развития вуза – это сохранение и развитие базового профиля (аэрокосмического, сельскохозяйственного, медицинского и т.п.), широкое внедрение научных и образовательных достижений в другие отрасли, это связь поколений в научных школах и лабораториях, выраженная интеллектуальным вектором роста «студент-бакалавр-специалист-магистрант-аспирант-кандидат-доцент-доктор-профессор-академик», это традиции студентов и выпускников вуза, это тесная связь вуза с предприятиями и научными центрами.

Преемственность – это уважительное, трепетное отношение ко всему, что сделано предыдущими поколениями, работающими ныне ветеранами, всеми, кто был у руля университета, стоял у доски в аудитории, работал в лабораториях, кто внес свой вклад в развитие вуза. Всё, что имеет университет сейчас – это заслуга тех, кто работал здесь и продолжает работать сейчас. Эти достижения, успехи должны развиваться, бережно охраняться и не разрушаться.

Но не должно быть места и застарелым проблемам, которые негативно отражаются на общекультурном уровне и атмосфере в университете, и ссылок на их нерешаемость.

Принцип коллегиальности. Коллегиальность - принцип управления, при котором руководство осуществляется группой лиц, обладающих равными обязанностями и правами в решении вопросов, отнесенных к компетенции конкретного органа. В вузе широко используется совещательная форма коллегиальности, при которой предполагается коллективное обсуждение вопросов и коллективная выработка рекомендаций по тому или иному вопросу. Решение принимается либо коллективное (путем голосования), либо единолично руководителем коллегии (ректора, декана, кафедры, ученого совета университета или факультета). Максимальное вовлечение сотрудников в подготовку и принятие управленческих решений – основа обоснованности этих решений и, в конечном итоге, их эффективности.

Принцип коллегиальности – это трансформация базового принципа власти - демократии.

В нашей истории известно, что из демократии как наиболее сложной формы управления власть либо делает прилагательное (демократический), а существительным и, соответственно, значимым становится централизм, либо заменяет ее бутафорной коллегиальностью, имитируя общее согласие с «правильным» мнением.

Конечно, конформисты – важная часть общества, его, так называемая, «песочная масса» в социальном растворе, в котором цементирующим звеном являются создаваемые общественными лидерами структуры. Конформисты – проводники и исполнители воли власть предер-

жащих. И все было бы хорошо, если бы решения поставленных или вставших у руля в большей степени отвечали интересам общества в целом.

Университет - не огромная страна, где воплотить утопическую идею демократии практически не удастся, прежде всего, в силу низкой общей культуры и правовой грамотности большинства граждан. Университет - это коллектив высокопрофессиональных, всесторонне образованных, культурных и воспитанных специалистов со своей гражданской позицией, которым присущ здравый смысл и адекватная оценка действительности. Надо лишь дать возможность научно-педагогическим кадрам реально включиться в управление, слушать и слышать их мнение, аргументировать своё, убеждать и потрудиться доказывать свою правоту тем, кто имеет другую точку зрения. Власть сильна, уверена в себе тогда, когда она *справедлива*, и лишь в этом случае она не боится иного, отличного от её мнения.

Задача руководства университета - вовлечь неиспользуемый или слабо используемый интеллектуальный потенциал своих сотрудников в организационную и управленческую деятельность, стимулировать деловую активность, разработать для этого соответствующий механизм. Конечно, на первых порах внедрение демократического либерализма усложнит и, возможно, замедлит управление, есть опасения «заболтать» принятие решения. Но качество решений и мотивация их исполнения у сотрудников, безусловно, повысятся, при этом количество ошибок сократится. Верно и то, что не все решения должны обсуждаться всем коллективом, а лишь принципиальные: кадровые, организационные, финансовые. Уровень коллегиальности должен соответствовать уровню компетенции и влиянию этих решений на интересы сотрудников.

Принцип открытости. Гласность и открытость - не дань модным демократическим принципам, а способ повышения эффективности принимаемых решений. Возможности современных информационных технологий позволяют практически в режиме «онлайн» знакомить всех с принимаемыми решениями и ходом их выполнения. Тем самым проводить мониторинг и контролировать весь процесс работы управления вузом, что важно для всех - от рядового работника до ректора. Открытость и возможность публичного контроля позволяют повысить не только ответственность лиц, принимающих решение, за их обоснованность, но и исполнительскую дисциплину лиц, их выполняющих.

Финансовая открытость в государственном учреждении по всем вопросам - мощный мотивационный стимул для сотрудников. Возможность видеть и оценивать успехи коллег по кафедрам, лабораториям и отделам вуза, искать и находить резервы роста - все это способствует здоровой активности и инициативе, а значит, способствует повышению эффективности функционирования всей системы «университет».

Прозрачность финансовых потоков, доходной и расходной частей бюджета сократит размер нецелевых расходов, позволит сконцентрировать усилия на решении приоритетных задач.

Открытым должны быть и текущие успехи и неудачи студентов. Технически решения давно известны. Это позволит упростить взаимодействие деканатов и кафедр, облегчит учет дополнительных часов на платные консультации и пр. Отставание вузов от передовых средних школ в автоматизации и информационной прозрачности учебного процесса, к сожалению, имеет место.

Принцип компетентности. Компетентность как осведомленность и авторитетность выражается через способность и умение применять свои знания и навыки. Компетентность - основа не только эффективного и умелого управления университетом, но и важная характеристика выпускника вуза.

Компетенция - это способность эффективной адаптации к изменяющимся условиям, к новой среде и сфере деятельности. Её базой являются прочные и глубокие знания фундаментальных дисциплин. Неснижаемое качество образования позволит сохранить уровень компетенции выпускаемых специалистов, а значит и их востребованность. Разумное сочетание базовых знаний фундаментальных дисциплин с освоением новых информационных технологий, ресурсов

обучающегося с запросами рынка на специалиста – важнейшая задача для реализации своих компетенций и успешности выпускника вуза.

Принцип мотивированности. Мотивированность студента на получение престижной, востребованной специальности – это возможность реализовать себя в будущем. Настроить студента на успех, помочь раскрыться, дать необходимые в профессии знания и навыки, заинтересовать, увлечь – задача педагогов. Поисковые задачи, индивидуальные и групповые проекты, микроисследования на современном оборудовании, оплачиваемая работа на кафедре и в лаборатории – хороший стимул для успешных студентов.

Мотивированность педагогических работников университета связана с самореализацией их в совместной работе со студентами в научных лабораториях, где, собственно, и куются университетские кадры.

Упавший престиж инженера ухудшил качество абитуриентов, с трудом усваивающих необходимые базовые знания, тем самым существенно сократив возможность выбора пытливых, склонных к научной работе студентов. Отсутствие финансирования научных исследований и нищенская зарплата не удерживает сегодня опытных педагогов, которые вынуждены искать работу на стороне. Способных и толковых молодых ученых удержать очень трудно. У немотивированного педагога нет возможности, да и стимула развивать свой курс, свою дисциплину. Годами, а то и десятилетиями в ряде даже специальных курсов содержание практически не меняется.

Исправить положение необходимо кардинально, задействовав известную систему стимулов, начиная от методов материального стимулирования, профессионально-должностного роста, условий труда и социального пакета до методов морального стимулирования и стиля непосредственного руководителя, обязательно используя обратную связь. Должным образом необходимо мотивировать и работников, пополняющих «копилку» вуза и тщательно, рачительно относящихся к заработанным ресурсам. Это необходимо делать и делать **открыто**, чтобы каждый понимал **справедливость решения**.

Принцип инновации. Университет всегда устремлен на нововведения и скор на использование лучшего в своей деятельности. Эта тенденция должна быть продолжена и развита. Примером такого инновационного принципа является реализация предыдущих принципов, в частности, принципов открытости и мотивированности. Инновации в образовании в первую очередь должны быть направлены на формирование личности, настроенной на успех в любой области приложения своих возможностей. Дальнейшая автоматизация учебного процесса, внедрение поисковых исследований и развитое дистанционное обучение – яркие и реализуемые примеры инновационного развития университета.

Принцип актуализации. Актуализация – это непрерывный пересмотр и критический анализ принятых решений в соответствии с происходящими изменениями, мониторинг потребностей выпускаемых специалистов, обновление установленных приоритетов в деятельности университета, оптимизация структуры университета под новые задачи и приоритеты.

Принцип актуализации – это принцип постоянных улучшений. Это принцип обновлений разумных и обоснованных.

Проектное обучение на основе самоорганизации

Самоорганизация при работе над проектом проявляется в подборе и формировании команды. Инициатор идеи для решения задач привлекает специалистов, формируя коллектив, способный выполнить проект. С другой стороны, специалисты сами ищут приложение своих знаний в той сфере, где это даст наибольший результат. Эти встречные потоки и определяют сам процесс самоорганизации, когда потребность в знаниях и умениях, с одной стороны, и потребность в реализации ресурсов генерируют процесс матчинга в сетях потребностей и возможностей [13].

В качестве инициаторов идеи проекта могут выступать студенты, магистранты, аспиранты, преподаватели и инженеры вуза. В качестве руководителей проекта - преподаватели и инженеры. На заседании кафедры руководителю необходимо защитить концепцию проекта, предоставить календарный план выполнения работ, смету расходов.

Основными условиями выполнения и поддержки проекта должны являться: инновационность, расширяемость, развитие, практическое применение, получение новых научных знаний, заделов для диссертаций, написание учебных пособий и монографий.

В случае утверждения проекта на заседании кафедры должно быть принято решение о создании временного проектного бюро (ВПБ) по типу научно-исследовательского подразделения. Перед началом работ должны быть составлены: сетевой план-график проекта, индивидуальные планы-графики, которые будут служить основой для планирования исследований и работ каждым участником проекта.

Из известных 14 принципов управления Анри Файоля для реализации проектного обучения стоит выделить следующие:

- Разделение труда — распределение работ внутри ВПБ.
- Дисциплина — соблюдения правил, планов и графиков работ ВПБ.
- Единство действий — ВПБ должно работать по единому плану.
- Вознаграждение — наличие методов стимулирования членов ВПБ.
- Справедливость — объективная оценка результата каждого члена руководством ВПБ.
- Инициатива — возможность проявления личной инициативы членам ВПБ.
- Корпоративный дух — сплочённость членов ВПБ.

Преподаватели инженерных кафедр готовят предложения–проекты, которые должны содержать вопросы, требующие комплексной оценки, анализа, расчета и продвижения какого-либо артефакта. Помимо этого студент может сам предложить свой проект или идею. В этом случае студенты самостоятельно подбирают себе куратора из числа преподавателей кафедр факультета на основе анализа научных резюме преподавателей кафедр.

В своих проектах преподаватель должен обосновать потребные ресурсы. При необходимости вуз осуществляет закупку оборудования или их аренду у сторонних организаций.

Сущностями в проектном обучении являются преподаватели, студенты, научное оборудование и информационные фонды. Сущность обладает неким **ресурсом**, который в свою очередь имеет или может иметь **потребность** в определенных ресурсах других сущностей и в то же время имеет **возможность** поделиться своими ресурсами с другими сущностями (таблица 1).

Таблица 1 – Ресурсы и потребности сущностей временного проектного бюро

Сущности	Ресурсы	Потребности
Преподаватель	Научные интересы, достижения	В студентах для выполнения проекта
Студент	Научные интересы, достижения	В руководителе, способном сформулировать задачу
Оборудование	Реестр всех имеющихся технических средств с описанием их характеристик	В использовании
Базы данных и софт	Доступ к хранилищу и базе данных библиотеки, реестр установленных программ и баз данных	В применении

Студент вправе в пределах паспорта своей будущей специальности или предметной области кафедры, факультета сформулировать узкую тему, по которой в ВУЗе отсутствует специалист. В этом случае на ресурсы, которыми располагает сформированный студентом ВПБ,

может быть приглашен специалист со стороны. Эти же ресурсы могут быть использованы на закупку и аренду ВУЗом необходимого оборудования.

Рекрутинг студентов во временные проектные бюро (ВПБ) осуществляется преподавателями самостоятельно. Студенты принимают решение о работе в том или ином ВПБ также самостоятельно, исходя из своих предпочтений. Нагрузка, выделяемая на студента в рамках проектного обучения, выделяется тому преподавателю, который формирует и руководит ВПБ.

Практическим примером реализации самоорганизации в вузе может являться проектное обучение. Например, в Самарском аэрокосмическом университете (СГАУ), перспективным может оказаться организация проектного обучения на межфакультетском уровне. Сложившаяся структура специальностей в СГАУ отвечает требованиям комплексного решения научных и инженерных проблем. В этом случае проблематику того или иного проекта можно рассмотреть максимально полно, а в ее решение включить специалистов различных специальностей и специализаций, например:

- «Самолето- и вертолетостроение», «Ракетостроение», «Двигатели внутреннего сгорания», «Радиотехнические устройства» и др. – для решения проектной задачи;
- «Прикладная математика и информатика» и др. - для эффективного создания корректной математической модели, программных интерфейсов и баз данных;
- «Автоматизированное управление жизненным циклом продукции» - для организации взаимодействия с существующими информационными ресурсами;
- «Экономика», «Экономическая безопасность» и др. – для оценки рентабельности проекта;
- «Менеджмент», «Менеджмент организации» и др. - для управления проектом, осуществления организационного взаимодействия;
- «Связи с общественностью» - для продвижения проекта.

Проектное обучение предполагает максимальную инициативу и ориентирование студента на реальные потребности общества. Кроме того, проект должен носить оригинальный характер и быть реализован в качестве программного продукта, изделия, устройства и т.д. Возможности реализации связаны с рыночной жизнеспособностью предлагаемого продукта, а именно, с поиском партнеров или клиентов. Таким образом, экономическое обоснование проекта, а также поиск финансовых ресурсов должны являться неотъемлемой частью проекта. В рамках проектного обучения студентам должна предоставляться возможность использовать научно-исследовательские центры и специализированные базы данных университета.

На рисунке 1 представлена схема процесса проектного обучения с помощью методологии IDEF0, а на рисунке 2 - схема формирования ВПБ, где направление стрелок между сущностями - преподавателями (обозначены именами), студентами (обозначены номерами) и оборудованием (потребными ресурсами), - означает заинтересованность в матчинге.

Из рисунка 2 видно, что самоорганизация ВПБ приводит к естественной несогласованности потребностей и возможностей (учебной нагрузке преподавателя, загрузки оборудования и т.п.[1]).

Благодарности

Благодарю судьбу, непознанную сущность, именуемую Богом, за то, что в моей жизненной траектории встречается много интересных и ярких людей. Именно работы В.А. Виттиха [1, 9, 14] и вечерние беседы в ИПУСС с ним и его учеником, а ныне директором ИПУСС РАН С.В. Смирновым, способствовали написанию данной статьи, были основным мотивом и стимулом упорядочения представленных здесь идей, мыслей и взглядов.

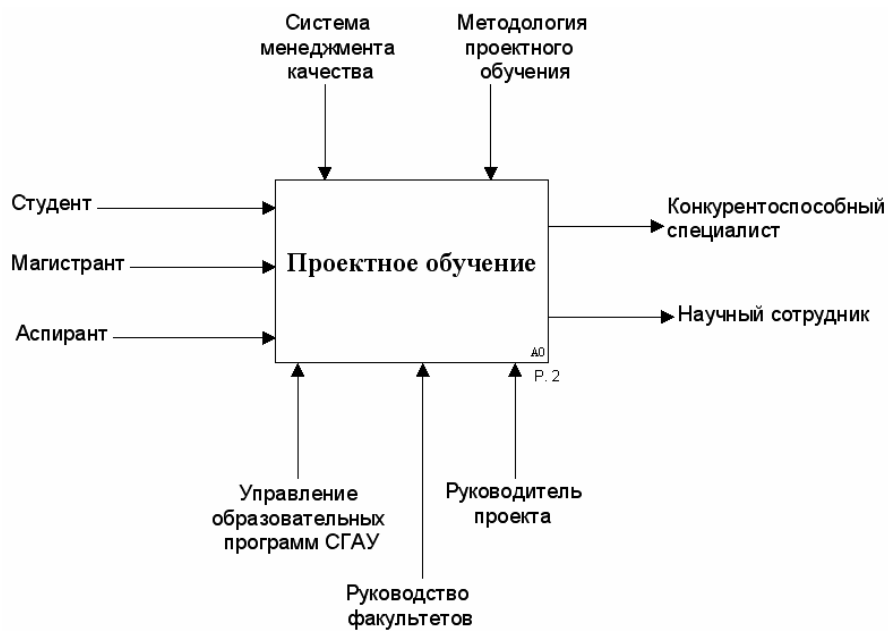


Рисунок 1 – SADT-блок процесса проектного обучения

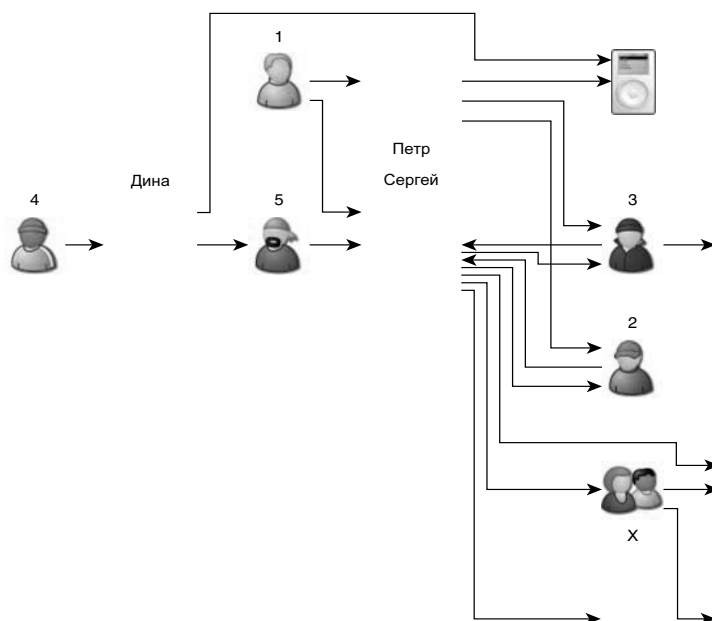
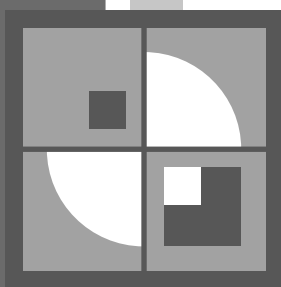


Рисунок 2 – Формирование временного проектного бюро

Список литературы

- [1] Виттих В.А., Гинзбург А.Н., Козырев О.Р., Смирнов С.В. Демократизация процессов управления ВУЗом. // Проблемы управления и моделирования в сложных системах: Труды XII Международной конференции. – Самара, Самарский научный центр РАН, 2010. – С. 33-39.
- [2] Павлюченко Е. И. Эффективное управление образовательным процессом в вузе: теория, методология и практика // Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора экономических наук. – Махачкала: ГОУ ВПО «Дагестанский государственный технический университет», 2009. - http://dibase.ru/article/10082009_pavluchenkoei/1
- [3] Королев В., Кулагин В. Принципы корпоративного управления с точки зрения управления ВУЗом. (О применении принципов надлежащего корпоративного управления в практике высших учебных заведений) // Электронное научно-техническое издание «Наука и образование». 2007. №4 - <http://technomag.edu.ru/doc/65271.html>
- [4] Ключев А.К. Новые модели управления вузом: шаг вперед или два назад? // Университетское управление: практика и анализ. 2004. № 5-6. - <http://www.umj.ru/index.php/pub/inside/461/>
- [5] Мальцева Г.И., Уварова Т.Г. Выявление механизмов обеспечения эффективности управления финансами ВУЗа на принципах прозрачности // Евразийский международный научно-аналитический журнал «Проблемы современной экономики». 2008. №2(26). - <http://www.m-economy.ru/art.php3?artid=23903>
- [6] Мальцева Г.И. Концепция перехода вуза от управления затратами к управлению результатами // Сибирская финансовая школа. 2007. № 1. – С. 120–131.
- [7] Боргест Н.М. Ректор. Брошюра кандидата. – Самара: Новая техника, 2010. – 48 с.
- [8] Малков С.Ю. Социальная самоорганизация и кризисы в России. Гуманитарные аспекты поддержки принятия и реализации решений // Препринты ИПМ им. М.В.Келдыша. 2009. № 23. - 40 с. - <http://library.keldysh.ru/preprint.asp?id=2009-23>.
- [9] Виттих В.А. Механизмы социальной самоорганизации: препринт – (см. настоящий сборник).
- [10] Филатов Т.В. Грядущий апокалипсис: обзор основных сценариев экзистенциального упразднения человечества. – Самара: Изд-во СГСА, 2008. – 159 с.
- [11] Соловьев С.В. На стороне власти: очерки об экзистенциальном смысле власти. - Самара: Изд-во «Самарский университет», 2009. - 248 с.
- [12] Захарова Е.В. Человек на границе недостаточности. – Самара: Изд-во «Самарский университет», – 2009. – 219 с.
- [13] Боргест Н.М., Симонова Е.В. Основы построения мультиагентных систем, использующих онтологию: Учебное пособие. - Самара: Изд-во СГАУ, 2009. – 80 с.
- [14] Виттих В.А. Организация сложных систем. – Самара: Самарский научный центр РАН, 2010. – 66 с.



New information technologies in Control and Management
Новые информационные технологии в управлении

ПРОБЛЕМЫ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ И ВИЗУАЛИЗАЦИИ ЗНАНИЙ В ТЕЗАУРУСЕ ПО КОМПЬЮТЕРНОЙ ЛИНГВИСТИКЕ

Ю.А. Загорулько, О.И. Боровикова

Институт систем информатики им. А.П. Ершова СО РАН
630090, Новосибирск, пр-т Лаврентьева, 6, Россия
zagor@iis.nsk.su, olesya@iis.nsk.su
тел: +7 (383) 332-83-59, факс: +7 (383) 332-34-94

Ключевые слова: *тезаурус, компьютерная лингвистика, представление знаний, визуализация тезаурусных связей, термин, аскриптор, дескриптор*

Abstract

The paper considers the problems of knowledge representation and visualization arose during development of an electronic Russian-English thesaurus on computational linguistics. General structure of the thesaurus, composition of the thesaurus entries and set of relations between terms of the thesaurus are described. The paper gives a particular attention to representation and visualization of relations between terms of the thesaurus.

Введение

В связи с тем, что в настоящее время наблюдается значительный рост потребностей в естественно-языковых интерфейсах и средствах автоматической обработки и содержательного поиска документов и текстов, возникла острая необходимость в систематизированных знаниях по компьютерной лингвистике (КЛ), целевой задачей которой является обслуживание этих потребностей. В то же время в этой области знания отсутствует четкая и общепринятая система научной терминологии, причем на русском языке многие термины современной КЛ не представлены ни в одном из существующих лингвистических источников.

Этот ощутимый и досадный пробел мог бы восполнить двуязычный тезаурус, содержащий английские и русские термины КЛ и их толкования. Такой тезаурус мог бы стать базой для лексикографического описания понятий КЛ, которая позволила бы более полно интегрировать КЛ в общее языкознание, отразить особенности ее развития на современном этапе глобальной компьютеризации общества. Благодаря такому тезаурусу появится реальная и оперативная возможность структурировать и накапливать информацию, релевантную для этой области знаний, производить смысловой поиск данных в информационных хранилищах и сетях.

В данной работе рассматриваются проблемы представления и визуализации знаний, возникшие при разработке русско-английского электронного тезауруса по компьютерной лингвистике. Описывается общее строение тезауруса, структура тезаурусных статей и набор связей между терминами. Особое внимание уделяется представлению и визуализации отношений между терминами тезауруса.

1 Общая структура русско-английского тезауруса по КЛ

Русско-английский тезаурус по КЛ разрабатывается в соответствии с международными и отечественными стандартами [1-4] представления одноязычных и многоязычных информационно-поисковых тезаурусов (МИПТ). Он представляется как набор одноязычных версий МИПТ, в котором базовой является русскоязычная версия. При этом выполняется согласованное построение одновременно двух версий тезауруса – русскоязычной и англоязычной.

Основными единицами тезауруса являются термины предметной области (ПО), которые разделяются на дескрипторы и аскрипторы. К дескрипторам относятся наиболее предпочтительные термины, которые предполагается использовать при индексировании документов и в поисковых запросах, а к аскрипторам – термины, которые будут заменяться одним или несколькими дескрипторами в индексе документа или поисковом запросе. Статус аскриптора получают также и термины, представляемые разными частями речи, аббревиатурами или имеющие варианты написания, отличные от написания дескриптора.

Каждый термин-дескриптор снабжается определением, т.е. описанием на языке термина, поясняющим смысл или значение термина. Для различения омонимичных терминов (омографов) в рамках описываемой ПО вводится релятор, который является частью термина-дескриптора и поясняет его значение, относя его к определенной понятийной категории или предметно-тематической области/подобласти знаний. Возможно указание в качестве релятора общепотребительного широкого термина. Например, для различения двух понятий, образованных на основе словосочетания РАЗМЕТКА ТЕКСТА, могут быть использованы два релятора ПРОЦЕСС и ОБЪЕКТ. В результате мы получаем два разных термина-дескриптора РАЗМЕТКА ТЕКСТА (ПРОЦЕСС) и РАЗМЕТКА ТЕКСТА (ОБЪЕКТ).

Термины тезауруса связываются различными семантическими и лингвистическими отношениями, отражающими место каждого термина в системе понятий выбранной ПО.

Для связи дескрипторов с аскрипторами используются отношения синонимии. Так, если дескриптор однозначно во всех контекстах заменяет какой-то аскриптор, то он связывается с ним отношением «Синоним»; при этом также устанавливается обратное отношение от аскриптора к дескриптору – «Смотри». Например, СНАТ БОТ «Смотри» CHATBOT. ГРАММАТИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА «Синоним» МОРФОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА, ГРАММАТИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА «Синоним» МОРФОЛОГИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ.

Если нет однозначного соответствия между дескрипторами и аскрипторами, то используются отношения «Используй альтернативно» или «Используй комбинацию», задающие соответствие между аскрипторами и заменяемыми ими дескрипторами; при этом вводятся обратные им отношения «Сравни альтернативный выбор» и «Сравни комбинацию». Например, ПАРТИЦИПАНТ «Используй альтернативно» СЕМАНТИЧЕСКАЯ ВАЛЕНТНОСТЬ, ПАРТИЦИПАНТ «Используй альтернативно» УЧАСТНИК СИТУАЦИИ.

Для отражения лексико-семантических связей между понятиями, выражаемыми дескрипторами, устанавливаются иерархические, ассоциативные отношения, а также отношения эквивалентности. Если первые два вида отношений устанавливаются между одноязычными дескрипторами, то последнее – между разноязычными.

Между дескрипторами вводятся такие иерархические отношения, как недифференцированная иерархическая связь «Выше», направленная от нижестоящего дескриптора к вышестоящему, родовидовая связь «ВышеРод», устанавливаемая между двумя дескрипторами, когда объем понятия нижестоящего дескриптора входит в объем понятия вышестоящего дескриптора, паронимическая связь «ВышеЦелое», задаваемая между двумя дескрипторами в том случае, когда нижестоящий дескриптор представляет компонент объекта, обозначаемого вышестоящим дескриптором. Вводятся также обратные им отношения: «Ниже», «НижеВид», «НижеЧасть».

Для указания того, что дескриптор находится на самом верхнем уровне какой-либо иерархии, вводится признак «Топ Терм».

Довольно часто в тезаурусах встречается такая ситуация, когда одно и то же понятие входит сразу в несколько иерархий, построенных на основе разных признаков. Для отражения такой ситуации иерархическая связь, устанавливаемая между двумя дескрипторами, снабжается признаком «Аспект деления иерархии». Так, например, МАШИННЫЙ ПЕРЕВОД по признаку «подход» разделяется на МАШИННЫЙ ПЕРЕВОД НА ОСНОВЕ ПРАВИЛ,

МАШИННЫЙ ПЕРЕВОД, ОСНОВАННЫЙ НА ПРЕЦЕДЕНТАХ и СТАТИСТИЧЕСКИЙ МАШИННЫЙ ПЕРЕВОД, а по признаку «степень участия человека» на ПОЛНОСТЬЮ АВТОМАТИЧЕСКИЙ ПЕРЕВОД и ЧЕЛОВЕКО-МАШИННЫЙ ПЕРЕВОД.

Для задания отношений между дескрипторами, представляющими класс понятий и экземпляр этого класса, используются связи «ВышеКлассЭкземпляра» и «НижеЭкземпляр». Например, к экземплярам термина СЕМАНТИЧЕСКАЯ РОЛЬ относятся такие термины, как АГЕНС, ПАЦИЕНС, АДРЕСАТ, БЕНЕФАКТИВ, ЭКСПЕРИЕНЦЕР.

Ассоциативное отношение «Ассоциируется с» является объединением отношений [3], не входящих в иерархические отношения и в отношения синонимии. Например, термин ИНФОРМАЦИОННО-ПОИСКОВЫЙ ЯЗЫК ассоциируется с термином ИНФОРМАЦИОННО-ПОИСКОВАЯ СИСТЕМА.

Чтобы указать эквивалентность дескрипторов разных одноязычных версий между ними устанавливается отношение «Эквивалент на другом языке». Например, английский термин AUDITORY SPECTOGRAM является эквивалентом русского термина СЛУХОВАЯ СПЕКТОГРАММА.

Каждый термин связывается с его источником, т.е. текстовым документом или коллекцией текстовых документов, в которых данный термин встречается, а также с источником, из которого берется определение термина. Для этих целей используются отношение «Встречается в», при котором можно указать частоту встречаемости термина в источнике (если источник – коллекция текстов), и отношение «Встречается в части документа», с помощью которого указывается, что данный термин встречается в предметном указателе или глоссарии источника, что значительно повышает важность термина и степень доверия к нему. Термины-дескрипторы, снабженные толкованиями-определениями, связываются с источником определения с помощью отношения «Дается определение в».

2 Проблемы поддержания логической целостности системы понятий тезауруса

Для того чтобы тезаурус был полезным информационным ресурсом, он должен представлять целостную и непротиворечивую систему понятий выбранной ПО. Это может быть достигнуто только обеспечением полной поддержки свойств отношений R^T тезауруса T , представленных следующими аксиомами:

Симметричности. $\forall x, y \in T, x \neq y, R \in R^T, \text{symmetry}(R): R(x, y) \rightarrow R(y, x)$

Асимметричности. $\forall x, y \in T, x \neq y, R \in R^T, \text{asymmetry}(R): R(x, y) \rightarrow \neg R(y, x)$

Транзитивности. $\forall x, y, z \in T, R \in R^T, \text{transitivity}(R): (R(x, y) \& R(y, z)) \rightarrow R(x, z)$.

Рефлексивности. $\forall x, y \in T, x \neq y, R \in R^T, \text{reflexivity}(R): R(x, y) \rightarrow (R(x, x) \& R(y, y))$.

Антирефлексивности. $\forall x, y \in T, x \neq y, R \in R^T, \text{antireflexivity}(R): R(x, y) \rightarrow (\neg R(x, x) \& \neg R(y, y))$.

Обратимости. $\forall x, y \in T, x \neq y, R \in R^T, \text{invertibility}(R), R, R^{-1} \in R^T: R(x, y) \rightarrow R^{-1}(y, x)$

На основе этих аксиом контролируется корректное установление связей между терминами-дескрипторами тезауруса. Если отношение R обладает свойством *симметричности*, то для любых терминов x и y при появлении связи $R(x, y)$ выполняется автоматическое добавление связи $R(y, x)$. Если отношение R обладает свойством *асимметричности*, то при наличии связи $R(x, y)$ между любой парой терминов x и y , запрещается существование связи $R(y, x)$. Наличие свойства *антирефлексивности* для $R(x, y)$ накладывает запрет на существование связей $R(x, x)$ и $R(y, y)$. Если отношения R_1 и R_2 являются *обратными* друг к другу, то для любых терминов x и y при добавлении связи $R_1(x, y)$ происходит автоматическое создание обратной связи $R_2(y, x)$.

Кроме того, для терминов, принадлежащих определенному классу – дескрипторам (D) или аскрипторам (A), могут задаваться ограничения на существование тех или иных связей между терминами (x) этого класса и терминами (x, z) этого или других классов тезауруса. Такие ограничения могут описываться, например, следующими аксиомами:

Единственности. $\forall x, y, z \in D, D \subseteq T, y \neq z, R \in R^T, \text{uniqueness}(R): R(x, y) \rightarrow \neg R(x, z)$.

Обязательности. $\forall x \in A, y \in D, R \in R^T, obligatoriness(R): \exists^N R(x, y)$.

Указание свойства *единственности* связи R для некоторого класса терминов устанавливает, что при существовании у термина x этого класса связи $R(x, y)$ невозможно добавление для него еще одной связи R с другими терминами. Свойство *обязательности* связи R для некоторого класса терминов контролирует обязательное наличие N связей вида $R(x, y)$ для термина x этого класса.

Например, для каждого конкретного аскриптора необходимо отслеживать *обязательность* и *единственность* связи «Смотри» либо *обязательность* наличия не менее двух связей вида «Используй альтернативно» или «Используй комбинацию» (в зависимости от того, какой тип отношения выбран для связи данного аскриптора с дескрипторами).

Часть свойств системы понятий тезауруса, относящихся к его формально-структурным требованиям, не может контролироваться приведенными выше аксиомами. Для обеспечения контроля таких свойств тезаурус должен быть снабжен дополнительным набором ограничений.

Например, если отношение «Смотри» обладает указанными выше свойствами обратимости и единственности, то при добавлении связи *Смотри*(x, y) между аскриптором x и дескриптором y , произойдет создание обратной связи *Синоним*(y, x) (если таковой еще не существует), а также будет отслеживаться невозможность задания связей *Смотри*(x, z) и *Синоним*(z, x) с другим дескриптором z . Аналогичные действия будут выполняться и при создании связи *Смотри*(x, x).

При введении в тезаурус дескрипторов нужно контролировать появление в нем омографичных терминов, представленных без релятора, и следить за корректным использованием отношений, связывающих такие дескрипторы с синонимичными аскрипторами.

Дескрипторы, представляющие термины на английском языке, должны быть снабжены связями с эквивалентными дескрипторами на русском языке. При этом необходимо контролировать существующие связи «Эквивалент на другом языке» между терминами на разных языках, запрещая наличие между ними еще каких-либо других видов связи.

3 Проблемы визуализации тезаурусных отношений

Для того чтобы тезаурус был полезным информационным ресурсом, он должен быть еще и удобным в использовании, т.е. наглядно представлять содержимое тезауруса пользователю. Эта задача осложняется тем, что термины тезауруса связываются большим количеством отношений, многие из которых образуют иерархии терминов по разным основаниям.

Для визуализации терминов в инструментальных средствах построения тезаурусов обычно используются алфавитные, систематизированные или пермутационные списки в KWIC или KWOC форматах [5], визуализация в виде иерархий [1, 6]. В работе [5] редакторы тезаурусов сравниваются по таким параметрам, как возможность полного просмотра общего списка терминов, одновременного просмотра и редактирования терминов, наличие гипертекстовой навигации между терминами, поддержки разнообразных способов визуализации в рамках одного средства.

Просмотр терминов электронного тезауруса по КЛ организован в виде алфавитных и иерархических списков, снабженных средствами навигации и фильтрации. При визуализации терминов важно отобразить все представленные связи с другими терминами, для дескрипторов – показать местоположение в иерархиях, построенных по отношениям «ВышеРод», «ВышеЦелое» или «НижеВид», «НижеЧасть» (в зависимости от направления).

Практически все рассмотренные в разделе 1 отношения обладают свойством обратимости, а ассоциативные отношения и отношения эквивалентности – свойством симметричности. При наличии у термина связей с такими свойствами необходимо организовать его визуализацию без дублирования информации об обратных и симметричных связях.

Наибольшую сложность представляет визуализация иерархических отношений. При таком разнообразии видов иерархических отношений один и тот же дескриптор одновременно может входить в несколько иерархий, построенных не только по различным типам отношений, но и по различным основаниям классификации. В результате этого, в пределах одной иерархии дескриптор вышележащего уровня может иметь различные признаки деления иерархии, а дескриптор нижележащего уровня может быть подчинен нескольким дескрипторам вышележащего уровня. Таким образом, подсистемы терминов, выстроенные с использованием иерархических отношений, могут иметь не древовидную структуру, что создает дополнительные проблемы в представлении и визуализации отношений между терминами тезауруса.

Для представления ситуации, когда одно и то же понятие (или группа понятий) входит сразу в несколько иерархий, построенных на основе разных признаков классификации, предложено решение, состоящее в том, что иерархическая связь, устанавливаемая между двумя дескрипторами, снабжается признаком «Аспект деления иерархии». Но проблема одновременной визуализации таких отношений остается открытой.

Сложность такой визуализации состоит в том, что если показывать сразу все иерархии, построенные по всем значениям признака деления, то пользователю будет очень трудно ориентироваться в таком тезаурусе. Разумным представляется решение, когда пользователь сам выбирает по какому значению признака деления просматривать иерархию.

Аналогичная проблема возникает при визуализации местоположения термина одновременно в нескольких иерархиях, построенных по отношениям разного типа. Предлагаемым решением могло бы быть совместное отображение нескольких иерархий с цветовым выделением разнотипных связей или представление каждой иерархии в разных окнах.

Однако это может оказаться недостаточно наглядным, поэтому нужно предусмотреть возможность показа тезаурусной окрестности (контекста) интересующего пользователя термина [7] сразу по нескольким выбранным им иерархиям и значениям признака деления, примерно так, как это показано на рисунке 1.



Рисунок 1 – Тезаурусная окрестность термина

Заключение

На данный момент реализован прототип электронного русско-язычного тезауруса по компьютерной лингвистике и выполнено его начальное наполнение. К настоящему моменту описаны и внесены в тезаурус около 1100 терминов: дескрипторов – около 700, аскрипторов – более 400, связей между терминами – около 2500, источников терминов и их определений – 126.

При разработке концептуальной схемы данных и программных компонентов электронного тезауруса (хранилища данных, пользовательского интерфейса и редактора) использовалась технология построения научных порталов знаний [8], которая была ранее применена для создания порталов знаний по археологии [9] и компьютерной лингвистике [10].

Доступ к содержимому электронного тезауруса обеспечивает пользовательский web-интерфейс портала знаний, представляющий содержимое тезауруса в виде сети взаимосвязанных терминов (дескрипторов и аскрипторов). При навигации по тезаурусу обеспечивается возможность выбора необходимых пользователю терминов, детального просмотра их описаний (тезаурусных статей), а также источников (публикаций или коллекций текстов), в которых встречается термин и/или его определение.

Для разработки и сопровождения тезауруса используется редактор данных портала знаний, который благодаря настройке на предметную область «Компьютерная лингвистика» предоставляет экспертам-лингвистам удобный web-интерфейс для описания терминов, источников терминов и их определений, а также для установления связей между ними. Редактор данных также обеспечивает поддержку свойств отношений, описанных аксиомами, представленными в разделе 2.

Ближайшими задачами авторов является реализация механизмов визуализации контекстов терминов и разнообразных иерархических отношений между терминами, обсуждавшихся в разделе 3.

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке РГНФ (проект № 10-04-12108в) и РФФИ (проект № 09-07-00400).

Список литературы

- [1] ANSI/NISO Z39.19-2005 Guidelines for the Construction, Format, and Management of Monolingual Controlled Vocabularies (Periodic Review).
- [2] ISO 5964-1985. Documentation - Guidelines for the establishment and development of multilingual thesauri, IDT (Revised by: ISO/DIS 25964-1 Under development).
- [3] ГОСТ 7.25-2001. Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Тезаурус информационно-поисковый одноязычный. Правила разработки, структура, состав и форма представления. (Введен в действие с 1 июля 2002 г.)
- [4] ГОСТ 7.24-2007. Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Тезаурус информационно-поисковый многоязычный. Состав, структура и основные требования к построению. (Введен в действие с 1 июля 2008 г.)
- [5] Will L. Comparison of thesaurus management software for PCs. <http://www.willpowerinfo.co.uk/thestabl.htm>.
- [6] Нгуен М.Х., Аджиев А.С. Описание и использование тезаурусов в информационных системах, подходы и реализация // Электронные библиотеки. – М.: Институт развития информационного общества, 2004. – Т. 7, вып. 1. <http://www.elbib.ru/index.phtml? page=elbib/rus/journal/2004/part1/NA>.
- [7] Лукашевич Н.В. Тезаурусы в задачах информационного поиска. – М.: Изд-во МГУ, 2011.
- [8] Загорюлько Ю.А., Боровикова О.И. Подход к построению порталов научных знаний // Автометрия. – Новосибирск: 2008. – Т. 44. № 1. – С. 100–110.
- [9] Андреева О.А., Боровикова О.И., Загорюлько Ю.А. и др. Археологический портал знаний: содержательный доступ к знаниям и информационным ресурсам по археологии // Труды 10-й нац. конф. по искусственному интеллекту с международным участием КИИ'2006. – М.: Физматлит, 2006. – Т.3. – С.832–840.
- [10] Боровикова О.И., Загорюлько Ю.А., Загорюлько Г.Б., Кононенко И.С., Соколова Е.Г. Разработка портала знаний по компьютерной лингвистике // Труды 11-ой национальной конференции по искусственному интеллекту с международным участием КИИ-2008. – М.: ЛЕНАНД, 2008. – Т.3. – С.380–388.

РЕАЛИЗАЦИЯ АНАЛИЗА ФОРМАЛЬНЫХ ПОНЯТИЙ В РЕЛЯЦИОННЫХ БАЗАХ ДАННЫХ

И.Д. Виноградов

Институт проблем управления сложными системами РАН
443020, Самара, ул. Садовая, 61, Россия
vid@svptus.ru
тел/факс: +7 (846) 333-27-70

Ключевые слова: *реляционное отношение, реляционная модель данных, формальный контекст, решетка понятий*

Abstract

This article presents the approach to realization of the methodology FCA into the relation databases.

Введение

Анализ формальных понятий (АФП) широко известен как метод обработки данных, используемый с целью извлечения из них знаний в форме концептуальных структур [1,2]. В его основе лежит понятие формального контекста (formal concept), из которого извлекается таксономическая структура понятий. Задача извлечения знаний из больших баз данных связана с определенными трудностями, в частности, с большой размерностью данных, множеством хранящихся не актуальных данных для обработки и т.д. На текущий момент выполнено много успешных проектов по применению АФП в промышленных базах данных [3,4,10]. Однако должной систематизации и обобщения, проделанные работы в этом направлении не получили. Мало уделено внимания вопросам автоматизации построения формальных контекстов по интересующим конечного пользователя срезам данных, важных для решения его прикладных задач. Особенно это актуально для информационно-аналитических OLAP-систем. Поэтому в данной статье особое внимание уделено реализации АФП касающейся именно этих вопросов. В работе представлены описание формальных контекстов в виде реляционной схемы данных и алгоритм их построения по интерактивным запросам конечного пользователя с применением операций реляционной алгебры. Для лучшего понимания замысла работы приведен пример формирования формальных контекстов из реляционной базы данных потребительских предпочтений автомобильной продукции.

1 Реляционная схема данных для описания формальных контекстов

Реляционная модель данных основана на математическом понятии *отношения* (relation). С помощью отношения можно описывать любой объект реального мира. Это фундаментальное понятие состоит из двух составляющих: множества атрибутов и множества кортежей. Атрибут отношения есть пара вида $\langle \text{Имя_атрибута} : \text{Имя_домена} \rangle$, где домен область определения значений атрибута. Кортеж отношения суть множество пар вида $\langle \text{Имя_атрибута} : \text{Значение_атрибута} \rangle$. Множество атрибутов отношения описывает состав доменов и по своей сути представляет *интенционал* отношения. Мощност множества атрибутов называют степенью или арностью отношения. Множество кортежей есть подмножество декартова произведения доменов, определяющее *экстенционал* отношения. Формально реляционное отношение можно представить в виде: $R = \langle Q, A, J \rangle$, где Q – множество кортежей (экстенционал); A –

множество атрибутов отношения (интенционал); $J = Q \times A$ - отношение инцидентности между атрибутами отношения и его кортежами. Такое представление отношения близко по форме определению базового понятия АФП – формального контекста: $K = \langle O, P, I \rangle$, где O – множество объектов, P – множество свойств объектов и $I = O \times P$ - инцидентность между множествами объектов и их свойств [1,2].

Для возможности реализации АФП в реляционной базе данных необходимо разработать некоторую схему представления формальных контекстов на основе реляционной модели данных. Один из вариантов такой схемы в виде диаграммы «сущность-связь» показан на рисунке 1. Данный вариант обеспечивает построение как четких, так и нечетких (fuzzy) формальных контекстов [8,12].

Предлагаемая схема состоит из описаний четырех базовых реляционных отношений: «CONTEXTS», «OBJECTS», «PROPERTIES» и «SPCONTEXTS». Все отношения удовлетворяют 3-ей нормальной форме (3NF) и связаны между собой связями вида «один-ко-многим». «CONTEXTS» содержит описание общей информации о формальных контекстах: имени, дате создания, авторе. «OBJECTS» - описание множества объектов формальных контекстов. Обязательными атрибутами данного отношения являются имя объекта «NAME» и внешняя ссылка на таблицу формальных контекстов «CONTEXT_RN». Первичный ключ «OBJECT_RN» поддерживает уникальность каждой записи в таблице объектов. Уникальный ключ отношения представлен парой атрибутов «NAME + CONTEXT_RN». Он обеспечивает уникальность именования объектов в рамках формального контекста. «PROPERTIES» является представлением множества свойств, которыми обладают объекты формального контекста. Его описание аналогично описанию предыдущего отношения. Наконец, отношение «SPCONTEXTS» служит представлением инцидентности множеств объектов и свойств формального контекста. Атрибут «VALUE» предназначен для задания значений инцидентности для нечетких многозначных контекстов.

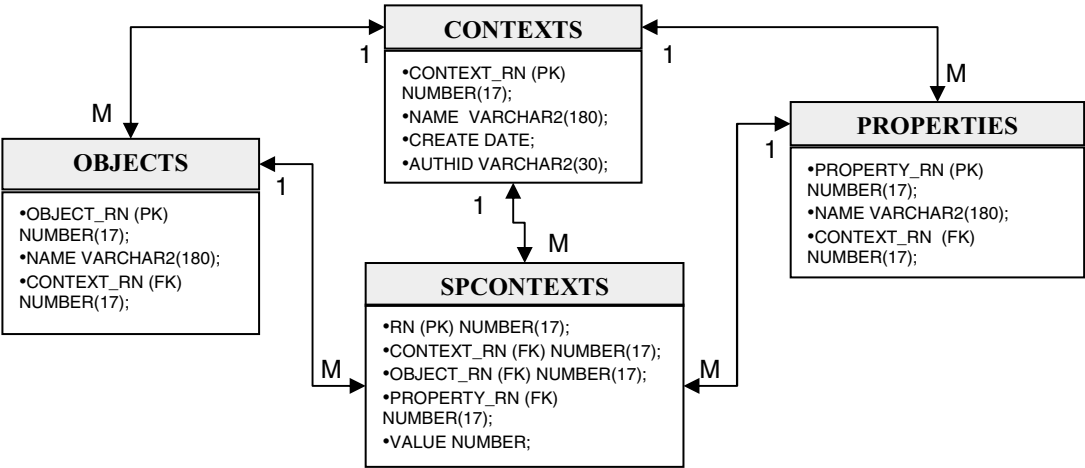


Рисунок 1 – Реляционная схема представления формальных контекстов

После создания схемы представления формальных контекстов осуществляется реализация необходимых операций для работы с ними, перечень которых включает следующие операции: кларификация (clarification), редуцирование (reduction), композиция (FCA–merge) и построение решетки понятий (concept lattices). Вопросы реализации этих операций выходят за рамки данной работы. Ответы на них можно найти во многих источниках [2,6,7,13]. Основное

же внимание уделим вопросам автоматизации построения формальных контекстов в реляционных базах данных.

2 Операция извлечения формальных контекстов

Пусть $R_1(A_1, A_2, \dots, A_n)$ и $R_2(A_1, A_2, \dots, A_m)$ произвольные реляционные отношения. Определим операцию извлечения из них формального контекста в виде:

$$g(R_1, R_2) : R_1[A_i] \rightarrow O; R_2[A_j] \rightarrow P; R_1[A_i \theta A_j] R_2 \rightarrow I, \text{ где}$$

$R_1[A_i] \rightarrow O$ - оператор преобразования проекции отношения R_1 по атрибуту A_i в множество объектов O формального контекста;

$R_2[A_j] \rightarrow P$ - оператор преобразования проекции отношения R_2 по атрибутам A_j в множество свойств P объектов формального контекста;

$R_1[A_i \theta A_j] R_2 \rightarrow I$ - оператор преобразования соединения отношений R_1 и R_2 по атрибутам A_1 и A_2 в матрицу инцидентности формального контекста $I = O \times P$, где θ - условие соединения между атрибутами соединения A_1 и A_2 .

Операция извлечения обладает следующими свойствами:

- 1) $R_1[A_i \theta A_j] R_2 = \emptyset \rightarrow I = O \times P = \emptyset$ - пустой контекст;
- 2) $g(R_x, R_x) = (R_x[A_1]; R_x[A_2]; R_x[A_3] = A_3[R_x])$;
- 3) $g(R_x, R_y) = g(R_y, R_x)$ - коммутативность;
- 4) $g(R_x, R_y) \neq g'(R_x, R_y)$ - необратимость.

Алгоритм операции извлечения имеет вид:

Шаг 1. Добавление записи формального контекста:

INSERT INTO CONTEXTS (NAME, CREATE, AUTHID) VALUES (<имя_контекста>, sysdate, user);

Шаг 2. Цикл формирования множества объектов O из проекции отношения R_1 :

For cRel in (SELECT Ai FROM R1 GROUP BY Ai) loop INSERT INTO OBJECTS (NAME) VALUES (cRel.Ai); end loop;

Шаг 3. Цикл формирования множества свойств P из проекции отношения R_2 :

For cRel in (SELECT Aj FROM R2 GROUP BY Aj) loop INSERT INTO PROPERTIES (NAME) VALUES (cRel.Aj); end loop;

Шаг 4. Цикл формирования спецификации контекста I после выполнения операции соединения отношений R_1 и R_2 , и расчетом значений инцидентности с помощью заданной шкалы измерения свойств объектов (для четкого контекста используется двоичная шкала $\mu(A_i, A_j) = 0 \vee \mu(A_i, A_j) = 1$; для нечеткого контекста $\mu(A_i, A_j) \in [0, 1]$):

For cRel in (SELECT Ai, Aj, \mu(Ai, Aj) FROM R1, R2 WHERE R1.Ap=R2.Af GROUP BY Ai, Aj) loop INSERT INTO SPCONTEXTS (VALUE) VALUES (cRel.\mu(Ai, Aj)); end loop.

Реализация операции извлечения формального контекста предполагает создание специального интерфейса (мастера), с помощью которого пользователь может самостоятельно производить выбор и задание параметров операции исходя из своих соображений и потребностей.

3 Пример применения операции извлечения формальных контекстов

Рассмотрим формирование формальных контекстов на примере реляционной базы данных потребительских предпочтений автомобильной продукции. Фрагмент ее табличного представления показан на рисунке 2. Обозначим через R_1 – отношение «CARS», описывающее модельный ряд автомобилей с их общими техническими характеристиками, такими как: тип кузова, мощность двигателя, максимальная скорость, год выпуска и др. Отношение R_2 «INTERVIEWEES» содержит описание фокус-групп потребителей, различающихся местом жительства и приоритетом. Наконец, отношение R_3 «PREFERENCES» есть не что иное как описание предпочтений фокус-групп по модельному ряду. Атрибут «EVALUATE» отношения

R_3 примем в качестве шкалы $\mu(A_i, A_j) \in [0,1]$ для формирования нечеткого формального контекста.

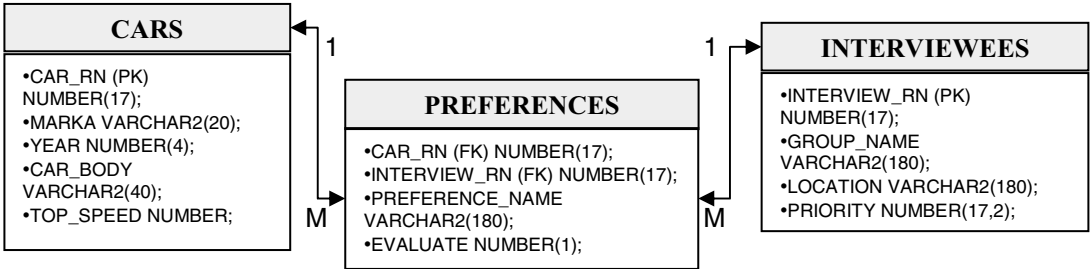


Рисунок 2 – Схема базы данных потребительских предпочтений на автомобильную продукцию

Таблица 1 – Отношение CARS (R1)

CAR_RN	MARKA	YEAR	CAR_BODY	TOP_SPEED
233907655	BA3-2101	1978	Седан	142
233907660	BA3-2120	1999	Минивэн	140
233907661	BA3-2110	1999	Седан	170
233907662	BA3-2111	2004	Универсал	175
233907663	BA3-2112	2004	Хэтчбэк	170
233907664	BA3-2113	2004	Хэтчбэк	150
233907665	BA3-2114	2007	Хэтчбэк	160
233907666	BA3-2115	2001	Седан	190
233907667	BA3-2121	1995	Универсал	137
233907668	BA3-Priora	2007	Универсал	183

Таблица 2 – Отношение INTERVIEWEES (R2)

INTERVIEW_RN	GROUP_NAME	LOCATION	PRIORITY
233956770	Трудоспособное население от 22-55 лет	Самарская область	100
233956771	Молодое население от 17-25 лет	Самарская область	100
233956772	Пожилое население старше 55 лет	Самарская область	100
233956773	Трудоспособное население от 22-55 лет	Ульяновская область	80
233956774	Молодое население от 17-25 лет	Ульяновская область	80
233956775	Пожилое население старше 55 лет	Ульяновская область	80
233956776	Трудоспособное население от 22-55 лет	Саратовская область	70
233956777	Молодое население от 17-25 лет	Саратовская область	70
233956778	Пожилое население старше 55 лет	Саратовская область	70

Таблица 3 – Отношение PREFERENCES (R3)

CAR_RN	INTERVIEW_RN	PREFERENCE_NAME	EVALUATE
233907660	233956770	Дизайн салона	0,68
233907660	233956772	Тип кузова	0,81
233907668	233956771	Мощность двигателя	0,45
233907668	233956774	Мощность двигателя	0,55
233907660	233956776	Дизайн салона	0
233907668	233956771	Максимальная скорость	0,93
233907668	233956773	Тип кузова	0,75
233907660	233956777	Управляемость	0,63
233907668	233956772	Уровень шума	0,52
233907668	233956775	Расход топлива	0,84
233907668	233956771	Время разгона до 100 км.ч	1
233907668	233956771	Управляемость	0,35
233907668	233956777	Год выпуска	0,57
233907668	233956772	Расход топлива	1

Сформируем нечеткий формальный контекст на базе отношений R_1 и R_3 :

$g(R_1, R_3) = (R_1[MARKA]; R_3[PREFERENCE_NAME]; R_1[CAR_RN = CAR_RN]R_3)$
→ "Cars – Preference".

Фрагмент созданного контекста представлен в таблице 4. Аналогично нечеткий контекст, представленный в таблице 5, построен на базе отношений R_2 и R_3 :

$$g(R_2, R_3) = (R_2[GROUP_NAME, LOCATION]; R_3[PREFERENCE_NAME]; R_2[INTERVIEW_RN = INTERVIEW_RN]R_3)$$

→"Interviewees – Preference".

Отсутствие кортежа при соединении отношений *R1* и *R2* интерпретируется для контекста как инцидентность со значением 0,5.

Таблица 4 – Формальный контекст «Cars-Preferences»

	Дизайн салона	Тип кузова	Мощность двигателя	Управляемость	Максимальная скорость	Уровень шума	Год выпуска	Расход топлива
BA3-2101	0,45	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,37	0,5
BA3-2120	0,18	0,64	0,5	0,73	0,5	0,5	0,5	0,59
BA3-2110	0,5	0,5	0,47	0,5	0,5	0,23	0,5	0,5
BA3-2111	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,62
BA3-2112	0,5	0,66	0,22	0,48	0,56	0,5	0,5	0,5
BA3-2113	0,67	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,52
BA3-2114	0,92	0,5	0,5	0,64	0,77	0,5	0,17	0,70
BA3-2115	0,78	0,33	0,65	0,5	0,5	0,5	0,5	0,68
BA3-2121	0,34	0,57	0,5	0,83	0,5	0,14	0,5	0,81
BA3-Priora	0,98	0,99	0,88	0,5	0,69	0,85	0,5	0,92

Таблица 5 – Формальный контекст «Interviewees-Preferences»

	Дизайн салона	Тип кузова	Мощность двигателя	Управляемость	Максимальная скорость	Уровень шума	Год выпуска	Расход топлива
Трудоспособное население от 22-55 лет (Самарская область)	0,64	0,5	0,5	0,89	0,5	0,75	0,54	0,80
Молодое население от 17-25 лет (Самарская область)	0,96	0,84	0,96	0,91	0,88	0,5	0,5	0,5
Пожилое население старше 55 лет (Самарская область)	0,34	0,5	0,5	0,67	0,5	0,84	0,5	0,96
Трудоспособное население от 22-55 лет (Ульяновская область)	0,57	0,21	0,5	0,78	0,5	0,5	0,5	0,83
Молодое население от 17-25 лет (Ульяновская область)	0,90	0,5	0,94	0,96	0,91	0,5	0,5	0,5
Пожилое население старше 55 лет (Ульяновская область)	0,5	0,5	0,5	0,60	0,5	0,86	0,33	0,93
Трудоспособное население от 22-55 лет (Саратовская область)	0,62	0,40	0,67	0,86	0,5	0,5	0,5	0,84
Молодое население от 17-25 лет (Саратовская область)	0,88	0,47	0,99	0,89	0,89	0,5	0,5	0,5
Пожилое население старше 55 лет (Саратовская область)	0,5	0,18	0,5	0,5	0,5	0,79	0,5	0,92

Полученные после выполнения операции извлечения нечеткие контексты приводятся к четкому виду путем задания для них пороговых значений [12]. После преобразования из них формируются концептуальные структуры в виде решеток понятий. При задании различных пороговых значений получаются различные таксономические структуры. Для получения полной картины анализа потребительских предпочтений необходимо произвести объединение формальных контекстов: <"Cars – Preferences"> ◦ <"Interviewees – Preferences"> [13]. В результате объединения формируется объединенный формальный контекст, на основе которого строится концептуальная структура в виде диаграммы Хассе или линейной диаграммы, необходимая для анализа потребительских предпочтений автомобильной продукции [14].

Заключение

Представленный в работе подход к реализации АФП в реляционных базах данных позволяет использовать всю мощност ь данной методологии для эффективной обработки, хранимой

в них информации. Средства позволяют извлекать из данных формальные контексты и строить на их основе большие понятийные структуры, дающие аналитикам новые знания об исследуемой ими предметной области. Данный подход может быть использован для реализации АПФ на базе промышленных СУБД, таких известных производителей программного обеспечения как ORACLE, Microsoft, Sybase, IBM и др.

Список литературы

- [1] Ganter B., Wille R.: Formal Concept Analysis. Mathematical Foundations. Springer, 1999.
- [2] Ganter B., Stumme G., Wille R.: Formal Concept Analysis. Foundations and Applications. Springer, 2005.
- [3] Joslyn C., Mniszewski S. Relation Analytical Tools: VisTool and Formal Concept Analysis. "Advanced Knowledge Integration for Assessing Terrorist Threats" Project., October 9, 2002.
- [4] Brüggenmann, R; Volgt, K; and Steinberg, CEW: "Application of Formal Concept Analysis to Evaluate Environmental Databases", Chemosphere, V35, 1997, 479-486.
- [5] I. Schmitt, G. Saake: Merging inheritance hierarchies for database integration. *Proc. CoopIS'98*, IEEE Computer Science Press, 1998, 322-331.
- [6] Kuznetsov S., Obiedkov S., Comparing performance of algorithms for generating concept lattices. *J. Experimental and Theoretical Artificial Intelligence* 14,2-3 2002, 189-216.
- [7] Stumme G., Maedche A.: FCA Merge: Bottom-Up Merging of ontologies. *Proc. 17th Intl. Conf on Artificial Intelligence (IJCAI '01)*. Seattle, WA, USA. 2001, 225-230.
- [8] Belohlavek R.: Fuzzy Relational Systems: Foundations and Principles. Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York, 2002.
- [9] Correia J. H., Stumme G., Wille R.: Conceptual Knowledge Discovery—A Human-Centered Approach. *Applied Artificial Intelligence* 17, 2003, 281-302.
- [10] Stumme G., Wille R., Wille U. "Conceptual Knowledge Discovery in Databases Using Formal Concept Analysis Methods", LNCS 1510, 1998, 450-458.
- [11] Виноградов И.Д., Смирнов С.В. Композиция концептуальных схем сложных систем // Проблемы управления и моделирования в сложных системах: Труды международной конференции (Самара, 15-17 июня, 1999 г.) – Самара: СамНИЦ РАН, 1999. - С. 184-190.
- [12] Kyoung-Mo Yang, Eung-Hee Kim, Suk-Hyung Hwang, Sung-Hee Choi. Fuzzy concept mining based on Formal Concept Analysis.- *International journal of computers*, V2, - 2008.
- [13] Виноградов И.Д., Смирнов С.В. Алгоритм объединения концептуальных схем на основе реконструкции их формального контекста // Проблемы управления и моделирования в сложных системах: Труды III международной конференции (Самара, 4-9 сентября, 2001 г.) – Самара: Самарский НИЦ РАН, 2001. - С. 213-220.
- [14] I.D. Vinogradov, V.A. Vittikh, S.V. Smirnov, V.M. Karpov, A.N. Moscalyuk/ Automobile marketing based on ontologies of user's needs // *Advances in Concurrent Engineering: Proc. of the 9-th ISPE int. Conf. On Concurrent Engineering: Research and Applications (Cranfield, United Kingdom)*. – Balkema Publishers, 2002.

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ПРИНИМАЕМЫХ РЕШЕНИЙ В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МЕНЕДЖМЕНТА

В.Ю. Волков, В.В. Батышкина, Самаха Башир Аббас

Новомосковский институт (филиал)
Российского химико-технологического университета им. Д.И. Менделеева
301665, Новомосковск, Тульская область, ул. Дружбы, 8, Россия
duga@mail.ru, vbatyshkina@mail.ru
тел: +7 (48762) 6-06-76, 6-12-50

Ключевые слова: загрязнители, концентрация загрязняющих веществ, атмосферный воздух, интеллектуальная система экологического менеджмента, принцип Парето, экспертные оценки, принятие решений

Abstract

The opportunity of a scientifically-based advice the decision maker (DM) for the adoption of best management decisions, the directions to reduce the concentration of air pollutants, taking into account both environmental and economic factors, using the methods of multiobjective optimization.

Введение

МО г.Новомосковск является одним из экономически развитых промышленных центров Тульской области. Интенсивное освоение природных ресурсов, а также концентрация в городе большого количества различных химических производств вызвали целый ряд негативных изменений природной среды и привели к обострению экологической обстановки, которая на протяжении десятилетий остается напряженной. Неблагоприятная экологическая обстановка в городе связана с размещением ряда крупных промышленных предприятий химического, энергетического и строительного комплекса с наличием химических веществ I и II класса опасности. На территории города расположено более 30 промышленных предприятий, оказывающих негативное влияние на окружающую природную среду (таблица 1).

Таблица 1 – Валовые выбросы вредных веществ основных предприятий г. Новомосковска за 2006-2010гг.

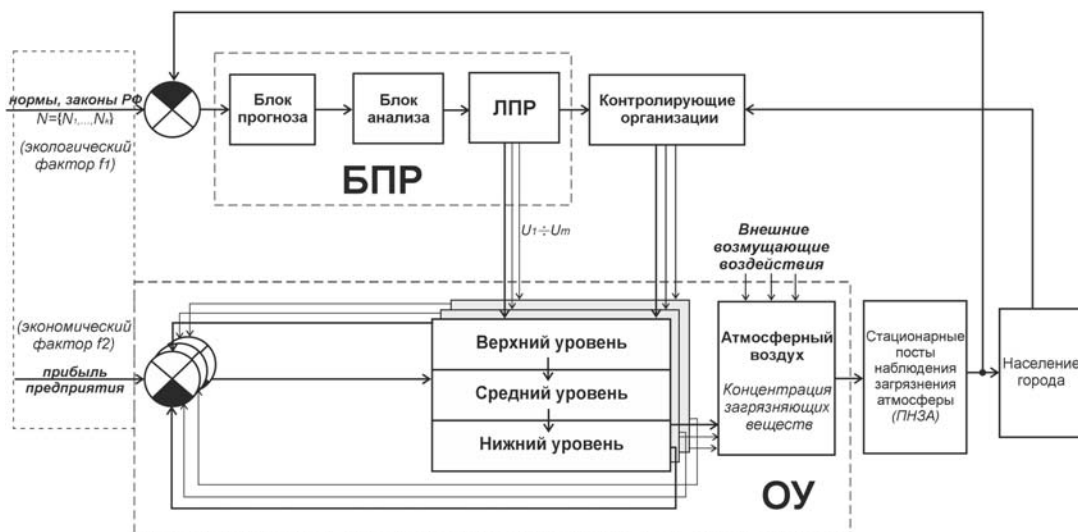
Наименование объекта	2006 год	2007 год	2008 год	2009 год	2010 год
НАК «Азот»	10004,1	9807,8	9280,5	11901,7	11190,6
Новомосковская ГРЭС	5844	3011,5	2947,3	1020,6	832,8
ЗАО «НЗКМ – Центргаз»	178,7	127,4	132,7	121,5	91,43
ОАО «КНАУФ-ГИПС-Новомосковск»	406	315,4	292,3	211,5	219,7
ОАО «Поликонт»	32,9	53,5	40,2	40,0	28,7
ООО «Проктер энд Гэмбл»	111,9	259,2	263,4	216,1	229,8
ОАО «Новомосковскогнеупор»	190,6	354,7	335,5	332,2	332,1
ООО «Оргсинтез»	62,4	22,0	9,4	5,7	6,3
ГУДРСП «Новомосковск-автодор»	210,3	210,3	305,3	215,0	305,331
ЗАО «Мельничный Комбинат»	44,2	44,4	40,0	39,0	56,9
ООО «Аэрозоль-Новомосковск»	221,4	251,3	250,4	251,9	221,9
ОАО «НАРЗ»	10,6	9,0	8,8	8,0	8,5
ВСЕГО :	17317,1	14466,5	13905,8	14363,3	13554,0

В результате реализации инвестиционного проекта «Промышленный кластер город Новомосковск Тульской области» на территории МО г.Новомосковск происходит увеличение объема производств на ряде крупных промышленных предприятий. Это приводит к необходимости принимать дополнительные меры по защите атмосферного воздуха, состояние которого является одним из основных факторов среды обитания человека.

Поэтому для города наиболее важной и значимой задачей является создание такой автоматизированной системы экологического менеджмента (АСЭМ), которая обеспечивала бы не только контроль за содержанием вредных веществ в атмосфере, но и позволяла бы воздействовать на экологическую ситуацию с целью снижения концентрации вредных веществ в атмосферном воздухе. Очевидно, что системы экологического менеджмента относятся к слабоструктурированным системам. Такие системы сложно автоматизировать стандартными способами, поэтому предлагается создать интеллектуальную систему экологического менеджмента ИСЭМ на базе, действующей в настоящее время, автоматизированной системы контроля атмосферного воздуха АСК «Атмосфера» МО г. Новомосковск Тульской области с применением современных информационных технологий и интеллектуальных средств поддержки принятия решений.

1 Интеллектуальная система экологического менеджмента ИСЭМ

ИСЭМ (рисунок 1) вырабатывает оптимальные управляющие воздействия (УВ) на различных уровнях системы управления (верхний уровень – уровень производств, средний уровень – уровень структурного подразделения, нижний уровень – уровень технологического процесса) для снижения концентрации загрязняющих веществ (ЗВ) на основе метода многокритериальной оптимизации, учитывающего экологическую (f_1) и экономическую (f_2) составляющие, с учетом степени влияния промышленных предприятий.



БПР – блок принятия решений; Контролирующие организации – контролирующие органы в области охраны окружающей среды; ОУ – объект управления; ПНЗА – стационарные посты наблюдения загрязнения атмосферы; U – управляющие воздействия

Рисунок 1 – Структура ИСЭМ

УВ принимаются Лицами, Принимающими Решения (ЛПР) в том случае, когда наблюдается тенденция роста концентрации ЗВ, которая в соответствии с 2-х часовым краткосрочным прогнозом может превысить установленные нормы ПДК по 5-ти измеряемым веществам. В этом случае вычисляются предполагаемые прогнозные значения роста концентрации ЗВ (блок прогноза) [1], а также определяется потенциально возможный источник загрязнения с целью воздействия на него для снижения концентрации ЗВ в режиме реального времени (блок анализа) [2].

Характерной особенностью предложенной функциональной структуры ИСЭМ является наличие блока принятия решений (БПР), что принципиально отличает данную систему от традиционных автоматизированных систем управления и позволяет ЛПР в реальном масштабе времени принимать оптимальные управляющие воздействия для снижения концентрации ЗВ.

2 Принятие решений в ИСЭМ

В данной задаче составить функцию управления, которая учитывала бы как интересы предприятия, так и интересы администрации города не представляется возможным. Поэтому для анализа и оценки степени влияния концентрации ЗВ основных источников загрязнения города на качество атмосферного воздуха с целью повышения обоснованности принимаемых решений в условиях частичной неопределенности, противоречий или конфликтов применяются экспертные оценки с привлечением экспертов. В качестве экспертов выступают специалисты в различных областях деятельности, работающих в администрации МО г. Новомосковск, администрации промышленных предприятий, Территориальном отделе Управления Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Тульской области в Новомосковском районе, г. Донском, Кимовском и Узловском районах; ГУ МЧС России по Тульской области и т.п. В [3] для повышения количества экспертов применяется Интернет. Предложенный способ позволяет привлечь независимых экспертов для повышения достоверности принимаемых решений.

Оценка отдельным экспертом относительной важности каждого из критериев осуществляется путем назначения экспертами некоторой количественной оценки по 10-балльной системе. Оценивание происходит по двум показателям: максимальное улучшение экологической обстановки и минимум потерь предприятия от реализации конкретного УВ.

Согласованное мнение группы экспертов о распределении показателей с точки зрения их значимости определяется путем суммирования оценок в рангах, полученных каждым показателем в отдельности. Распределение сумм рангов, полученных каждым показателем, и представляет собой согласованное мнение экспертов о распределении значимых показателей по их относительной важности и определяется по следующей зависимости:

$$(1) \quad M_j = \frac{1}{m_j} \sum_{i=1}^{m_j} C_{ij}$$

где m – количество экспертов, $i = 1, 2, \dots, m$;

m_j – количество экспертов, оценивших j -ый показатель;

C_{ij} – оценка относительной важности (в баллах) i -ым экспертом j -го показателя.

Вычисляется частота обобщенного мнения экспертов максимально возможных оценок (10 баллов), полученных j -ым показателем:

$$(2) \quad K'_j = \frac{m'_j}{m_j}$$

где m'_j – количество максимально возможных оценок, полученных j -ым показателем.

Степень согласованности мнения экспертов об относительной важности j -го показателя определяется по коэффициенту вариации для каждого показателя. Коэффициент вариации V_j оценок, полученных j -м показателем, определяется следующим образом:

- вычисляется дисперсия оценок, данных j -му показателю:

$$(3) \quad D_j = \frac{1}{m_j - 1} \sum_{i=1}^{m_j} (C_{ij} - M_j)^2 ;$$

- определяется среднее квадратическое отклонение оценок, полученных j -м показателем:

$$(4) \quad \sigma_j = \sqrt{D_j} ;$$

- определяется коэффициент вариации оценок, полученных j -м показателем:

$$(5) \quad V_j = \frac{\sigma_j}{M_j} .$$

Чем меньше значение V_j , тем выше степень согласованности мнений экспертов об относительной важности j -го показателя.

Следующим этапом после обработки результатов экспертного оценивания (т.е. вычисления всех приведенных выше показателей) является этап формирования принимаемого решения.

Для этого предлагается использовать методы многокритериальной оптимизации принятия решений на основе принципа Парето.

Метод опирается на аксиому (аксиому Парето): для всех пар допустимых решений $x', x'' \in X$, для которых имеет место неравенство $f(x') \geq f(x'')$, выполняется соотношение $x' \succ x''$.

Здесь $f(x') \geq f(x'')$ означает выполнение покомпонентных неравенств $f_i(x') \geq f_i(x'')$ для всех $i = 1, 2, \dots, m$, причем $f(x') \neq f(x'')$. Это означает, что компоненты первого вектора $f(x')$ не меньше соответствующих компонент второго вектора $f(x'')$, причем, по крайней мере, одна компонента первого вектора строго больше соответствующей компоненты второго вектора.

Решение $x^* \in X$ называется оптимальным по Парето (парето-оптимальным), если не существует такого возможного решения $x \in X$, для которого имеет место неравенство $f(x) \geq f(x^*)$.

Все парето-оптимальные решения образуют множество Парето:

$$(6) \quad P_f(X) = \left\{ x^* \in X \mid \neg \exists x \in X : f(x) \geq f(x^*) \right\}$$

Пусть x^* – некоторое парето-оптимальное решение и $f(x^*)$ – соответствующий ему парето-оптимальный вектор. В соответствии с определением, если для некоторого решения $x \in X$, отличного от x^* , оказывается выполненным неравенство $f_i(x) \geq f_i(x^*)$, то обязательно должен найтись, хотя бы один номер j , при котором верно неравенство $f_j(x^*) > f_j(x)$.

Таким образом, парето-оптимальное решение – это такое допустимое решение, которое не может быть улучшено (увеличено) ни по одному из имеющихся критериев без ухудшения (уменьшения) по какому-то хотя бы одному другому критерию.

3 Модифицированный метод Парето в ИСЭМ

Для устранения конфликта модифицируем метод Парето таким образом, чтобы процедура принятия решения ЛПР оптимальных УВ рассматривалась бы как процесс, в котором участвуют администрация города и администрация предприятия, ведущих борьбу за реализацию своих интересов. Стороны действуют сознательно и как партнеры.

Выбор решений в условиях неопределенности включает в себя: построение матрицы решений стратегий сторон и количественную оценку вариантов.

Матрица решений стратегий сторон - статистический метод принятия решения на основе выбора наилучшего варианта из нескольких альтернатив по заранее выбранным критериям.

$$(7) \quad F = \begin{pmatrix} & \begin{matrix} S_1 & S_2 & \dots & S_n \end{matrix} \\ \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ \dots \\ A_m \end{matrix} & \begin{matrix} f_{1(11)}, f_{2(11)} & f_{1(12)}, f_{2(12)} & \dots & f_{1(1n)}, f_{2(1n)} \\ f_{1(21)}, f_{2(21)} & f_{1(22)}, f_{2(22)} & \dots & f_{1(2n)}, f_{2(2n)} \\ \dots & \dots & f_{1(ij)}, f_{2(ij)} & \dots \\ f_{1(m1)}, f_{2(m1)} & f_{1(m2)}, f_{2(m2)} & \dots & f_{1(mn)}, f_{2(mn)} \end{matrix} \end{pmatrix}$$

где A_i – стратегии i -го решения ($i=1, \dots, m$) администрации;

S_j – стратегии j -го решения предприятия ($j=1, \dots, n$);

$f_{1(i,j)}$ – «выигрыш» города при выборе i -той стратегии и j -той стратегии предприятия;

$f_{1(i,j)}$ – «проигрыш» предприятия при выборе i -той стратегии и j -той стратегии предприятия.

Таким образом, необходимо выбрать наилучшие стратегии администрации, которые будут давать максимальное значение критерия с учетом стратегий предприятий.

Для данной постановки задачи модифицируем принцип Парето. В отличие от стандартного метода алгоритм нахождения оптимального УВ выборка из матрицы решения проводится попеременно по строкам и столбцам:

Шаг 1. выбрать первую строку матрицы решений F и проверить выполнение неравенства $f_{1(ij)} \geq f_{1(i+1,j)}$. Если оно оказалось истинным, то перейти к шагу 2. Иначе – к шагу 5.

Шаг 2. удалить из матрицы F строку $f_{1(ij)}$, т.к. она не является парето-оптимальной.

Шаг 3. выбрать первый столбец матрицы решений F и проверить выполнение неравенства $f_{2(ij)} \geq f_{2(i,j+2)}$. Если оно оказалось истинным, то перейти к шагу 4.

Шаг 4. Удалить из матрицы столбец $f_{1(i,j+2)}$, т.к. он не является парето-оптимальным.

Шаг 5. Проверить выполнение неравенства $i < N$. Если оно оказалось истинным, то положить $i=i+1$ и перейти к шагу 1. Иначе – к шагу 7.

Шаг 6. Проверить выполнение неравенства $j < M$. Если оно оказалось истинным, то положить $j=j+1$ перейти к шагу 3. Иначе – к шагу 7.

Шаг 7. Проверить выполнение неравенства $i > N-1$ и $j > M-1$. В случае истинности этого неравенства вычисления закончить.

Далее будем использовать модифицированный метод Парето в задаче выбора оптимального управляющего воздействия ЛПР, которые должны быть оптимальными как с экологической (минимум негативного воздействия вредных веществ на атмосферу), так и с экономической (максимум прибыли предприятия) точки зрения. И, с одной стороны, учитывать интересы предприятий (экономические факторы), которые стремятся увеличить прибыль, а с другой стороны – проживающего на территории региона населения, на защите интересов которого стоят администрация МО и контролирующие органы, которые должны обеспечивать требуемый уровень безопасности проживания людей на контролируемой территории (экологические факторы).

Для решения задачи был сформирован перечень управляющих воздействий с дифференциацией по «месту приложения» воздействия на соответствующий уровень объекта управления [4]. Определяются экспертные оценки и формируются матрицы решений для каждого из приоритетных ЗВ. Из матриц выделяется множество Парето по алгоритму, описанному выше. Данная процедура показана на рисунке 2.

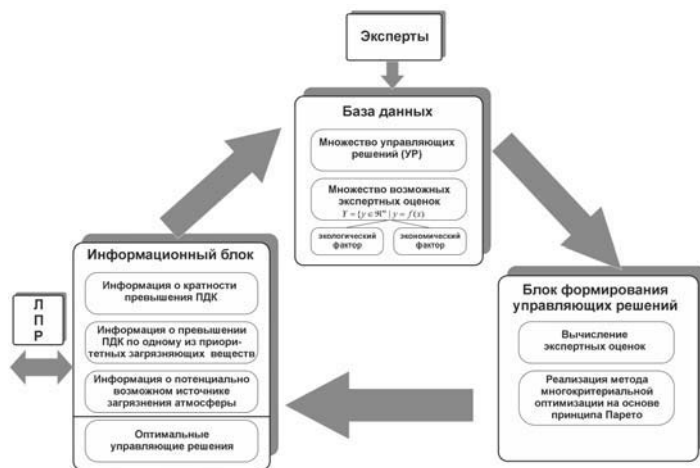


Рисунок 2 – Информационные потоки в системе принятия решений

Итогом работы алгоритма является возможные оптимальные решения по снижению концентрации ЗВ в атмосферном воздухе. Так для случая прогнозируемого трехкратного превышения ПДК на стационарном посту измерения ПНЗА №1 по ЗВ NH_3 , вероятный источник загрязнения НАК «Азот», благоприятные погодные условия - необходимо позвонить вероятному источнику загрязнения (дежурный, администрация предприятия и т.п.) и сообщить характер происшествия, степень опасности, тенденцию развития и возможные последствия. А также среди возможных УВ, согласно модифицированному методу Парето, выбрать оптимальные УВ.

При принятии ЛПР необходимо осуществить выбор - обосновано, эффективно, используя имеющуюся информацию о целях и предпочтениях. При выборе оптимального решения по предложенному алгоритму учитываются как интересы промышленных предприятий, так и контролирующих органов в области охраны окружающей среды, представляющие интересы населения.

Список литературы

- [1] Волков В. Ю., Батышкина В. В. Повышение точности прогноза степени загрязнения атмосферного воздуха в автоматизированной системе экологического мониторинга // Датчики и системы. – 2010. - №6. – С. 34-39.
- [2] Волков В.Ю., Батышкина В.В. Проблемы применения когнитивного подхода к созданию интеллектуальной системы экологического мониторинга и управления. // Известия высших учебных заведений: Химия и химическая технология. – 2009. – т.52, №6. – С. 109-113.
- [3] Волков В.Ю., Али Мансур Номан, Бархум Ибрахим Халил. Удаленное наблюдение через интернет за загрязнением атмосферного воздуха в АСЭМ // Тульский экологический бюллетень. Выпуск 1. – Тула, 2008. – С.107-115.
- [4] Батышкина В.В., Волков В. Ю., Самаха Б.А. Интеллектуальная система поддержки принятия решений при управлении экологической ситуацией г. Новомосковска Тульской области // Проблемы управления безопасностью сложных систем: Тез.докл. XVIII Междун. конф. – Москва, 2010. – С. 457-461.

ОНТОЛОГИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ СИТУАЦИЙ В ПРОЦЕССАХ УПРАВЛЕНИЯ РЕАЛИЗАЦИЕЙ ГОСУДАРСТВЕННОЙ ПРОГРАММЫ «ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЩЕСТВО» В САМАРСКОЙ ОБЛАСТИ

С.А. Быков¹, С.В. Казарин¹, С.В. Смирнов², Е.Г. Суворова²

¹Департамент информационных технологий и связи Самарской области
443006, Самара, ул. Молодогвардейская, 210, Россия
e-gov@samregion.ru

тел: +7 (846) 221-54-00, факс: +7 (846) 335-10-40

²Институт проблем управления сложными системами РАН
443020, Самара, ул. Садовая, 61, Россия
smirnov@iccs.ru

тел: +7 (846) 332-39-27, факс: +7 (846) 333-27-70

Ключевые слова: государственная программа, проекты, поддержка принятия решений, онтология, объектная модель, предметная область

Abstract

We have constructed ontological models focused on support of decision-making process by creation of e-government and an information society in Samara region. Models development is executed by generalization of several projects in this sphere. As a result management can base not only on full-text documents, but also on various analysis procedures of the formal object-oriented models disclosing interrelations of projects among themselves and with contexts of their realization. The created models can become a base of perspective decision-making support system.

Введение

Распоряжением Правительства Российской Федерации от 20.10.2010 г. № 1815р утверждена государственная программа Российской Федерации «Информационное общество (2011-2020 годы)». В качестве соисполнителей Программы установлены ряд министерств и федеральных служб РФ, а также все субъекты РФ. Поэтому на местах интенсифицируют мероприятия региональных органов исполнительной власти, направленные на решение обширного перечня выдвинутых Программой задач. Управление реализацией Программы на региональном уровне усложнено как минимум следующими обстоятельствами:

- большим числом соисполнителей, каждый из которых привносит свое видение приоритетов Программы, требуя к ним специфического внимания и соответствующей отчетности;
- количеством, разнородностью и, как правило, технической и организационной сложностью обозначенных задач;
- необходимостью привлечения для решения задач Программы значительного числа качественно отличающихся субподрядчиков: предприятий крупного, среднего и малого бизнеса различных отраслей, университетов и специализированных научных учреждений, независимых экспертов и специалистов-фрилансеров;
- перманентным развитием законодательной базы и подзаконных актов министерств и ведомств на федеральном, региональном и муниципальном уровнях, прямо и косвенно определяющих ведение работ по Программе.

С академической точки зрения управление в подобных условиях можно охарактеризовать как управление *слабо формализуемыми системами* [1, 2] и понимать как *регулирование отношений целостностей* [3], а адекватной основой поддержки принятия решений в процессах управления могут служить *онтологические модели ситуаций*, складывающихся в таких систе-

мах [3, 4]. Указанные модели представляют собой компьютерную форму представления знаний о предметных областях (ПрО) управления в виде семантических информационно-логических сетей взаимосвязанных объектов, где в качестве главных элементов выступают понятия об объектах ПрО с их свойствами и отношениями между объектами.

В данной работе дается обзор онтологических моделей ситуаций, которые построены в результате анализа начального опыта работ по государственной программе «Информационное общество (2011-2020 годы)» в Самарской области. Эти модели следует рассматривать как первую попытку создания баз данных и знаний для перспективной информационно-аналитической системы поддержки принятия решений при управлении мероприятиями органов исполнительной власти, инициируемыми Программой создания информационного общества Самарской области, также смежными направлениями государственного управления в регионе.

Онтологическая спецификация предметной области управления

Для эксперимента с целью выявления понятийной структуры ПрО управления были отобраны три актуальных проекта, реализуемых в Самарской области:

- 1) *Создание универсальной электронной карты* - материального носителя, фиксирующего в визуальной и электронной формах информацию о пользователе картой и удостоверяющего его права на получение государственных, муниципальных и иных законных услуг, а также совершения юридически значимых действий в электронной форме.
- 2) *Определение региональных операторов*, призванных обеспечить содействие региональной информатизации, создание электронного правительства и системы межведомственного взаимодействия органов исполнительной власти и органов местного самоуправления в Самарской области.
- 3) *Создание специализированной технологической площадки*, предназначенной для размещения официальных сайтов органов государственной власти, на которых приведена нормативно-правовая, справочная и новостная информация, связанная с их деятельностью.

В процессе экспертного онтологического анализа предметных областей проектов был сделан ряд важных понятийных разграничений, обычно упускаемых в повседневной практике управления (например, универсальная электронная карта как *материальный носитель информации* и как *проект* по созданию этого носителя).

В результате экспертным путем построена формальная онтология, включившая почти сотню объектов, описывающих атрибуты и классы объектов рассматриваемой ПрО (рисунок 1). Относительное богатство созданной понятийной структуры объясняется удачным выбором примеров проектов, которые хорошо представили разнообразие сущностей из сферы деятельности Департамента информационных технологий и связи Правительства Самарской области. В отфильтрованном виде (без атрибутов ПрО и классов, имманентных любой формальной онтологии [5]), построенная понятийная структура включает более тридцати понятий и более дюжины связывающих их отношений (рисунок 2).

Модели конкретных ситуаций и проектов

Построенная онтология позволяет формально описывать конкретные проекты Самарской области, направленные на решение задач Программы «Информационное общество».

В частности, выполнено детальное формальное описание трех проектов, участвовавших в нашем эксперименте.

При описании проекта по созданию универсальной электронной карты рассматривались электронные приложения, входящие в его состав, персональные сведения о гражданах,

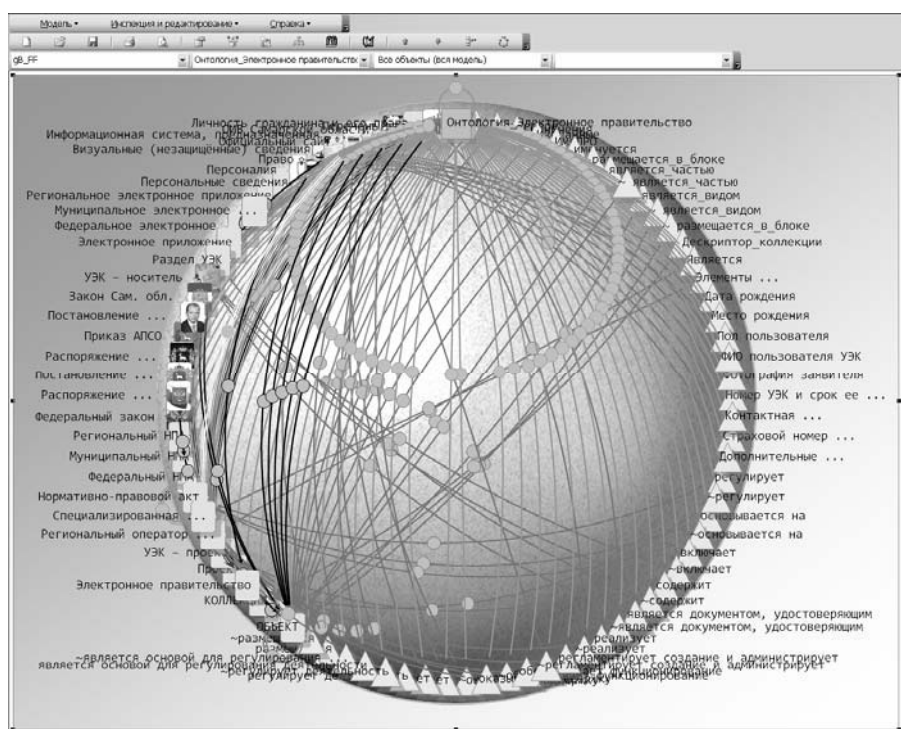


Рисунок 1 – Все объекты и связи формальной онтологии предметной области управления

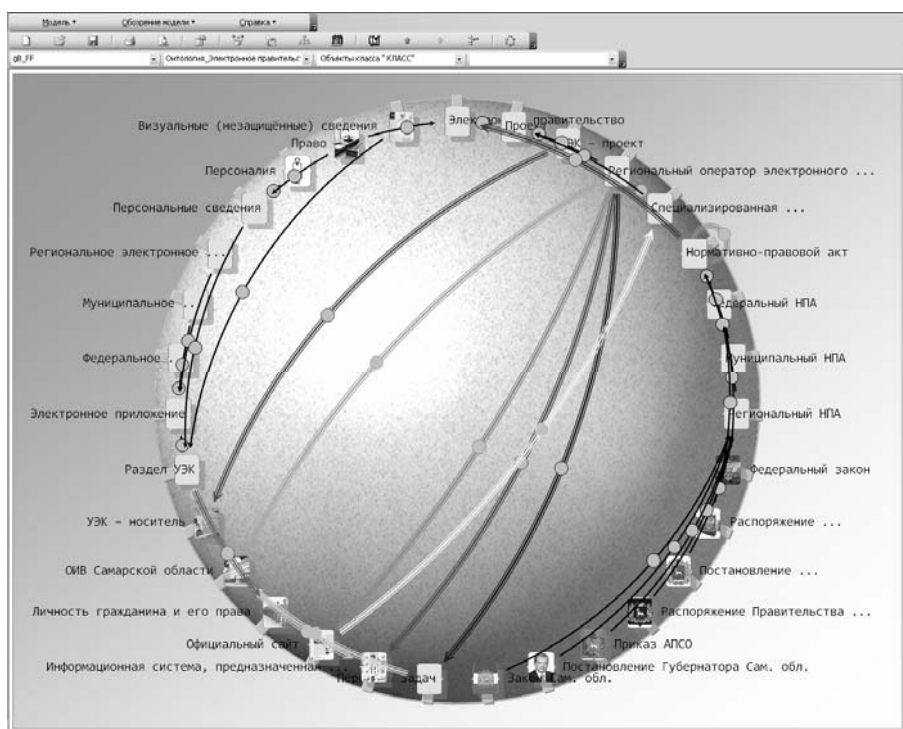


Рисунок 2 – Понятийная структура предметной области управления

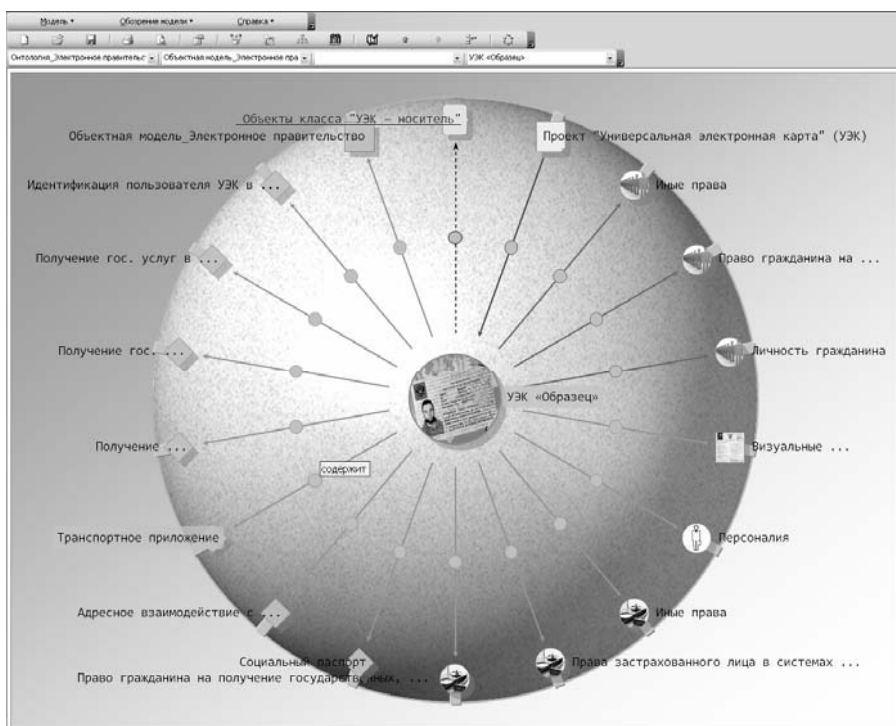


Рисунок 3 – Объект «Образец универсальной электронной карты»

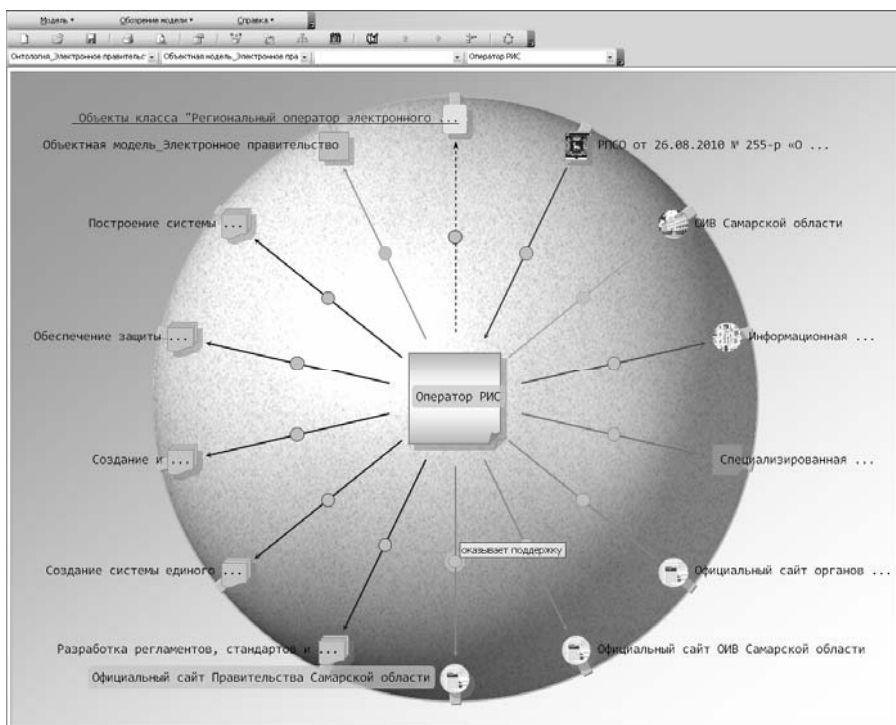


Рисунок 4 – Объект «Оператор РИС»

содержащиеся «внутри» карты и «на ее поверхности» с примерами конкретных данных, права граждан, регулирующие нормативно-правовыми актами, проведена их классификация, выделена взаимосвязь актов между собой (отношение «основывается на»). На рисунке 3 представлен объект «Образец универсальной электронной карты» и все связанные с ним элементы модели – объекты, представляющие как ее составные части, так и разнообразные контексты, в которых карта функционирует.

При исследовании проекта «о региональных операторах» были проанализированы перечни задач каждого из региональных операторов, выделены из них задачи, являющиеся основой для деятельности органов исполнительной власти Самарской области, установлены региональные операторы, обеспечивающие функционирование специализированной технологической площадки. На рисунке 4 изображен единый региональный оператор информационных систем и ресурсов электронного правительства Самарской области – «оператор РИС», со всеми связанными с ним объектами модели.

Пунктуальное описание проектов в форме онтологических моделей ситуаций, в которых происходит их реализация, обеспечивает фундамент для организации управления как регулирования отношений целостностей. Например, открываются возможности быстрее и точнее формулировать задания на выполнение новых проектов. Для мониторинга выполнения проектов становятся доступны не только их линейные реестры и трудно актуализируемые полнотекстовые описания, но и разнообразные легко интерпретируемые лицом, принимающим решения, процедуры анализа моделей [3], способные характеризовать проекты во всем разнообразии контекстов их выполнения, во взаимосвязи между собой, различными артефактами государственного регулирования и инфраструктуры создаваемого информационного общества.

Заключение

Построены онтологические модели ситуаций, ориентированные на поддержку принятия решений при управлении созданием «информационного общества» Самарской области. Разработка онтологии соответствующей предметной области выполнена путем обобщения экспертных описаний нескольких конкретных проектов в этой области. Согласно построенной онтологии рассмотренные проекты описаны формально. Созданные онтологические модели могут быть положены в основу информационно-аналитической системы Департамента информационных технологий и связи Правительства Самарской области.

Список литературы

- [1] Малин А.С., Мухин В.И. Исследование систем управления. – М.: Издательский дом ГУ ВШЭ, 2004.
- [2] Гаврилова Т.А., Муромцев Д.И. Интеллектуальные технологии в менеджменте. – СПб.: Изд-во «Высшая школа менеджмента»; Издательский дом СПбГУ, 2008.
- [3] Виттих В.А., Ситников П.В., Смирнов С.В. Онтологический подход к построению информационно-логических моделей в процессах управления социальными системами // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2009. № 5. - С. 45-53.
- [4] Онтологические модели ситуаций в процессах принятия коллегиальных решений / Авт.: В.А. Виттих // Проблемы управления и моделирования в сложных системах: Труды XI международной конф. (22-24 июня 2009 г., Самара, Россия). – Самара: СамНЦ РАН, 2009. - С. 405-410.
- [5] Смирнов С.В. Прагматика онтологий: объектно-ориентированная модель знаний о предметной области // Одиннадцатая Национальная конф. по искусственному интеллекту с международным участием КИИ-2008 (28 сентября-03 октября 2008 г., Дубна, Россия): Труды конф. Т. 3. – М.: ЛЕНАНД, 2008. - С. 208-216.

МУЛЬТИАГЕНТНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЗАДАЧАХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

П.О. Скобелев¹, А.В. Соллогуб², А.В. Иващенко¹, Е.В. Симонова³,
М.Е. Степанов³, А.В. Царев³

¹Институт проблем управления сложными системами РАН
443020, Самара, ул. Садовая, 61, Россия
petr.skobelev@gmail.ru
тел/факс: +7 (846) 333-27-70

²ГНПРКЦ «ЦСКБ-Прогресс»
443009, Самара, ул. Земеца, 18, Россия
csdb@samtel.ru

³НПК «Разумные решения»
443080, Самара, ул. Санфириковой, 95, Россия
at@anarun.net
тел/факс: +7 (846) 332-21-01

Ключевые слова: дистанционное зондирование Земли, распределение ресурсов, динамическое планирование, мультиагентная технология, онтология

Abstract

This paper describes a vision of multi-agent technology application to optimization of interaction of space vehicles of Earth remote sensing in real time. The description is given of models and algorithms that form the basis for multi-agent interaction of space vehicles, observed objects, the Earth and the Sun. New principles are provided of how to organize an interaction of space vehicles on the basis of ontology and multi-agent platform.

Введение

С развитием новых информационных технологий, появлением первых автономных роботов и ростом интеллектуальных возможностей машин всё большее значение приобретает проблема управления коллективами программных систем или роботов, автономно функционирующих в реальном времени в непрерывном цикле восприятия информации из внешней среды, планирования своих действий и контроля их исполнения. Особую сложность данная проблема имеет в случае управления коллективами подвижных объектов в реальном времени. В настоящее время большие перспективы в ракетно-космической отрасли связываются с созданием коллективов экономичных миниатюрных роботов-спутников, в частности, нано (до 20 кг) и пико (до 1 кг) масштаба.

Каждый такой спутник должен быть интеллектуальным, чтобы самостоятельно воспринимать ситуацию через датчики и вовремя реагировать на события, принимать и исполнять решения на основе заданных целей и задач, а также взаимодействовать с себе подобными для коллективного решения сложных задач. Рассматриваемые спутники должны не только самостоятельно и независимо принимать решения, но при необходимости договариваться и гибко формировать команды (организации) различного целевого назначения, в том числе, и новые, изначально наперёд жёстко не заданные. При этом сигнал, неожиданно запускающий изменение планов всего роя таких спутников, может прийти как с Земли, так и от любого из этих спутников, например, от того, кто первым обнаружил опасный новый объект – в этом смысле весь рой спутников управляется коллективно, с участием каждого из них, ведь каждый участ-

ник такой команды может посылать сигналы тревоги, выступать с предложениями, соглашаться или отказываться от каких-либо действий, выступать со встречными предложениями и т.д.

Сегодня можно привести достаточно большое количество примеров успешного применения мультиагентных технологий для динамического управления распределением ресурсов в режиме реального времени [1, 2]. При этом среди преимуществ использования именно мультиагентных технологий следует отдельно выделить возможность обеспечения согласованного планирования с учетом сложности и многообразия существующих связей в условиях нестабильности и высокой динамики. Одной из таких задач является обеспечение дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) группировками космических спутников [3, 4].

В данной статье рассматриваются основные принципы работы мультиагентной системы дистанционного зондирования Земли [5, 6, 7]. Для реализации мультиагентного подхода к управлению коллективом подвижных объектов разработана мультиагентная система в виде множества работающих асинхронно (квазипараллельно) со-программ, представляющих собой «легких» агентов, использующих онтологию для представления знаний предметной области и общую память объектов данных (сцену), отражающих текущую ситуацию во внешней среде, а также формирующих сети связей в ходе прямых переговоров.

Авторы выражают благодарность Российскому фонду фундаментальных исследований за поддержку в рамках гранта №10-08-01015а.

1 Постановка задачи

Области применения ДЗЗ включают обновление топографических карт, контроль состояния гидротехнических сооружений на каскадах водохранилищ, реальное местонахождение морских судов в той или иной акватории, отслеживание динамики и состояния вырубок леса, природоохранный мониторинг, оценку ущерба от лесных пожаров и их последствий, мониторинг разливов нефти и движения нефтяного пятна, контроль несанкционированного строительства, прогноз погоды и мониторинг опасных природных явлений и др. При этом для решения данных задач могут использоваться космические аппараты (КА), оснащенные различной аппаратурой, например, видимого, инфракрасного, радиационного спектра.

К задачам ДЗЗ относятся:

- слежение за неподвижной точечной целью в известном районе: пример – обнаружение горящего трубопровода;
- слежение за движущейся точечной целью: пример – поиск потерявшихся, слежение за вооружением противника;
- слежение за площадной целью: пример – слежение за изменением границ наводнений, пожаров;
- поиск объектов с заданными свойствами, местонахождение которых неизвестно, определение координат этих объектов.

Будем рассматривать для начала более подробно задачу идентификации точечной цели со сложными свойствами. Пусть эта цель является для упрощения неподвижной. Из центра обработки данных (ЦОД) задаются координаты квадрата, где она расположена: центр квадрата, радиус, широта и долгота. Необходимо идентифицировать объект как относящийся к объектам видимого, инфракрасного или радиационного спектра, причем возможна комбинация спектральных характеристик.

2 Описание мультиагентного подхода к решению задачи ДЗЗ

Для реализации мультиагентного подхода к решению задачи ДЗЗ предложен *метод согласованного планирования*, важным преимуществом которого является возможность адаптивного построения и исполнения планов, когда план не строится всякий раз заново при возникновении новых событий, как это делается в классических методах оптимизации, а только кор-

ректируется по мере появления событий в реальном времени. Такая адаптация осуществляется непрерывно путем выявления конфликтов в расписаниях, проведения переговоров и достижения компромиссов между агентами, что позволяет системе работать в реальном времени.

Предложенный метод для решения рассматриваемой задачи ДЗЗ предполагает следующую реализацию, которая иллюстрируется рисунком 1:

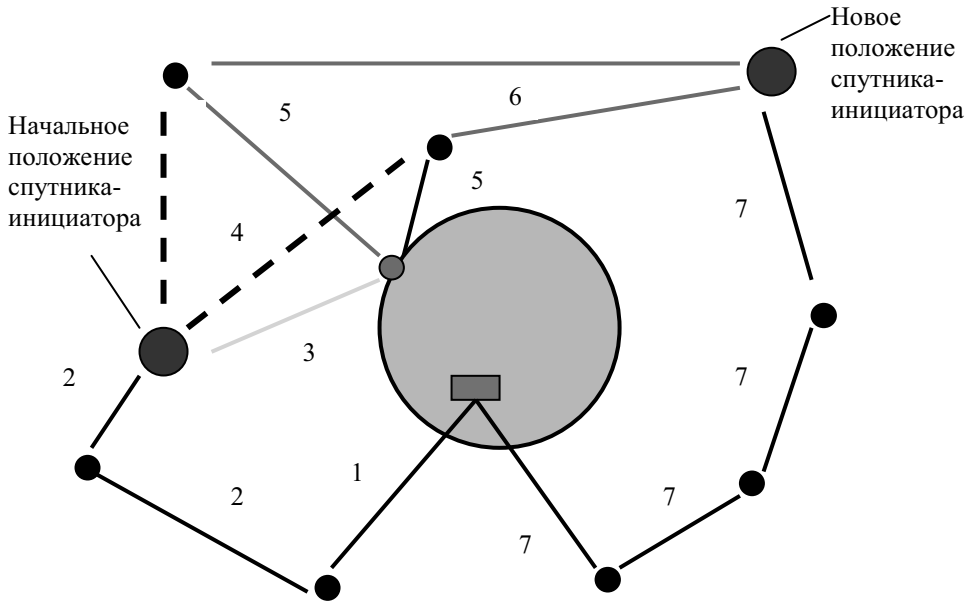


Рисунок 1 – Алгоритм метода мультиагентного поиска при решении задачи ДЗЗ

- 1) Пусть имеется группировка спутников, обладающих своими свойствами и оснащенных своей аппаратурой, причем новые спутники могут пополнять группировку динамически и находиться на своих орбитах в заданный момент времени в позициях, не известных для центра обработки данных (ЦОД).
- 2) В произвольный момент времени ЦОД (отмечен зеленым прямоугольником) специфицирует и передает задачу на поиск целевого объекта (отмечен красным кружком) всем видимым ему спутникам (1), задачи могут быть заранее неизвестны спутникам и могут потребовать кооперации нескольких спутников. Регион поиска разбивается на квадраты.
- 3) Спутники перемещаются по орбитам, имеющим различные характеристики. Если спутник не «видит» цель, он работает как ретранслятор, передавая сигналы соседним видимым ему спутникам. Так как спутник, получивший запрос, оказался далеко от района цели, он передает запрос наиболее близкому к цели спутнику, который находится в зоне его радиодоступности. Процесс передачи запроса продолжается до тех пор, пока какой-либо спутник не окажется над целью (2). Среди нескольких подходящих спутников, которые способны обнаружить цель, выбирается тот, который раньше других пройдет над целью, или тот, который имеет большее разрешение аппаратуры, что решается в ходе переговоров в команде спутников, видящих заданный квадрат.
- 4) Если спутник, получающий задачу, имеет соответствующую для распознавания аппаратуру, он сообщает другим спутникам о том, что берется за выполнение этой задачи. В течение

ние интервала времени, когда спутник, двигаясь по орбите, проходит над целью, он выполняет задачу идентификации цели, исследуя целевой объект в своем спектре. Если он ничего не успел обнаружить перед тем, как цель вышла из зоны видимости, он передает запрос другому спутнику, только заходящему на цель. Процесс продолжается до тех пор, пока какой-либо спутник не обнаружит объект, подходящий под описание, выданное ЦОдом, в своем диапазоне длин волн. Назовем такой спутник инициатором (3).

- 5) Спутник-инициатор параллельно передает запрос на исследование цели другим спутникам, работающим в двух оставшихся диапазонах длин волн (4).
- 6) Спутники этих диапазонов проверяют объект по координатам, переданным спутником-инициатором (5).
- 7) Спутники отправляют результаты исследования спутнику-инициатору напрямую или через сеть других спутников (6).
- 8) Если результат исследования положительный, спутник-инициатор отправляет сообщение с результатом в ЦОД через сеть спутников. Затем спутник-инициатор продолжает поиск в зоне цели других объектов, подходящих под описание, заданное ЦОдом (7).
- 9) Сканирование заканчивается либо по сигналу из ЦОДа, либо когда все квадраты будут исследованы спутниками с аппаратурой, работающей во всех диапазонах длин волн.

На рисунке 2 приведена структура мультиагентной системы ДЗЗ.

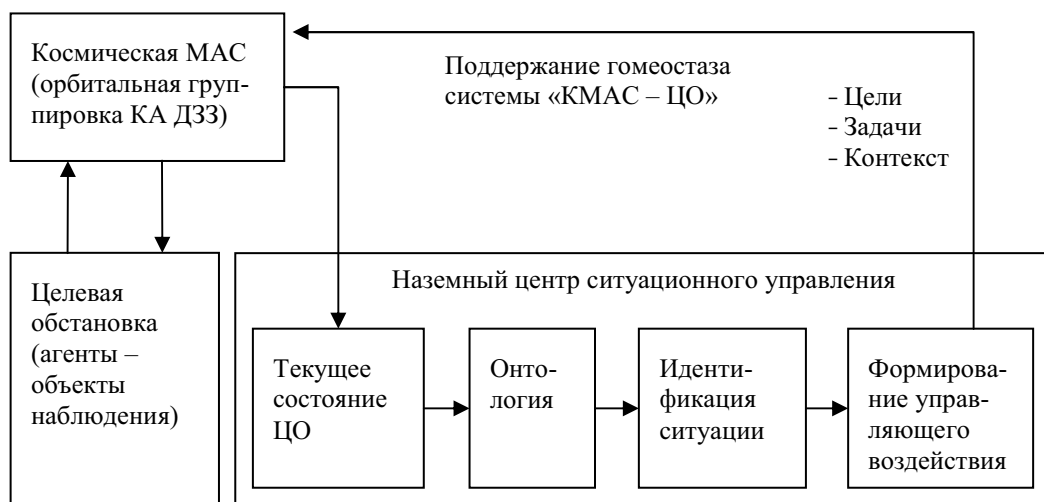


Рисунок 2 – Структура мультиагентной системы ДЗЗ

Состояние равновесия космической системы зондирования (КСЗ) должно поддерживать- ся в некоторой области пространства «интегративные свойства КСЗ – интегративные свойства целевой обстановки». Центральным звеном такой системы управления является наличие онто- логии (базы знаний), содержащей информацию о параметрах и возможных сценариях развития ситуаций в зондируемых районах. База знаний должна формироваться в терминах ситуацион- ного управления, причем анализ ситуаций и их развитие являются первичными, а соответст- вующая целевая обстановка и структура КСЗ должна вытекать из этого анализа.

В системе следует различать два взаимосвязанных контура:

- контур анализа и контроля ситуаций в целях создания управляющего воздействия на КСЗ;
- контур управления базой знаний.

Онтология, с одной стороны, обеспечивает устойчивое функционирование первого из приведенных контуров, а с другой, – развивается и пополняется в реальном масштабе времени новыми знаниями в целях повышения адаптивных свойств системы.

В задаче динамического планирования и управления коллективом подвижных объектов применительно к системе ДЗЗ агенты сопоставлены наземному объекту зондирования, наземному комплексу экспериментальной обработки, тестирования и сопровождения бортовых автономных систем ДЗЗ (центру обработки данных – ЦОДу) и космическим аппаратам или спутникам (КА).

3 Применение онтологии для настройки агентов МАС ДЗЗ

Для описания знаний, необходимых агентам, входящим в состав МАС, используется онтологический подход, согласно которому знания должны быть отделены от программного кода системы и должны храниться в онтологии, представляющей собой сеть понятий и отношений предметной области.

Разработана *структура онтологии* для описания основных концептов и отношений предметной области (классы концептов организованы в иерархию на принципах наследования, концепт характеризуется свойствами (атрибутами)):

- концепт «Базовый наземный объект, распознаваемый спутником непосредственно» – описывает основные характеристики объектов на Земле;
- концепт «Видимый наземный объект» – наследует от концепта «Базовый наземный объект», описывает основные характеристики объектов, заметных в видимом диапазоне частот.
- концепт «Инфракрасный наземный объект» – наследует от концепта «Базовый наземный объект», описывает основные характеристики объектов, заметных в инфракрасном диапазоне частот.
- концепт «Радиационный наземный объект» – наследует от концепта «Базовый наземный объект», описывает основные характеристики объектов, излучающих радиацию.
- концепт «Произвольный наземный объект» – наследует от концепта «Базовый наземный объект», описывает основные характеристики объектов, заметных в заданном диапазоне частот.
- концепт «Составной наземный объект» – описывает основные характеристики объектов, состоящих из базовых наземных объектов, находящихся между собой в какой-либо семантической связи.
- концепт «Диапазон спектра длин волн» – описывает длину волны.
- концепт «Центр обработки данных» – описывает основные характеристики ЦОДа.
- концепт «Спутник» – описывает основные характеристики спутников.
- концепт «Орбита» – описывает основные характеристики орбиты.
- концепт «Регион поиска» – описывает основные характеристики региона поиска целевого объекта на Земле.
- концепт «Облачность» – описывает основные характеристики облачности.
- Концепты могут быть представлены в виде дерева наследования и в виде семантической сети (см. рисунок 3).

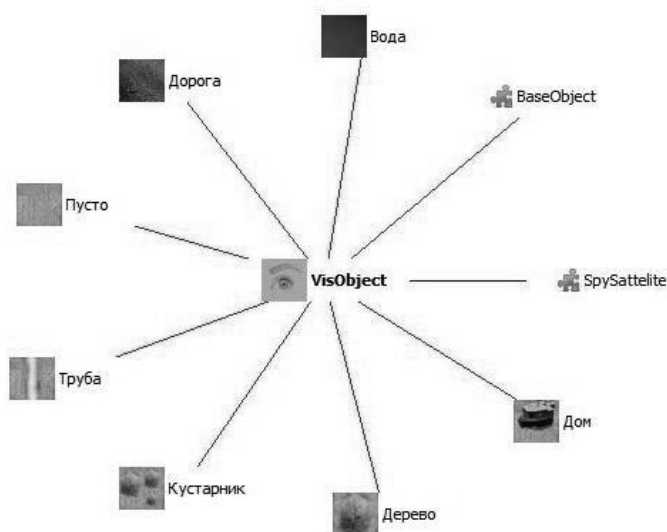


Рисунок 3 – Представление онтологии видимых объектов в виде семантической сети

4 Реализация МАС ДЗЗ

МАС ДЗЗ включает редактор онтологий и исполняющую систему (систему моделирования). На рисунке 4 показано основное окно редактора онтологии.

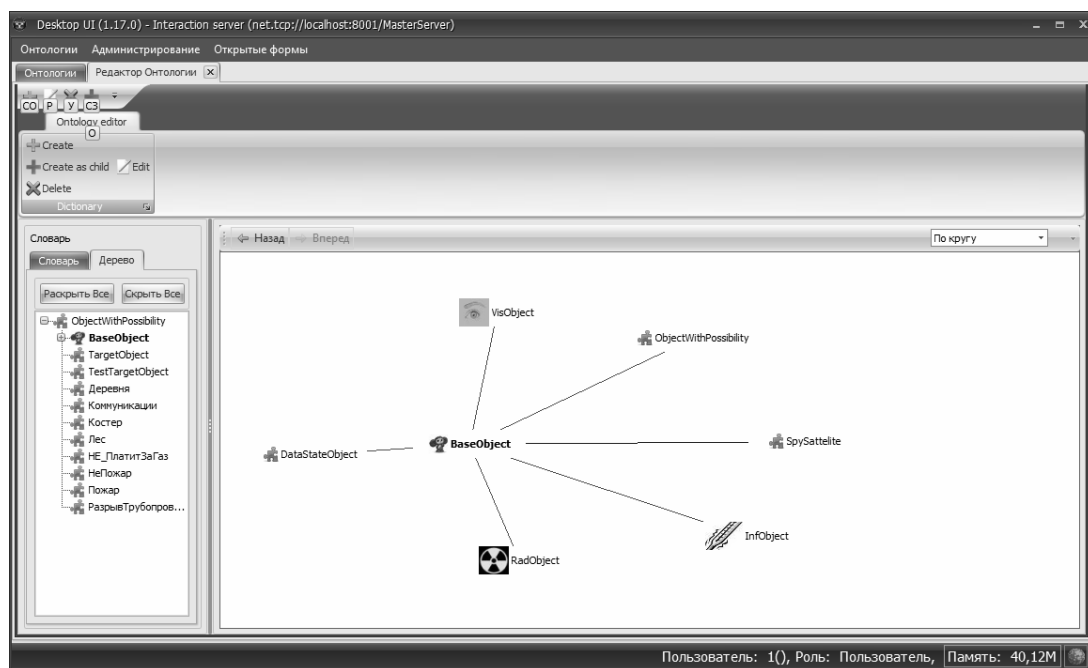


Рисунок 4 – Окно редактора онтологии МАС ДЗЗ

В левой части экрана представлена иерархия понятий предметной области в виде дерева концептов. В правой части экрана онтология представлена в виде семантической сети, где узлы отображают концепты, а ребра – отношения между концептами. Редактор онтологий выполняет следующие функции:

- добавление/удаление концептов,
- добавление/удаление отношений,
- добавление целей и правил их распознавания.

Общий вид системы моделирования МАС ДЗЗ/СЗЗ представлен на рисунке 5. Система моделирования предназначена для создания и редактирования сцен на основе онтологии, а также для моделирования процесса слежения за целью с использованием заданной сцены.

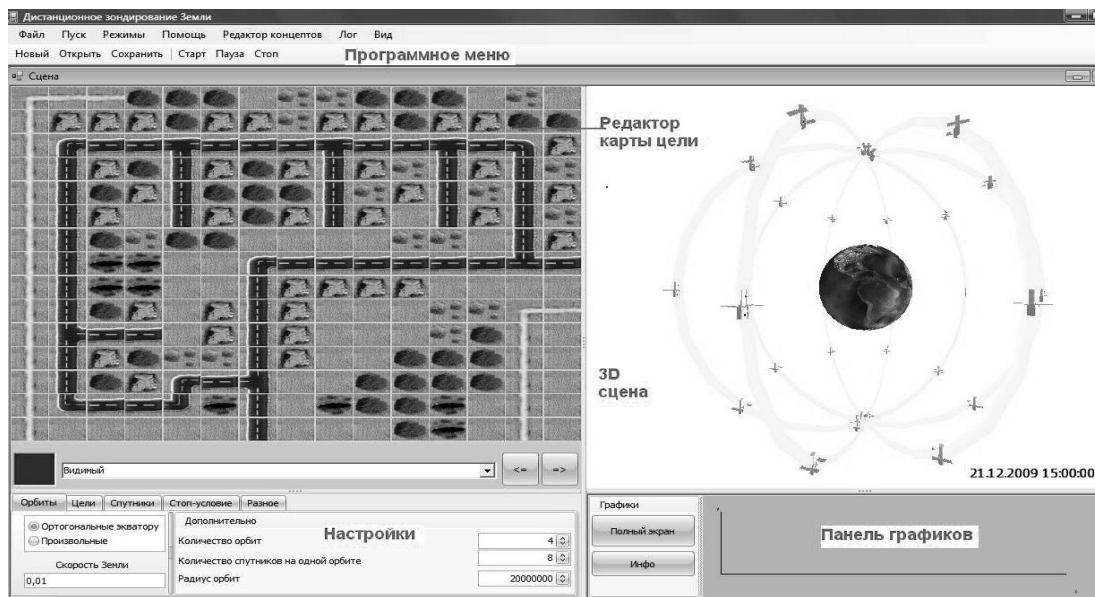


Рисунок 5 – Основной экран системы моделирования МАС ДЗЗ

5 Пример сцены, соответствующей задаче ДЗЗ «Обнаружение горящего объекта»

Для демонстрации мультиагентного подхода, используемого в МАС ДЗЗ, разработаны примеры сцен, соответствующим различным задачам ДЗЗ. Рассмотрим задачу обнаружения горящего дома в деревне. В онтологии определен следующий набор концептов:

- для видимого спектра – дерево, дом, отсутствие изображения;
- для инфракрасного спектра – высокая и низкая температура;
- для радиационного спектра – высокий и низкий уровень излучения.
- На базе этих концептов построим новые концепты:
- деревня – любой дом, имеющий рядом другие дома;
- лес – любое дерево, имеющее рядом другие деревья;
- костер – объект с высокой температурой и низкой радиацией.

В качестве целевого объекта выберем костер рядом с деревней и лесом (это может быть горящий дом). Онтология цели изображена на рисунке 6.

ЦОД выдает команду исследовать некоторый район на предмет обнаружения горящего дома в деревне.

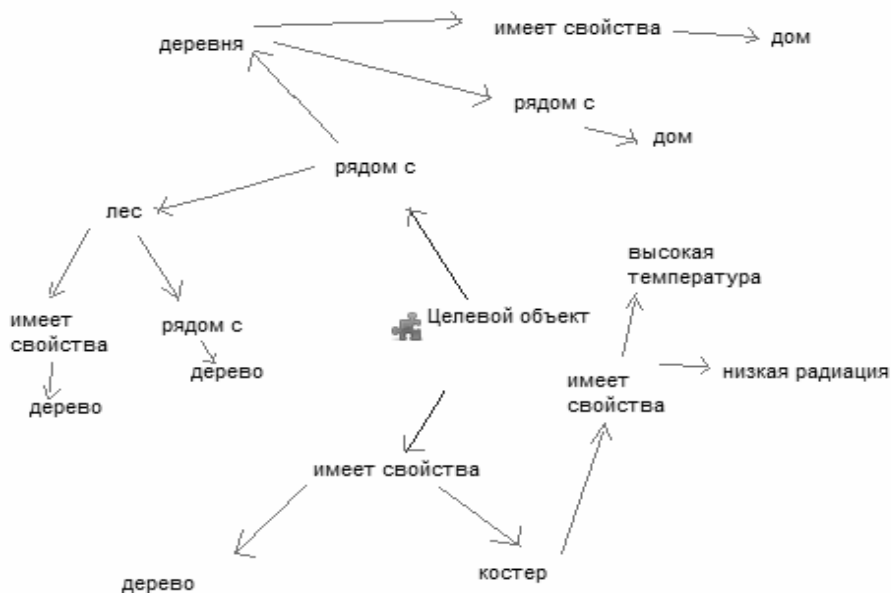


Рисунок 6 – Онтология цели: цель – костер рядом с деревней и лесом

Пусть первоначально ставится задача исследования в видимом спектре. Спутник Sat31, имеющий аппаратуру наблюдения в видимом спектре, приступает к выполнению задания, последовательно проверяя квадрат за квадратом, и на определенном этапе поиска отправляет информационное сообщение: «Начинаю исследование квадрата (8,3)». В указанном квадрате спутник обнаружил в видимом спектре объект «Дом». Но, согласно онтологическому описанию, указанный квадрат необходимо исследовать еще на предмет обнаружения горящего объекта. Спутник Sat31 не имеет соответствующей аппаратуры и передает задание всем видимым ему спутникам, работающим в инфракрасном спектре: «Все, кто свободен, проведите исследование квадрата (8,3) в инфракрасном спектре». Задание принимает спутник Sat21, который не обнаруживает повышенной температуры в квадрате (8,3), о чем передает сообщение спутнику Sat31: «В квадрате (8,3) опасный объект в инфракрасном спектре не обнаружен». Согласно онтологическому описанию, все необходимые исследования квадрата (8,3) выполнены, объект обнаружен, но он не горит. Спутник Sat31 отправляет в ЦОД сообщение: «Квадрат (8,3) безопасен».

В онтологии можно изменить цель исследования так, чтобы исследование начал спутник инфракрасного спектра. Спутник Sat19, имеющий аппаратуру наблюдения в инфракрасном спектре, приступает к выполнению задания, последовательно проверяя квадрат за квадратом, и на определенном этапе поиска отправляет информационное сообщение: «Начинаю исследование квадрата (5,6)». В указанном квадрате спутник обнаружил объект с повышенной температурой и отправил информационное сообщение: «Обнаружен опасный объект в инфракрасном спектре». Согласно онтологическому описанию, необходимо исследовать, не дом ли горит в указанном квадрате. Спутник Sat19 не имеет соответствующей аппаратуры и передает задание всем видимым ему спутникам, работающим в видимом спектре: «Все, кто свободен, проведите исследование квадрата (5,6) в видимом спектре». Задание принимают спутники Sat32, Sat3 и Sat4, которые обнаруживают дом в квадрате (5,6), о чем передают сообщения спутнику Sat19: «В квадрате (5,6) опасный объект обнаружен в видимом спектре».

Согласно онтологическому описанию, все необходимые исследования квадрата (5,6) выполнены, обнаружен горящий дом. Спутник Sat19 отправляет в ЦОД сообщение: «Опасность в квадрате (5,6)».

Заключение

Описанный в данной статье мультиагентный подход к динамическому управлению распределением ресурсов в реальном времени для решения задачи ДЗЗ позволяет сократить время на согласование решений с единым центром обработки данных и активно использовать базы знаний (онтологии) для дистанционного зондирования Земли.

Получены следующие результаты:

- 1) Рассмотрена задача коллективного управления группировкой спутников для ДЗЗ как пример характерной задачи управления подвижными объектами в реальном времени, имеющей высокую неопределенность, сложность и динамику.
- 2) Разработан мультиагентный подход и основы метода решения задачи динамического согласованного планирования и управления коллективом подвижных объектов на примере ДЗЗ. Поставленная задача может быть по-новому решена не традиционным централизованным способом, а распределенным, посредством самоорганизующейся команды взаимодействующих агентов, в частности, спутников.
- 3) Разработаны принципы построения и функционирования агентов, а также структуры данных и алгоритмы для реализации предлагаемого метода как в части реакции на события и построения планов, так и их исполнения и корректировки в реальном времени. Разработана структура онтологии предметной области, необходимая для принятия согласованных решений в ходе планирования поведения коллектива агентов в рассматриваемой задаче ДЗЗ.

Данные исследования являются основой разработки нового поколения распределенных интеллектуальных систем коллективного управления подвижными объектами, которые позволят решать принципиально новые задачи согласованной работы и существенно повысить эффективность использования мобильных ресурсов.

Список литературы

- [1] Multi-Agent Real Time Scheduling System for Taxi Companies / Andrey Glaschenko, Anton Ivaschenko, George Rzevski, Petr Skobelev // AAMAS 2009, Budapest, Hungary. – 2009. – p. 29 – 36.
- [2] Андреев В.В., Глащенко А.В., Иващенко А.В., Иноземцев С.В., Скобелев П.О., Швейкин П.К. Мультиагентные системы адаптивного планирования мобильных ресурсов в реальном времени / в сб. трудов четвертой международной конференции по проблемам управления – М.: Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, 2009. – с. 1534 – 1542.
- [3] Скобелев П.О., Соллогуб А.В., Иващенко А.В., Симонова Е.В., Степанов М.Е., Царев А.В. Мультиагентная система для исследования методов взаимодействия космических аппаратов дистанционного зондирования Земли // Избранные труды Международной конференции «Перспективные информационные технологии для авиации и космоса» (ПИТ-2010). – Самара: СГАУ, 2010. – с. 226 – 230
- [4] Скобелев П.О., Соллогуб А.В., Иващенко А.В., Симонова Е.В., Степанов М.Е., Царев А.В. Решение задач дистанционного зондирования земли с применением мультиагентных технологий / Вестник Самарского государственного технического университета, 2010. – №7 (28). – с. 47 – 54
- [5] Соллогуб А.В., Аншаков Г.П., Данилов В.В. Космические аппараты систем зондирования поверхности Земли – М.: Машиностроение, 1993. – 367 с.
- [6] Козлов Д.И., Соллогуб А.В. и др. Управление космическими аппаратами зондирования Земли. – М.: Машиностроение, 1998. – 366 с.
- [7] Кирилин А.Н., Ахметов Р.Н., Соллогуб А.В. Проблемы создания корпоративных баз знаний для разработки изделий РКТ. – М.: «Полёт», 2008, №8. – с. 71 – 78.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ СОГЛАСОВАННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПО ПЛАНИРОВАНИЮ ГРУЗОПОТОКА МЕЖДУНАРОДНОЙ КОСМИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ С ПОМОЩЬЮ МУЛЬТИАГЕНТНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

А.Р. Диязитдинова¹, А.В. Иващенко¹, И.И. Литвинов¹, А.Л. Новиков¹, П.О. Скобелев¹,
М.В. Сычева², И.И. Хамиц²

¹НПК «Разумные решения»
443080, Самара, ул. Санфириковой, 95 «А», Россия
ivashenko@smartsolutions-123.ru
тел/факс: +7 (846) 222-91-72, 222-91-73

²ОАО РКК «Энергия»
141070, Королев, Московская область, ул. Ленина, 4-а, Россия

Ключевые слова: планирование грузопотока, программа полета, МКС, распределение ресурсов, динамическое планирование, согласованное взаимодействие, мультиагентная технология, онтология

Abstract

This paper describes the implementation of multi-agent approach to schedule flight program, cargo flow, fuel, water and other resources of International Space Station. The described scheduling system was aimed to provide cooperative interaction of analysts and engineers who assure International Space Station life support.

Введение

Международная космическая станция (МКС) представляет собой уникальный инновационный научно-технический и инженерный проект. Поддержание жизнедеятельности МКС и ее эффективное функционирование с учетом необходимости обеспечения существующей замкнутой системы жизнеобеспечения напрямую зависит от успешного решения задачи планирования грузопотока. Данная задача включает в себя ряд взаимосвязанных и взаимозависимых подзадач (таких как доставка лабораторного оборудования, различных материалов и инструментов; возврат результатов экспериментов; пополнение запасов воды и продовольствия для космонавтов; эвакуация продуктов жизнедеятельности космонавтов и пр.), что накладывает дополнительные условия и ограничения на задачу планирования грузопотока.

Для решения этой задачи в 2010 году была предложена концепция мультиагентного планирования грузопотока [1], позволяющая учитывать специфику процесса планирования грузов и повысить эффективность собственно процесса принятия решения за счет внесения элементов самоорганизации. Реализация интерактивной автоматизированной системы построения программы полета, грузопотока и расчета ресурсов МКС [2, 3] на основе мультиагентной платформы, разработанной НПК «Разумные решения» [4] позволила повысить качество разрабатываемых решений за счет возможности анализа разных вариантов грузопотока (например, для нештатных ситуаций) и обеспечить требуемую оперативность проектных решений.

Инструментом информационной поддержки принятия решений выступают онтологии, используемые для формальной спецификации понятий и отношений, характеризующих предметную область. Такой подход позволяет справляться с растущей сложностью данной задачи и высокой динамикой изменений, связанной как с непредсказуемым появлением новых срочных потребностей в доставке грузов, переносом стартов, расширением номенклатуры объектов грузов, так и другими событиями.

В данной статье приводится описание механизма обеспечения согласованного взаимодействия проектантов при планировании грузопотока на базе виртуального «круглого стола», а также описание процесса переговоров.

1 Особенности планирования грузопотока для МКС

Планирование грузопотока подразумевает, прежде всего, динамическое планирование в реальном времени транспортировку различных типов грузов на МКС, их размещение и возврат или утилизацию. Сложность поставленной задачи обусловлена рядом особенностей проблемной области, которые предъявляют дополнительные требования:

- ограниченная грузоподъемность собственно космического аппарата и замкнутый объем самой станции;
- личные предпочтения космонавтов;
- рост интенсивности запусков космических кораблей;
- необходимость учета экономической целесообразности доставки конкретных типов грузов;
- растущие потребности станции, что вызывает рост числа планируемых к доставке грузов;
- разнородность перевозимых грузов по весу, по габаритам, необходимость соблюдения температурных режимов и т.п.;
- необходимость учета индивидуальных особенностей каждой единицы груза;
- наличие жестко регламентированных правил и ограничений по временным параметрам (таким как сроки доставки, сроки старта, сроки возврата и т.п.);
- значительное число непредвиденных событий, приводящих к необходимости пересмотра всего плана грузоперевозок (перенос даты старта корабля, внештатный выход в космос, изменение планов проведения экспериментов и т.п.).

Согласно существующим регламентам, отдельные стадии задачи планирования программы полета и грузопотока курируются ответственным лицом. Наличие значительного числа участников процесса планирования, имеющих собственные цели и критерии, зачастую противоречащих друг другу, также усложняет поставленную задачу.

В подобных условиях использование классических методов и приемов оптимизации при планировании грузопотока зачастую оказывается весьма «тяжеловесным» и затратным способом. Для решения поставленной задачи предлагается использование мультиагентной технологии, которая позволяет учитывать все вышеуказанные особенности. Согласно данному подходу, каждому грузу и космическому кораблю присваивается программный агент, который, действуя по поручению и от лица каждого груза, корабля и/или его владельца, договаривается с другими агентами и планирует оптимальную доставку груза на конкретном полете «точно-в-срок».

Характеристикой данного подхода является возможность планирования грузопотока на базе функционирования динамически формируемой сети потребностей и возможностей ресурсов МКС, конфигурация (временное равновесие) агентов которой в любой момент может изменяться под действием внешних или внутренних событий, сведения о которых поступают от ЦУП. Данный подход способен обеспечить поддержку коллективного согласования и принятия решений в реальном времени на различных этапах планирования и исполнения плана по запуску на орбиту грузов в различных подразделениях, работающих совместно над решением общих задач.

2 Поддержка принятия согласованных решений на основе мультиагентного подхода

Согласно мультиагентному подходу [5] решение строится через согласованное взаимодействие асинхронно и параллельно работающих небольших автономных программ, действующих в интересах своих владельцев, но всегда способных на уступки ради достижения общей поставленной цели.

В основе разработанной мультиагентной системы лежит архитектурная концепция постоянно действующего «виртуального круглого стола» агентов, которые участвуют в переговорах. Методология «круглого стола» подхода заключается в обеспечении активного взаимодействия лиц, принимающих решение – участников круглого стола, основанного на использовании единого понятийного аппарата и организованного в едином информационном пространстве. Целью «круглого стола» является выявление спектра мнений по поставленной задаче с разных точек зрения и поиск какого-либо коллегиального решения, в той или иной мере удовлетворяющего все стороны.

Задача динамического планирования сформулирована как задача поиска и поддержания баланса интересов различных ответственных служб, подсистем корабля и отдельных грузов. На рисунке 1 показана упрощенная схема взаимодействия агентов в процессе формирования программы полета, грузопотока и планирования возврата грузов. За каждым из этих агентов стоит пользователь, принимающий решения в ручном режиме, или находится целая подсистема планирования, автоматически вырабатывающая решения для согласования с другими агентами.



Рисунок 1 – Взаимодействие агентов в виртуальном «круглом столе»

Упрощенно хронологию планирования грузопотока можно представить как последовательность трех этапов: формирование программы полета, планирование грузопотока и разработку плана возврата грузов. Все указанные этапы взаимозависимы: при внесении изменений на каком-либо этапе должны быть проведены корректировки всех последующих этапов. Примером таких влияющих внешних воздействий могут послужить данные о солнечной активности, положение Станции на орбите, график выполнения научных экспериментов и пр. (см. рисунок 1), часть из которых подлежит прогнозированию, часть – носят стохастический характер. Помимо учета внешних факторов, у каждого из участников существуют свои собственные интересы и ограничения: этот груз постоянно ищет себе лучший вариант размещения на космическом корабле, а космический полет – наилучшую загрузку, удобные сроки и т.п. Получая

предложения от разных полетов (возможностей), заявка на доставку груза (потребность) решает, какой из имеющихся полетов подходит ему лучше всего. Но, с другой стороны, и сам полет (возможность) получает предложения от разных грузов (потребностей) на перевозку и решает, какие именно из грузов для него являются более предпочтительными.

Эти решения не являются один раз и навсегда принятыми, они могут пересматриваться и изменяться по мере того, как меняется ситуация и возникают события в реальном времени. При этом установление новых связей между агентами вызывает изменение условий функционирования для других агентов, и, тем самым, определяет процесс самоорганизации системы, приводящей к перестройке расписания в ответ на возникающие события. Результат считается достигнутым и система завершает свою работу в том случае, когда ни у одного агента нет больше возможностей улучшить свое состояние.

Конфликты, порождаемые событиями (например, приход нового срочного приоритетного груза, для которого в текущем грузопотоке нет места), могут разрешаться агентами заказов и ресурсов путем переговоров и взаимных уступок, направленных на достижение приемлемых для всех компромиссов. Разрешение конфликта может вызывать целую цепочку операций перепланирования (включая переход заказов (грузов) на другой ресурс (полет), сдвигу заказов вправо или влево по шкале времени, обмен заказами между ресурсами и т.д.), глубина которой может быть ограничена допустимым временем ответа или другими факторами. В то же время, если имеется запас времени, решение о выделении ресурса или сформированное расписание использования ресурса может подвергаться непрерывной, в том числе, и классической оптимизации. Постоянная активность всех агентов сети, причем как со стороны потребностей, так и возможностей, вызывает многосторонние переговоры в системе, идущие асинхронно и квазипараллельно. Таким образом, реализуется способность системы оперативно реагировать на заранее непредвиденные события.

За счет представления задачи в форме, близкой к естественной, логика принятия решений системы становится более понятной как для программистов, так и пользователей, что позволяет встраивать большее число эвристик без увеличения сложности кода и уменьшает общее время разработки системы, а также делает результаты системы доступными и прозрачными для понимания пользователем.

3 Пример мультиагентного подхода при планировании грузопотока

Рассмотрим пример реализации мультиагентного подхода при планировании грузопотока (см. Рисунок 2). Дан план грузопотока для трех прогрессов. Размещаемые грузы различаются по приоритетности, вес груза также известен. В качестве ограничений выступают:

- 1) грузоподъемность космического корабля;
- 2) типы перевозимых грузов, их минимально/максимально допустимое количество к доставке на Станцию;
- 3) приоритеты грузов при доставке;
- 4) даты возможной доставки грузов.

На первом такте получен план грузопотока, устраивающий все три прогресса и все типы грузов. Предположим, поступило сообщение о необходимости срочной доставки научного груза весом в 370 кг. В случае размещения груза на первом прогрессе суммарный итог будет превышать грузоподъемность космического корабля. Поэтому агенты грузов начинают переговоры о возможном размещении, которое бы устраивало всех действующих участников.

Как видно из такта 2, второй груз переместится с первого прогресса во второй; часть четвертого груза перейдет во второй и третий прогрессы. Окончательный план грузопотока, полученный в результате переговоров, показан на третьем такте.

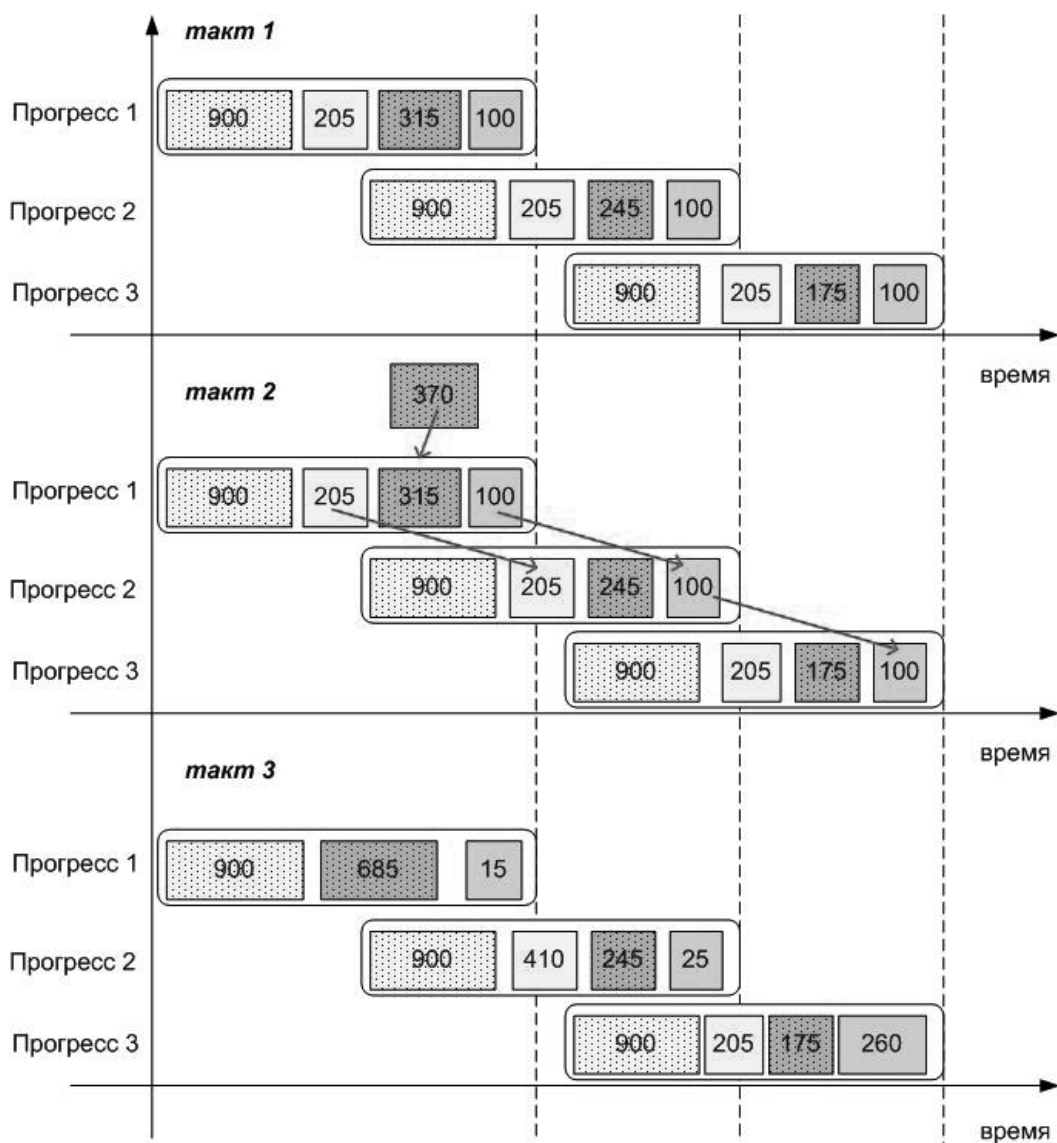


Рисунок 2 – Этапы переговоров

5 Функциональность мультиагентной системы планирования грузопотока

Экранная форма подсистемы планирования грузопотока представлена на рисунке 3. В верхней части экрана представлен план грузопотока (соответствует такту 1 рассмотренного выше примера). Крайние правые колонки соответствуют космическим кораблям программы полета с указанием количества планируемого к доставке груза. В нижней части в табличном и графическом виде показана степень «загрузки» космического корабля.

Рисунок 4 – Рисунок 5 соответствуют 2 и 3 тактам рассмотренного примера. Подсветкой показаны изменения, которые произошли в результате переговоров: красным цветом показаны ячейки, где количество заявленных грузов меньше, чем запланированное, а желтым – где количество запланированных грузов больше, чем заявлено.

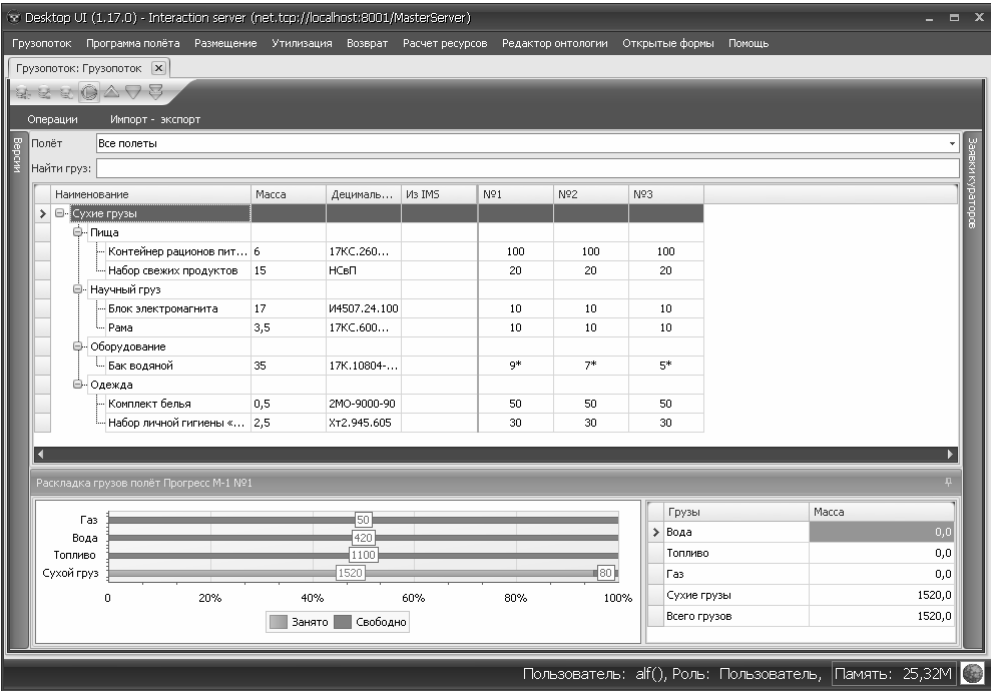


Рисунок 3 – Первоначальный план грузопотока

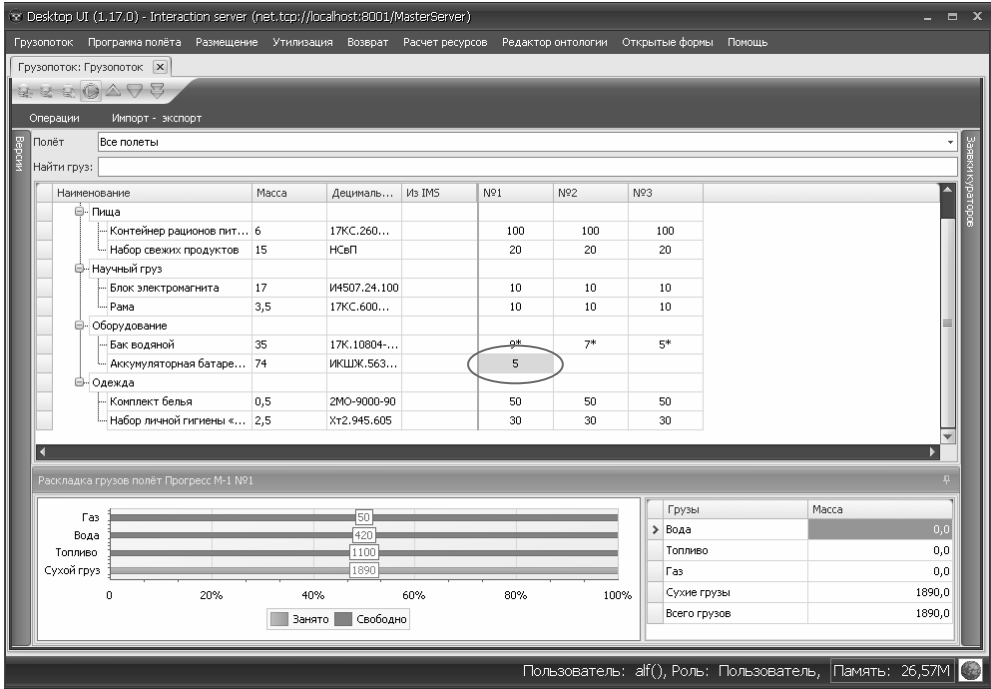


Рисунок 4 – Ввод нового груза для размещения на первом транспортном корабле (Прогрессе)

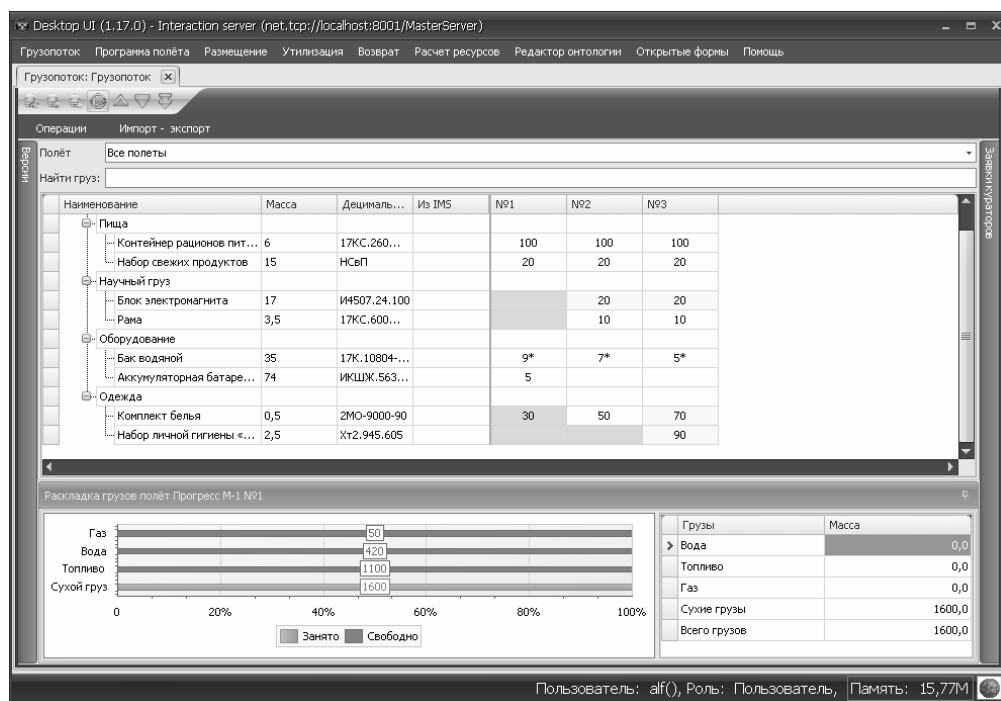


Рисунок 5 – Окончательный план грузопотока

На рисунке 6 представлены переговоры агентов в процессе корректировки плана грузопотока.

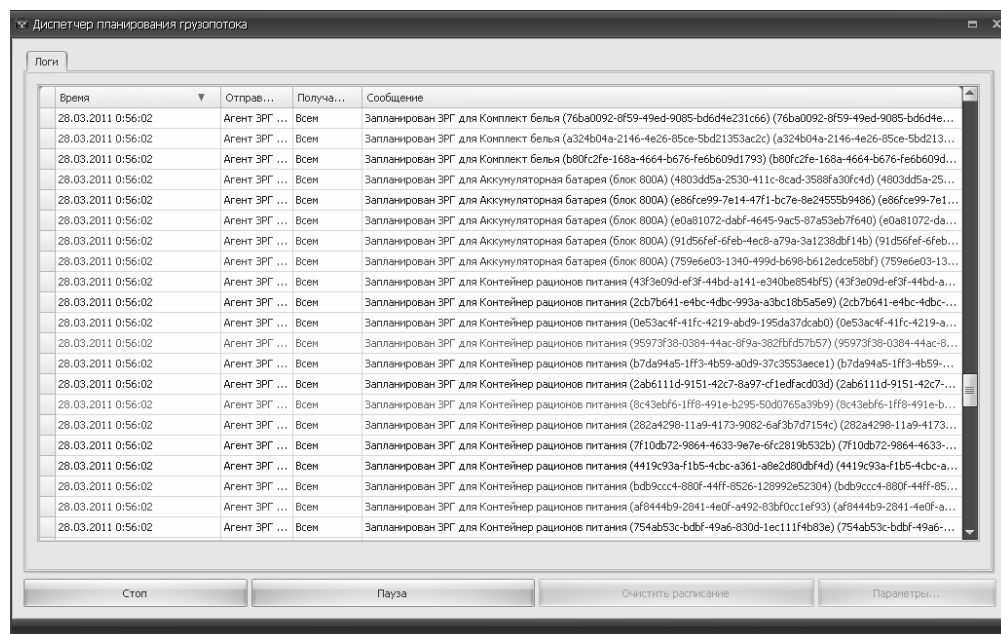


Рисунок 6 – Переговоры агентов о размещении грузов

Заключение

Описанный в статье способ обеспечения согласованного взаимодействия по планированию грузопотока для МКС на базе мультиагентных технологий способствует получению consistente плана доставки грузов на станцию с максимально возможным удовлетворением интересов всех участников переговоров.

Благодаря использованию мультиагентного подхода обеспечивается анализ альтернативных вариантов грузопотока, что позволяет проводить его оптимизацию. В перспективе данный подход может быть использован для создания адаптивной сети динамических планировщиков, что позволит обеспечивать поддержку и принятие коллективных решений в реальном времени.

Список литературы

- [1] Диязитдинова А.Р., Иващенко А.В., Симонова Е.В., Скобелев П.О., Сычева М.В., Хамиц И.И., Царев А.В. Концепция мультиагентной системы интерактивного построения программы полета и планирования грузопотока Международной космической станции // Проблемы управления и моделирования в сложных системах: Труды XII Международной конференции (21-23 июня 2010 г. Самара, Россия) / Под ред.: акад. Е.А.Федосова, акад. Н.А. Кузнецова, проф. В.А. Виттиха. – Самара: Самарский научный центр РАН, 2010. – с. 686 – 694
- [2] Иващенко А.В., Леонтьев А.В., Диязитдинова А.Р., Скобелев П.О., Сычева М.В., Хамиц И.И. Мультиагентная подсистема планирования грузопотока Международной космической станции // Избранные труды Международной конференции «Перспективные информационные технологии для авиации и космоса» (ПИТ-2010). – Самара. – 2010. – с. 93 – 97
- [3] Иващенко А.В., Матвеев К.Ю., Новиков А.Л., Симонова Е.В., Скобелев П.О., Сычева М.В., Хамиц И.И. Мультиагентная подсистема построения программы полета Международной космической станции // Избранные труды Международной конференции «Перспективные информационные технологии для авиации и космоса» (ПИТ-2010). – Самара. – 2010. – с. 98 – 101
- [4] Андреев М.В., Иващенко А.В., Скобелев П.О., Царев А.В. Построение адаптивной системы управления предприятием с использованием мультиагентных технологий // Вестник Самарского государственного технического университета, Серия «Технические науки» № 1 (23), 2009 – с. 5 – 14
- [5] Виттих В.А., Скобелев П.О. Метод сопряженных взаимодействий для управления распределением ресурсов в реальном масштабе времени // Автометрия. – 2009. – № 2. – с. 78 – 87.

МУЛЬТИАГЕНТНОЕ УПРАВЛЕНИЕ РЕСУРСАМИ НА ПРИМЕРЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ДИСПЕТЧЕРСКОЙ РЕМОНТНЫХ БРИГАД

А.Р. Диязитдинова¹, А.В. Ивашенко², С.С. Кожевников¹, В.Б. Ларюхин¹,
Д.С. Очков¹, П.О. Скобелев², А.В. Царев¹

¹НПК «Генезис знаний»

443080, Самара, ул. Санфириковой, 95 «А», Россия

ivashenko@smartsolutions-123.ru

тел/факс: +7 (846) 222-91-72, 222-91-73

²Институт проблем управления сложными системами РАН

443020, Самара, ул. Садовая, 61, Россия

cscmp@iccs.ru

тел/факс: +7 (846) 333-27-70

Ключевые слова: *мобильная бригада, управление ресурсами, мультиагентная технология, аварийно-диспетчерская служба*

Abstract

This article describes an application of multi-agent technology to adaptive scheduling of mobile teams that need to interact via mobile devices in a distributed network while solving every-day service requests to repair gas transportation system.

Введение

В настоящее время в аварийных службах различного назначения крайне актуальной является задача организации эффективной работы единого диспетчерского центра для управления исполнением заявок на проведение ремонтных работ на различных объектах. В терминологии западных компаний даже существует термин Mobile Resource Management (MRM), отражающий направление и проблематику данной области. Мобильное управление ресурсами, или MRM, – это термин, используемый для описания набора технологий, оборудования, программного обеспечения и услуг, предоставляющих решения для любого предприятия, управляющего мобильными ресурсами. MRM как бизнес-решение призвано повысить производительность, сократить расходы, повысить эффективность и может предоставить конкурентное преимущество в широком спектре различных отраслей.

При решении задачи управления мобильными ресурсами необходимо обеспечить:

- выполнение нормативных требований по времени реакции на поступление заявок (вызовов);
- контроль деятельности аварийных бригад со стороны диспетчера и руководства службы;
- повышение эффективности обработки заявок бригадами и использование самых современных подходов к организации деятельности службы.

Сама задача управления мобильными ресурсами должна включать в себя, помимо функций слежения за флотом в режиме реального времени и ведения статистики по показателям деятельности (например, расход топлива), инструмент планирования и распределения заказов по мобильным бригадам, учитывающий различные критерии эффективности (такие как, загруженность бригады, сложность заявки, срочность исполнения и т.п.).

Сложность данной работы заключается в необходимости координирования ремонтных бригад, учете специфики каждой бригады, учете маршрутно-транспортной ситуации при на-

значении бригады на аварийный объект, учете большого количества аварийных заявок имеющих разные критерии и приоритеты исполнения.

Все вышеперечисленные особенности накладывают дополнительные ограничения и требуют использования специального инструментария. В качестве возможного механизма может быть применена мультиагентная технология, позволяющая учитывать как специфику процесса планирования заявок, так и повысить эффективность работы диспетчерской за счет внесения элементов самоорганизации.

В статье рассматривается мультиагентное решение для управления ресурсами на примере автоматизированной диспетчерской ремонтных бригад. Приводится общее описание работы системы, дается описание архитектуры разработанного решения, а также рассматривается пользовательский интерфейс.

1 Постановка задачи

Под мобильной бригадой в данной статье будем понимать любой мобильный ресурс, способный выполнять определенные задачи, в частности: мобильные бригады ремонтных служб (Горгаз, Водоканал, дорожные службы и др.), мобильные бригады службы скорой помощи, полиции, мобильные бригады доставки товара и другие. Мобильная бригада обладает свойством автономности, может выполнять определенный род и виды работ, конкурирует с другими бригадами за выполнение заявки. Успешное функционирование бригады определяется её мобильностью, быстрым реагированием на ситуации различной сложности, полной технической оснащённостью, наличием средств связи.

В управлении мобильными ресурсами можно выделить ряд аспектов, которые показывают специфику данной области и каждый из которых, по сути, представляет собой отдельную задачу:

- для слаженной работы мобильных бригад необходима диспетчеризация;
- формирование плана выполнения заявок и его оптимизация (с учетом многокритериальности);
- организация связи и интерактивного взаимодействия с бригадами (определение местонахождения в режиме реального времени, специализация бригады);
- неравномерность поступления событий (новые заявки, поломка и выход из строя ресурсов) и т.п.

В настоящее время в большинстве случаев планирование мобильных ресурсов, параллельно с функцией мониторинга, осуществляется диспетчерами в ручном режиме, что не позволяет наладить эффективную работу, а при увеличении числа заявок и критериев планирования требует значительных трудозатрат.

Таким образом, возникает нетривиальная задача по созданию комплексного решения для управления пространственно распределенными ресурсами в реальном времени. В подобных условиях использование «академических» методов и приемов при планировании зачастую оказывается весьма «тяжеловесным» способом. Для решения поставленной задачи предлагается использование мультиагентной технологии.

При этом предполагается, что автоматизируемая система берет на себя «рекомендательные» функции, предоставляя возможные варианты построения плана диспетчеру и оставляя за ним право окончательного принятия решений.

2 Предлагаемое решение на базе мультиагентных технологий

Предлагаемое решение базируется на принципах мультиагентных технологий. В качестве объекта исследования рассматривается центральная аварийно-диспетчерская служба (АДС), ответственная за прием заявок от потребителей и управление мобильными бригадами.

Назначение разрабатываемой системы состоит в автоматизации подбора ресурсов при поступлении новых заявок, планировании рабочего расписания и оперативное управление ресурсами, что необходимо для обеспечения своевременной и быстрой реакции на события (например: на поступление новой заявки, поломка ремонтного автомобиля, болезнь либо иные причины отсутствия рабочего).

Основными функциональными требованиями к системе являются:

- регистрация, оперативная обработка и учет заявок;
- получение актуальной информации о местоположении и состоянии (статусе) мобильной бригады;
- распределение заявок между бригадами в зависимости от многих критериев (срочность исполнения заявки, специализация бригады, оснащение бригады, удаленность от места аварии, предполагаемое время окончания выполнения предыдущей заявки и пр.);
- осуществление диспетчерского мониторинга;
- интеграция с существующими системами;
- мониторинг и анализ работы «полевых» бригад;
- формирование отчетности.

Общая концепция решения состоит в создании единого информационного пространства для взаимодействия всех сотрудников Аварийной службы (см. Рисунок 1).

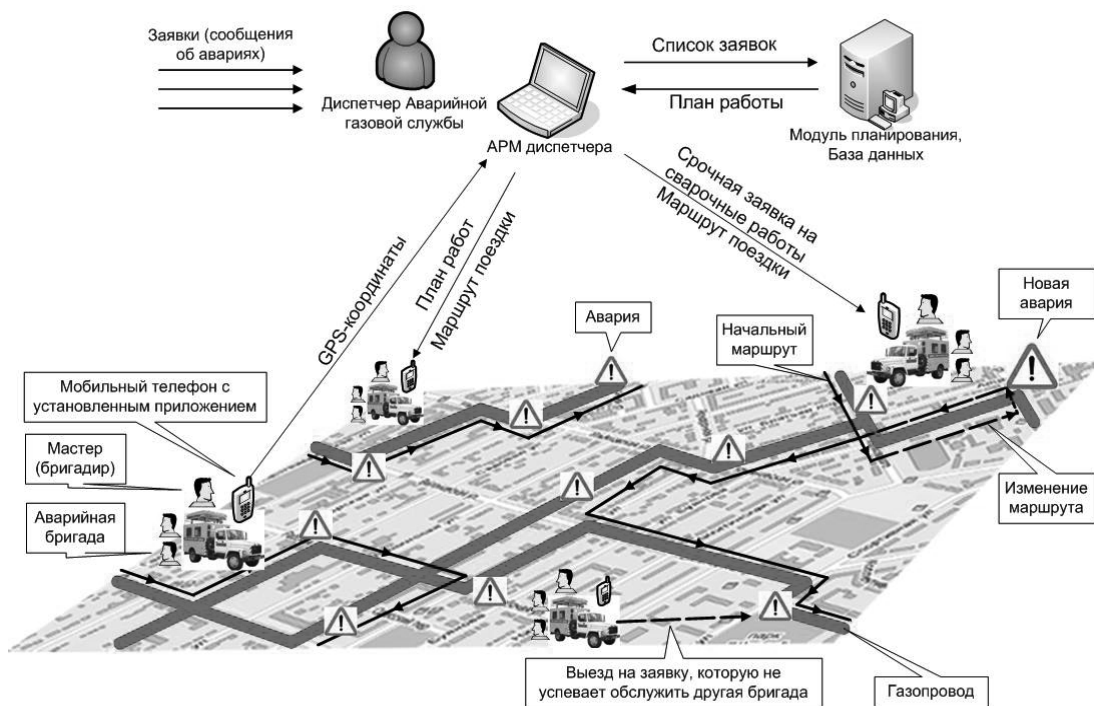


Рисунок 1 – Схема работы системы

Диспетчер осуществляет мониторинг доступности мобильных бригад. При поступлении новой заявки через call-центр диспетчер через АРМ регистрирует сведения заявки (адрес происшествия, тип аварии и пр.). Затем эти данные поступают в модуль планирования, где, на основании как данных аварийной заявки, так и сведений о статусе имеющихся в распоряжении бригад, автоматически определяется приоритет заявки, срочность и сложность требуемых

работ, а также составляется план исполнения заявки (т.е. определяется, какие ресурсы и в какое время необходимо и возможно привлечь для решения проблемы).

В основу системы положены следующие принципы:

1) Организация взаимодействия.

Общение бригад и диспетчеров производится в режиме реального времени. Бригады получают маршрут, описание проблемы, отмечают выполнение задач и сообщают о происходящих в процессе работы событиях с помощью специального приложения в сотовом телефоне мастера или бригадира. Кроме сообщений о начале, завершении работ и нахождении в пути, система позволяет отправлять и обрабатывать такие сообщения как «ремонт потребует 2 часа», или «закончим через полчаса», что позволяет производить оперативную корректировку плана и вести постоянно развивающуюся базу знаний о выполнении типовых работ.

2) Оптимальное планирование и использование ресурсов.

Мультиагентная платформа системы обеспечивает интеллектуальную обработку входящих сообщений о событиях в реальном времени и наилучшее планирование работы аварийных бригад. При этом учитываются такие параметры, как необходимый горизонт планирования, приоритеты каждой заявки по сравнению с остальными, оптимальность маршрутов перемещений бригад и требования по нормативам времени появления на месте аварии что позволит оптимизировать затраты не только времени, но и бензина.

При поступлении срочных заявок на выполнение ремонтных работ их планирование и назначение исполнителей осуществляется в зависимости от фактического местоположения бригады (для выбора ближайшей), квалификации ее состава и списка имеющегося оборудования. Такой подход позволит укладываться в необходимые нормативы по времени реакции на возникновение аварии, сохраняя при этом первостепенность приоритета вызова (см. Рисунок 2).

Составленный системой начальный план и любые его изменения будут доступны для ручной корректировки и утверждения диспетчером. В случае внесения ручных корректировок в план работ, система производит автоматическую корректировку всех связанных друг с другом задач, что существенно экономит время, которое бы потребовалось на ручную перестройку всего плана (функция «умного ручного перепланирования»).

Одной из особенностей мультиагентного подхода к планированию является возможность генерации различных вариантов планов, в достаточной степени удовлетворяющих всем необходимым условиям, и выбирать из них наиболее предпочтительный, балансируя между разными критериями (качество, время, стоимость, риски и т.д.).

Таким образом, система автоматизирует преобразование стратегического плана, включающего в себя общий перечень, суть и характеристики задач, критерии эффективной работы, в операционный, содержащий данные о распределении задач и формировании маршрутов.

3) Обеспечение мониторинга и контроля.

Текущее положение каждой бригады и ее движение по маршруту будет контролироваться с помощью GPS-брелка, имеющего возможность передавать свои координаты в приложение на сотовом телефоне мастера (бригадира), откуда данные будут поступать в АРМ диспетчера и отражаться на карте. Отображение информации о ходе выполнения всех текущих работ, затраченного на каждую задачу времени и расхождений плана и факта позволит существенно повысить качество оперативного руководства.

4) Использование базы знаний.

Для описания, накопления, хранения и использования всей необходимой для работы службы информации используется база знаний, в которой содержится описание конфигурации газопровода в привязке к карте контролируемой местности, ресурсов системы (слесарей, машин, оборудования) и их характеристик, адресных данных потребителей, установленного у потребителей оборудования, типов аварий, ориентировочных норм времени на выполнение различного рода работ и т.п.

5) Принцип открытой архитектуры.

Архитектура системы является открытой для расширения и позволяет обеспечить ее интеграцию с любыми существующими системами предприятия (бухгалтерские системы, ГИС, выдача нарядов и т.д.).

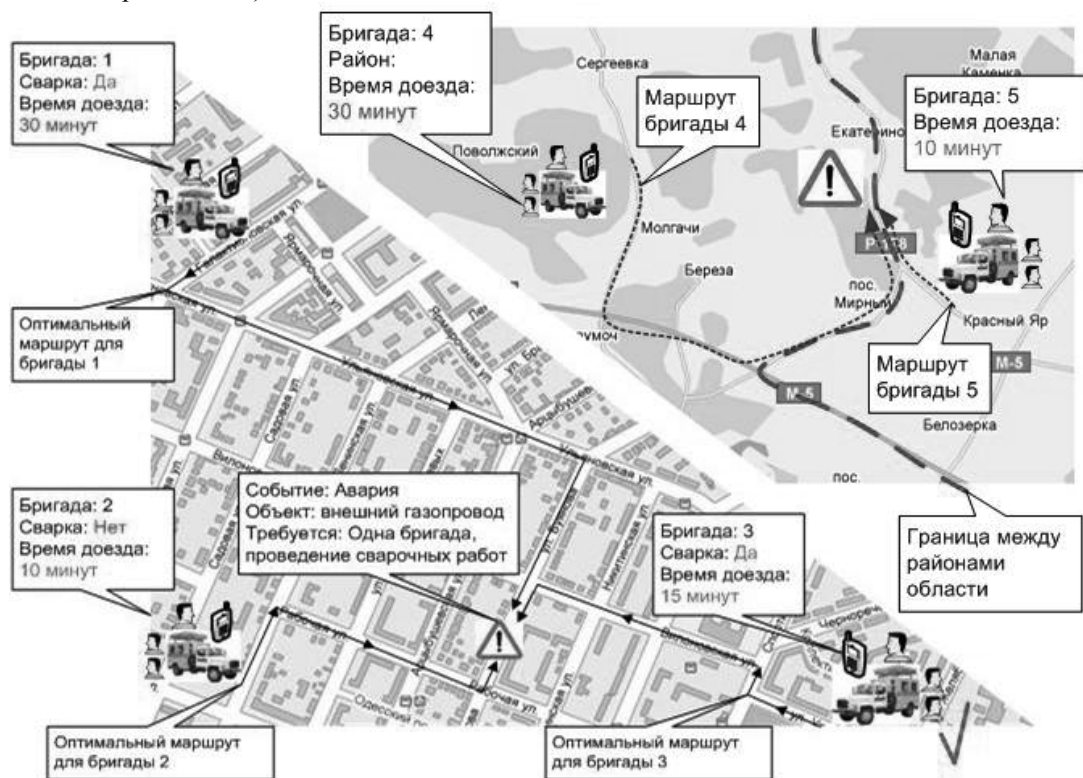


Рисунок 2 – Оптимизация маршрутов и выбор ресурсов

3 Архитектура системы

Логическая архитектура, отображающая состав системы и связи между ее компонентами, представлена ниже. Архитектура системы включает в себя три основных компонента.

Клиентская часть представляет собой приложение, устанавливаемое на АРМ диспетчера. Позволяет принимать заявки и, получив возможные варианты от модуля планирования (Модуль Planner), назначать ресурс на выполнение аварийной заявки. Также позволяет вести справочники ресурсов. Основными задачами клиентского приложения являются планирование и диспетчеризация ремонтных бригад при выполнении поступающих аварийных заявок в режиме реального времени, а также, взаимодействие бригад с диспетчером.

Серверная часть обеспечивает взаимосвязь и согласованную работу всех модулей системы, состоит из:

- модуль Planner – обеспечивает планирование и подбор оптимальных ресурсов с учетом критериев планирования. Работа данного модуля может быть построена на базе онтологии, где обозначены все основные связи между концептами;
- модуль SQL СУБД – обеспечивает хранение и ведение баз данных системы «Teams»;
- модуль Server – обеспечивает согласованное взаимодействие всех модулей системы, обеспечивает взаимодействие и двухстороннюю интеграцию с внешними модулями, получение

ние данных из БД путем создания обращений с запросами, а также получения при необходимости из сети Интернет картографических данных.

Мобильный клиент устанавливается на мобильное коммуникативное устройство (сотовый телефон, смартфон). Основная задача мобильного клиента сигнализация о событиях и изменения статуса в процессе выполнения заявок.

4 Программная реализация

Разработанная система управления мобильными бригадами «Teams» позволяет решать задачи управления мобильными ресурсами для любой компании, имеющей в штате мобильные бригады. Система может быть востребована и эффективна при обеспечении плановых и аварийных работ, осмотров, ремонтов оборудования, подключения и отключения потребителей, строительных работ, работ по устранению утечек газа и т.п.

Для решения задач информационного сопряжения мобильных бригад с центральной диспетчерской службой транспортные средства мобильных бригад должны быть оснащены специальными мобильными устройствами (сотовый телефон с предустановленным программным обеспечением). Мобильное устройство предоставляет возможность старшему в бригаде изменять статус выполняемых заявок, сигнализировать о начале-завершении работ, а также отмечать свою недоступность при поломке. Помимо этого, каждая единица транспорта оснащена встроенными GPS/Глонасс датчиками, что позволяет осуществлять мониторинг местоположения бригад в реальном времени, проводить диспетчеризацию на карте, распределять заявки, а также обеспечить мобильным бригадам доступ к справочной информации по заявкам непосредственно с места выполнения работ. Ключевым элементом данной системы является модуль планирования позволяющий в режиме реального времени с учетом критериев определенных заказчиком проводить подбор оптимальной бригады для утверждения диспетчером..

В рамках реализации задачи управления мобильными ремонтными бригадами были разработаны следующие экранные формы (см. Рисунок 3 – Рисунок 5).

При поступлении заявки сведения о ней фиксируются и в дальнейшем формируют табличный список заявок для планирования диспетчеру (см. Рисунок).

В рамках системы «Teams» планирование ремонтных бригад может осуществляться как в ручном, так и рекомендательном режиме. В первом случае диспетчер самостоятельно выбирает бригаду из полного списка бригад и назначает на нее выполнение заявки. Во втором случае система предоставляет ранжированный список бригад, на одну из которых диспетчер и осуществляет назначение заявки.

Экранная форма, представленная на рисунке 4, предназначена для осуществления мониторинга текущего местоположения ремонтных бригад, работающих в данный момент, их перемещения, просмотра адресов заявок и аварийных объектов.

Реализация мобильного клиента показана на рисунке 5. Мобильный клиент предназначен как для получения информации о новых заявках от диспетчера бригадиру мобильной бригады, так и для передачи статуса заявки от бригадира диспетчеру (например, «в пути на объект»; «прибыл на место аварии»; «провели работы по устранению» и т.п.).

Система учитывает эти сообщения и отображает в приложении в телефоне данные о том, какие задачи уже выполнены, а какие, и в каком порядке еще предстоит выполнить. В случае оперативного изменения плана все изменения автоматически отображаются в списке задач, что избавляет от необходимости совершения дополнительных звонков и согласований, а также предотвращает риск потери новой информации.

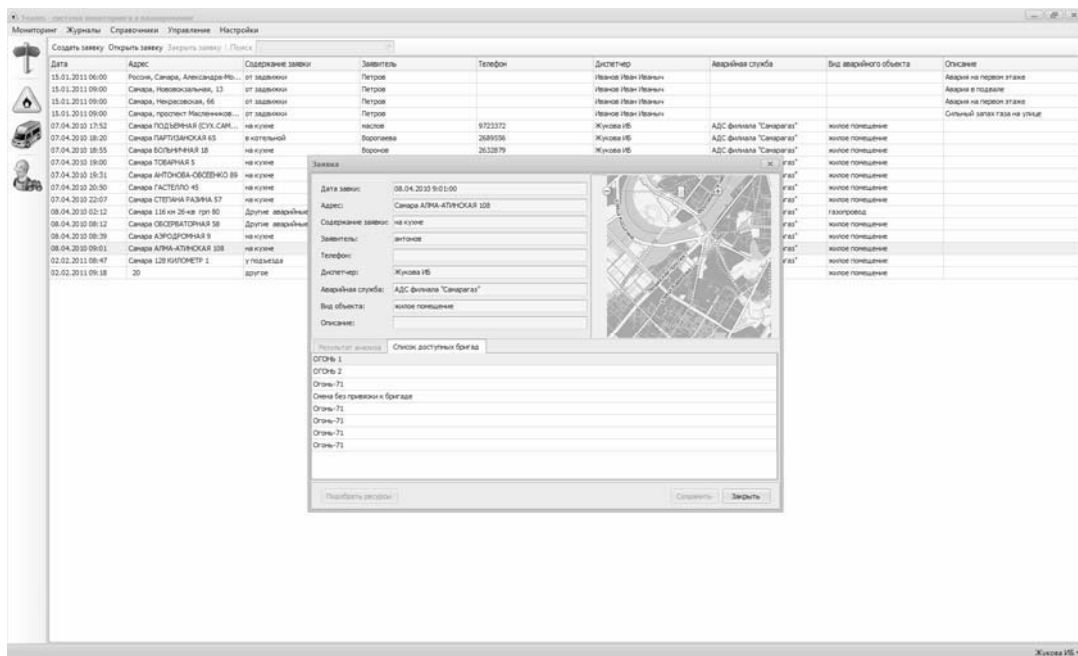


Рисунок 3 – Поступление и регистрация новой заявки



Рисунок 4 – Окно мониторинга и диспетчеризации

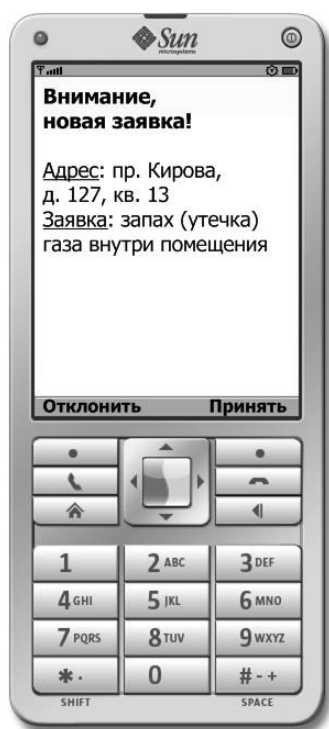


Рисунок 5 – Мобильное устройство

Система, таким образом, фактически «ведет» бригаду от объекта к объекту, постоянно получая информацию о состоянии и этапе выполнения работ.

В качестве перспективных возможностей по развитию системы и включению дополнительных модулей можно назвать применение устройств трэкинга, учета пройденного расстояния и расхода топлива, программные изменения по логике планирования исходя из опыта и знаний накопленных системой или специфики предметной области, а также взаимодействие с web-ресурсами и сервисами, например online пробки.

В целом интерактивная работа системы и диспетчера позволит обеспечить решение всех задач управления исходя из определенных критериев эффективности с возможностью реакции и оптимизации плана в режиме реального времени, что позволит мобильным бригадам быть более продуктивными, и будет способствовать повышению прибыльности и конкурентоспособности компании в целом.

Заключение

Использование системы должно обеспечить оптимизацию планируемых загрузок ремонтных бригад, когда в ответ на поступающие данные о возникающих событиях должна производиться корректировка расписания в реальном времени. Внедрение данной системы позволит компании снизить транспортные расходы повысить оперативность принятия заявки и назначения ресурса для его выполнения а также, что главное обеспечить оптимальное распределение заказов по ресурсам за счет оптимизации назначения работ и возможного сокращения количества мобильных бригад, сократить количество диспетчеров за счет централизованного управления, уменьшить время аварийных ремонтов и снизить время доездов.

Список литературы

- [1] Batishev S.V., Ivkushkin C.V., Minakov I.A., Rzevski G.A., Skobelev P.O. A Multi-Agent Simulation of Car Manufacturing and Distribution Logistics. // Proc. of the II International Conference "Complex Systems: Control and Modelling Problems", Samara, Russia, June 20-23, 2000, p. 100-104.
- [2] Diyazitdinova A., Ivashenko A., Skobelev P., Tsarev A., Martyshkin D., Syusin I. Multi-Agent Platform for Full Truck Load Scheduling // Interactive Systems and Technologies: The problems of Human-Computer Interaction. Volume III., Collection of scientific papers., Ulyanovsk: UISTU, 2009, pp 132 - 143
- [3] Виттих В.А., Скобелев П.О. Мультиагентные модели взаимодействия для построения сетей потребностей и возможностей в открытых системах // Автоматика и телемеханика. – 2003. - №1. – С. 177-185.

МУЛЬТИАГЕНТНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫМ ЦЕХОМ

М.В. Андреев¹, И.О. Бабанин¹, А.С. Вылегжанин², А.В. Иващенко³, Э.В. Кольбова¹, П.О. Скобелев³

¹НПК «Разумные решения»
443080, Самара, ул. Санфировой, 95, Россия
ivashenko@smartsolutions-123.ru
тел/факс: +7 (846) 332-21-01

²ОАО «Ижевский моторный завод «АКСИОН-ХОЛДИНГ»
426000, Ижевск, Удмуртская Республика, ул. М. Горького, 90, Россия

³Институт проблем управления сложными системами РАН
443020, Самара, ул. Садовая, 61, Россия
cscmp@iccs.ru
тел/факс: +7 (846) 333-27-70

Ключевые слова: *внутрицеховое планирование, распределение ресурсов, динамическое планирование, мультиагентная технология, онтология*

Abstract

This paper describes a solution for manufacturing production faculty scheduling of human resources and equipment based on multi-agent technology. The system was developed and implemented in a special workshop that produces instruments and fitment. This paper describes the approach and first results of multi-agent technology application for instrumental manufactory scheduling.

Введение

Проблеме автоматизации внутрицехового планирования и построения производственных расписаний уделялось достаточно большое внимание, однако в настоящее время она вновь приобрела актуальность в связи с появлением современных парадигм управления, основанных на проведении аналогии с живыми системами [1]. Реализовать эти новые подходы можно с помощью хорошо зарекомендовавших себя при решении подобного рода задач мультиагентных технологий [2].

Стоит отметить, что их применение эффективно лишь в том случае, когда информация о происходящих событиях своевременно поступает в систему и при этом приводит к постоянному обновлению базы знаний об имеющихся ресурсах и особенностях их применения. Например, заказы, поступающие от планово-диспетчерского отдела, должны быть своевременно дополнены необходимой для планирования их выполнения информацией (в основном, содержащейся в описании технологических процессов) и быть преобразованы в конкретные задания на уровне начальников участков или мастеров. Эти задания уже могут быть запланированы в автоматическом режиме и назначены конкретным исполнителям (рабочим), которые, в свою очередь через терминалы, установленные рядом с рабочими местами, могут обеспечить своевременный ввод данных о текущем статусе выполнения каждого задания.

Изменения в процессе выполнения задания (задержка или опережение) должно приводить к изменению общего расписания, при этом кроме распространенных критериев эффективности планирования необходимо учитывать и нежелательность больших изменений: чем ближе время выполнения конкретного плана, тем менее благоприятно перепланирование.

Для решения этой задачи необходимо разрабатывать новые технологии управления распределением ресурсов в режиме реального времени, основанные на современных методах построения интеллектуальных систем управления ресурсами [3]. В данной статье описывается

решение такой задачи для инструментального цеха, занимающего особое место в инфраструктуре машиностроительного предприятия и предъявляющего высокие требования к средствам организации и автоматизации управления распределением ресурсов.

1 Особенности планирования инструментального производства

Особенности планирование инструментального производства обусловлены его сложностью, мелкосерийностью и наукоемкостью, а также повышенными требованиями к изготавливаемой продукции. Кроме этого, инструментальные цеха предприятий тесно связаны с другими подразделениями, что приводит к необходимости организации согласованного и координированного управления производством в режиме реального времени.

Для обеспечения эффективного управления этим подразделением требуется автоматизировать процессы планирования, составления производственного расписания и оперативного управления ресурсами. Это необходимо, в первую очередь, для обеспечения своевременной и адекватной реакции на события (например, на поступление нового заказа, на задержку изготовления деталей и сборочных единиц, поломку или ремонт станка и т.д.), для планирования использования производственных ресурсов и распределения новых заказов по имеющимся мощностям, а также для управления исполнением сгенерированных планов.

Производственное расписание требует согласования планов загрузки ресурсов между различными участниками процесса планирования как на этапе подготовки производства, когда определяется планируемая загрузка участков, так и на этапе выполнения заказов, когда в ответ на поступающие данные о возникающих событиях должна производиться корректировка расписания. Основной задачей оперативного планирования производства является организация слаженной работы всех участков инструментального цеха для обеспечения равномерного, ритмичного выпуска продукции в установленном объеме и номенклатуре при максимально полном использовании производственных ресурсов.

Руководством предприятия для инструментального цеха определяются плановые технико-экономические показатели на определенный период, и цех должен выполнять эти показатели. В этом смысле система должна позволять определять эти показатели адекватно имеющимся возможностям производства и производить мониторинг их исполнения в реальном времени, чтобы обеспечить своевременные мероприятия, направленные на выполнение плана. В подобных условиях применение классических методов планирования и оптимизации ресурсов чаще всего оказывается неприемлемым, т.к. изменение условий задачи, например, связанных с приходом новых событий, происходит до того, как сам оптимум будет найден по причине сложности и трудоёмкости вычислений.

Решить поставленную задачу можно лишь при использовании новых подходов к построению автоматизированных систем поддержки согласованного принятия решений, обеспечивающих оперативное распределение ресурсов в реальном времени. В отличие от классических ERP и MES систем [4], в мультиагентных системах каждое предприятие или подразделение предприятия моделируется как динамическая сеть агентов потребностей и возможностей [5]. В такой сети могут быть представлены различные подразделения, конкретные производственные заказы (на готовое изделие или его компоненты, отдельную операцию станка и т.д.) и конкретные ресурсы (например, рабочие, детали или станки).

Важным преимуществом этой технологии в планировании и оптимизации ресурсов является возможность адаптивного построения и исполнения планов в реальном времени, когда план не строится всякий раз заново при возникновении новых событий, как это делается в классических методах, а только корректируется по мере появления новых событий. Такая адаптация осуществляется непрерывно путем выявления конфликтов в расписаниях, проведения переговоров и достижения компромиссов между агентами заказов и ресурсов. Другими преимуществами такого подхода является возможность решения сложных задач управления

ресурсами, например, планирования связанных расписаний, а также большая открытость, гибкость и оперативность, производительность и живучесть создаваемых систем, находящихся все большее применение в самых разных сферах.

2 Организация управления инструментальным цехом на основе мультиагентных технологий

Применение мультиагентных технологий для управления инструментальным производством [6] позволяет обеспечить оперативную реакцию на возникающие непредвиденные события, и непрерывную оптимизацию работ, позволяющую разрешать конфликты и находить компромиссы между заказами по критериям обеспечения качества выполнения работ, сокращения сроков поставки и стоимости производства изделий, минимизации рисков сбоев и уплаты штрафов, использования оборудования и т.д. Работа системы производится в интерактивном режиме, под управлением пользователями. Интерактивный характер взаимодействия подразумевает, что диалог с системой может быть инициирован каждым из участников взаимодействия в любой момент времени, что позволит адаптивно, т.е. без полного перепланирования «с нуля», дотраивать или перестраивать производственное расписание по мере возникновения важных событий или с целью оптимизации.

В отличие от традиционных систем управления ресурсами предприятий, работающих преимущественно в пакетном режиме, предлагаемая система постоянно работает в реальном времени, адаптивно перестраивая план под действием любых заданных событий во внешнем мире. Система устанавливается и запускается на сервере и работает далее непрерывно, в режиме реального времени реагируя на события, вводимые оператором или приходящие из других систем. При этом система постоянно стремится улучшать создаваемые планы операций – путем не только использования свободных слотов времени станков или рабочих, но и путем цепочечных сдвижек ранее размещенных операций заказов или их переброски на другие ресурсы. Автоматизация такой адаптивной корректировки планов позволяет минимизировать ручные изменения и учитывать динамично изменяющуюся ситуацию, специфику заказов, особенности имеющихся станков и рабочих и многие другие факторы, которые делают задачу диспетчеризации ресурсов цеха столь сложной и трудоемкой.

Переход к работе в режиме реального времени позволяет повысить оперативность принятия решений, качество обслуживания клиентов, сократить затраты и уменьшить время производства изделий, снизить риски и возможные потери от штрафов.

Применяемый метод адаптивного планирования основан на воспроизведении работы самоорганизующегося «коллективного интеллекта», подобного колонии муравьев или роя пчел. Сотни и тысячи автономных программных агентов заказов и ресурсов, обладающих конфликтными интересами, кооперируя и конкурируя друг с другом, формируют расписание работы ресурсов цеха в ходе многочисленных взаимодействий путем переговоров для согласованного разрешения возникающих конфликтов и поиска баланса интересов, что позволяет системе всегда оставаться открытой к изменениям, оперативно и гибко корректировать расписание по событиям, выполняя цепочки подвижек или переброски заказов с одного ресурса на другой в реальном времени. В результате план перестраивается адаптивно, «на лету», по мере прихода событий, без остановки и полного пересмотра расписания ресурсов цеха.

3 Реализация мультиагентной системы управления инструментальным цехом

Разработанная система автоматизирует полный цикл управления цехом:

- ведение базы знаний по станкам, технологическим процессам и рабочим;
- загрузка технологических процессов из САПР, с которыми обеспечивается интеграция (например, ADEM);

- ввод заказов на производство изделий и других важных событий в любой момент времени;
- анализ того, как новый заказ скажется на предыдущих, уже распределенных и запущенных в выполнение, а также стоимость этого заказа;
- адаптивная гибкая и интерактивная разработка и корректировка производственного плана по событиям, возможность ручной доводки;
- проактивное улучшение плана в случае наличия ресурса времени;
- визуализация работы цеха в реальном времени;
- гибкая настройка алгоритмов планирования с учетом различных критериев качества производственного процесса;
- согласование производственного расписания со всеми участниками и его корректировка в случае необходимости;
- выдача сменно-суточных заданий по участкам и каждому рабочему;
- обратная связь с рабочими по выполнению заданий или операций;
- оперативный контроль исполнения планов производства;
- построение отчетов для мастеров, менеджеров и экономистов.

Разработанная система имеет распределенную архитектуру и содержит набор автоматизированных рабочих мест (АРМ) для разных ролей пользователей и содержит следующие компоненты:

- Модуль обработки заказов, с помощью которого пользователь вводит в систему заказы, и который позволяет проводить первичную обработку заказов силами планово-диспетчерского бюро и технологического бюро цеха;
- Модуль планирования заказов, который принимает заказы пользователя, планирует их на имеющиеся ресурсы согласно требованиям технологического процесса;
- База знаний (Онтология), которая содержит сведения об оборудовании и человеческих ресурсах, графиках их работы и возможностях выполнения технологических операций;
- Модуль интеграции, предназначенный для интеграции с САПР ТП.

В стандартную базовую версию системы включены следующие АРМы:

- АРМ «Начальник цеха»: строит и корректирует месячный план производства подразделения и отображает текущий прогресс по каждому конкретному изделию (сколько изделий сделано, сколько в процессе, обеспеченность производства материалом, инструментом, оборудованием, рабочими);
- АРМ «Мастер»: позволяет строить месячный план производства мастерской (участка), анализировать загруженность ресурсов задачами, загрузку по рабочим, состояние выполнения планов. Реализуются различные стратегии планирования от «точно в срок» – до «как можно быстрее» или «как можно дешевле»;
- Терминал рабочего: производит выдачу сменно-суточных заданий рабочему, получение актуальной информации о выполнении техопераций по мере готовности, ввод других событий (досрочное выполнение или задержка, нет материала, поломка оборудования и др.)

Примеры экранных форм системы приведены на рисунках 1 – 4. Важно отметить, что при планировании учитываются различные особенности назначения технологических операций рабочим на исполнение, присущие именно инструментальному производству.

Например, при изготовлении инструмента второго порядка необходимо обеспечить его готовность к началу соответствующей операции, где он используется (согласно указаниям технологического процесса). Это позволяет планировать его изготовление параллельно с производством изделия, в котором используется этот инструмент, что должно учитываться алгоритмом планирования.

Project Kg.Axiom - Инженер ПДБ

ФайлЗаказыСправочникиОтчеты

Текущие заказы

Состав заказа

Дерево ДСЕ

Копировать

Добавить

Редактировать

Удалить

Дата з...	Номер з...	Заказ...	Основание	Тип за...	Дата п...	Состоя...	Номер...	Факти...	Плано...	Факти...	Стоим...	Предв...	Наиме...	Услов...	Цех по...	Участок	Смена	Номер ...	Техно...
03.12.2...	021001	Холоднг	[13] Дублир	внутре...	30.12...	технол...	БИ1741...	0	0	0	2,5	зип	01	2 (Сле...	№2 (Сл...	№2023 ...	ЦЕ773...		
03.12.2...	021001	Холоднг	[13] Дублир	внутре...	30.12...	технол...	БИ1741...	0	0	0	2	зип	01	2 (Сле...	№2 (Сл...	№2023 ...	ЦЕ773...		
03.12.2...	021001	Холоднг	[13] Дублир	внутре...	30.12...	технол...	БИ1741...	0	0	0	3	зип	01	2 (Сле...	№2 (Сл...	№2023 ...	ЦЕ773...		
03.12.2...	222000	Холоднг	[13] Дублир	внутре...	31.01...	технол...	2103-0...	0	0	0	0,8	резец	10	10 (не...	№2 (Сл...	№2022 ...	общег...		
03.12.2...	222000	Холоднг	[13] Дублир	внутре...	31.01...	на нор...	2182-0...	0	0	0	1,2	резец	10	10 (не...	№2 (Сл...	№2022 ...	общег...		
03.12.2...	222000	Холоднг	[13] Дублир	внутре...	31.01...	на нор...	2182-0...	0	0	0	1,2	резец	10	10 (не...	№2 (Сл...	№2022 ...	общег...		
03.12.2...	2220000	Холоднг	[13] Дублир	внутре...	30.12...	на нор...	БИ8154...	2,21	0	0	3,4	КАЛИБР	07	76 (Сб...	№2 (Сл...	№2021 ...	ОБЩДП...		
26.11.2...	222000	Холоднг	[13] Дублир	внутре...	31.12...	требуе...	БИ1549...	31.12...	47,156	0	3	01	2 (Сле...	№2 (Сл...	№2023 ...	общег...			
26.11.2...	222000	Холоднг	[13] Дублир	внутре...	31.12...	требуе...	БИ1549...	14.01...	47,156	0	3	01	2 (Сле...	№2 (Сл...	№2023 ...	общег...			
26.11.2...	222000	Холоднг	[13] Дублир	внутре...	31.12...	требуе...	БИ1549...	29.12...	6,53	0	1,4	01	2 (Сле...	№2 (Сл...	№2023 ...	общег...			
26.11.2...	222000	Холоднг	[13] Дублир	внутре...	31.12...	требуе...	БИ1549...	29.12...	49,436	0	3	01	2 (Сле...	№2 (Сл...	№2023 ...	общег...			
26.11.2...	222000	Холоднг	[13] Дублир	внутре...	31.12...	требуе...	БИ1549...		66,64	0	2	01	2 (Сле...	№2 (Сл...	№2023 ...	общег...			
26.11.2...	222000	Холоднг	[13] Дублир	внутре...	31.12...	требуе...	БИ1549...	03.01...	49,436	0	3	01	2 (Сле...	№2 (Сл...	№2023 ...	общег...			
26.11.2...	222000	Холоднг	[13] Дублир	внутре...	31.12...	требуе...	БИ1549...		66,64	0	2	01	2 (Сле...	№2 (Сл...	№2023 ...	общег...			
26.11.2...	222000	Холоднг	[13] Дублир	внутре...	31.12...	требуе...	БИ1549...	30.12...	49,436	0	3	01	2 (Сле...	№2 (Сл...	№2023 ...	общег...			
26.11.2...	222000	Холоднг	[13] Дублир	внутре...	31.12...	требуе...	БИ1549...		6,53	0	1,4	01	2 (Сле...	№2 (Сл...	№2023 ...	общег...			
26.11.2...	222000	Холоднг	[13] Дублир	внутре...	31.12...	требуе...	БИ1549...	28.03...	6,53	0	1,4	01	2 (Сле...	№2 (Сл...	№2023 ...	общег...			
26.11.2...	222000	Холоднг	[13] Дублир	внутре...	31.12...	требуе...	БИ1549...		66,64	0	2	01	2 (Сле...	№2 (Сл...	№2023 ...	общег...			
26.11.2...	222000	Холоднг	[13] Дублир	внутре...	31.12...	требуе...	БИ1549...	17.01...	47,156	0	3	01	2 (Сле...	№2 (Сл...	№2023 ...	общег...			
26.11.2...	222000	Холоднг	[13] Дублир	внутре...	31.12...	требуе...	БИ1549...	04.01...	51,917	0	3	01	2 (Сле...	№2 (Сл...	№2023 ...	общег...			
26.11.2...	222000	Холоднг	[13] Дублир	внутре...	31.12...	требуе...	БИ1549...	31.12...	47,156	0	3	01	2 (Сле...	№2 (Сл...	№2023 ...	общег...			
26.11.2...	222000	Холоднг	[13] Дублир	внутре...	31.12...	требуе...	БИ1549...	30.12...	49,706	0	3	01	2 (Сле...	№2 (Сл...	№2023 ...	общег...			
26.11.2...	222000	Холоднг	[13] Дублир	внутре...	31.12...	требуе...	БИ1549...		51,917	0	3	01	2 (Сле...	№2 (Сл...	№2023 ...	общег...			
26.11.2...	222000	Холоднг	[13] Дублир	внутре...	31.12...	технол...	БИ1549...		51,917	0	3	01	2 (Сле...	№2 (Сл...	№2023 ...	общег...			
23.11.2...	Опытный	Холоднг	[13] Дублир	внутре...	31.12...	не начат	требуе...	30.12...	136,17	0	40,5	01	1 (лит...	№2 (Сл...	№2023 ...	ЮМТИ...			
23.11.2...	222000	Холоднг	[13] Дублир	внешний	31.12...	в работе	БИ1542...	30.12...	136,17	0	40,5	01	1 (лит...	№2 (Сл...	№2023 ...	ЮМТИ...			
25.08.2...	222000	Холоднг	[13] Дублир	внутре...	30.12...	требуе...	БИ7814...		16,3	0	1,85	вспомо...	19	21 (Сб...	№2 (Сл...	№2021 ...	общег...		

☐регистр

☐слово целиком

☐отобразить выполненные

Память: 56 МБ

Рисунок 1 – Список заказов, поступающих в систему

Project Kg.Axiom - Инженер ПДБ

ФайлЗаказыСправочникиОтчеты

Текущие заказы

Дерево ДСЕ #БИ0607-4671C/78

Дерево ДСЕ #БИ0607-4850M/70

Дерево ДСЕ #БИ0607-4671C/74

Дерево ДСЕ #БИ0607-4981

Поиск

Би0607-4981

Би0607-4981/115 [Штырь] (Деталь; 4)

Би0607-4981/116 [Втулка] (Деталь; 4)

Би0607-4981/117 [Ниппель] (Деталь; 2)

Би0607-4981/118 [Толкатель] (Деталь; 4)

Би0607-4981/120 [Пружина сжатия] (Деталь; 1)

Би0607-4981/125 [Пружина сжатия] (Деталь; 1)

Би0607-4981/126 [Пружина сжатия] (Деталь; 1)

Би0607-4981/51 [Плита] (Деталь; 1)

Би0607-4981/52 [Стойка] (Деталь; 2)

Би0607-4981/53 [Плитка] (Деталь; 1)

Би0607-4981/54 [Плитка] (Деталь; 1)

Би0607-4981/55 [Толкатель] (Деталь; 1)

Би0607-4981/56 [Знак] (Деталь; 1)

Би0607-4981/57 [Плитка] (Деталь; 1)

Би0607-4981/58 [Плитка] (Деталь; 1)

Би0607-4981/59 [Вставка] (Деталь; 1)

Би0607-4981/60 [Кольцо] (Деталь; 1)

Би0607-4981/61 [Плитка] (Деталь; 1)

Би0607-4981/62 [Плитка] (Деталь; 1)

Би0607-4981/63 [Плитка] (Деталь; 1)

Би0607-4981/64 [Плитка] (Деталь; 1)

Би0607-4981/65 [Кольцо] (Деталь; 1)

Би0607-4981/66 [Кольцо] (Деталь; 1)

Би0607-4981/66-31 [Пластина] (Деталь; 1)

Би0607-4981/66-31-1 [Электрод] (Деталь; 1)

Би0607-4981/67 [Втулка литниковая] (Деталь; 1)

Би0607-4981/68 [Рассекатель] (Деталь; 1)

Би0607-4981/69 [Втулка] (Деталь; 3)

Прогресс

Технология выдана
05.01.2011
Закирова Н.В.

■ Не нормирована

Не выдана

Документ АДЕМ

Создать

Загрузить из БД

Импортировать в БД

Удалить из БД

Импортировать тех. операций

Технологический процесс

Задание

Печать

Добавить

Редактировать

Удалить

Содерж.	№ опер.	Специал.	Оборуд.	Разряд	Кол-во	Время	Переходы	Расценка	Т.шт. (ч/ч)	Смена
ФРЕЗЕР...	005	Фрезер...	2	1	-	1	0	0	0	№011 (...)
ПЛОСК...	010	Шлифов...	2	1	-	1	0	0	0	№012 (...)
ТОКАРН...	015	Токарь...	2	1	-	1	0	0	0	№011 (...)
КООРД...	020	Токарь...	2	1	-	1	0	0	0	№011 (...)
РАЗМЕТКА	025	Фрезер...	0	1	-	1	0	0	0	№011 (...)
ФРЕЗЕР...	030	Фрезер...	2	1	-	1	0	0	0	№011 (...)
СПЕСАР...	035	Слесарь...	2	1	-	1	0	0	0	№012 (...)
ТЕРМОО...	040	ц.27 усл...	0	1	-	1	0	0	0	№023 (...)

ДСЕ

Проверить

Добавить

Редактировать

Удалить

Наиме...	Обозн...	Профи...	Матер...	Код ма...	Вес ДСЕ	Колич...	Плано...	Харак...	Колич...	Смена	Участок	Инстр...
Плита	Би0607-26 х	сталь45	12.213	1	0	требует	№012	№01				

Память: 41 МБ

Рисунок 2 – Описание изделий, входящих в заказ, и технологических процессов их производства

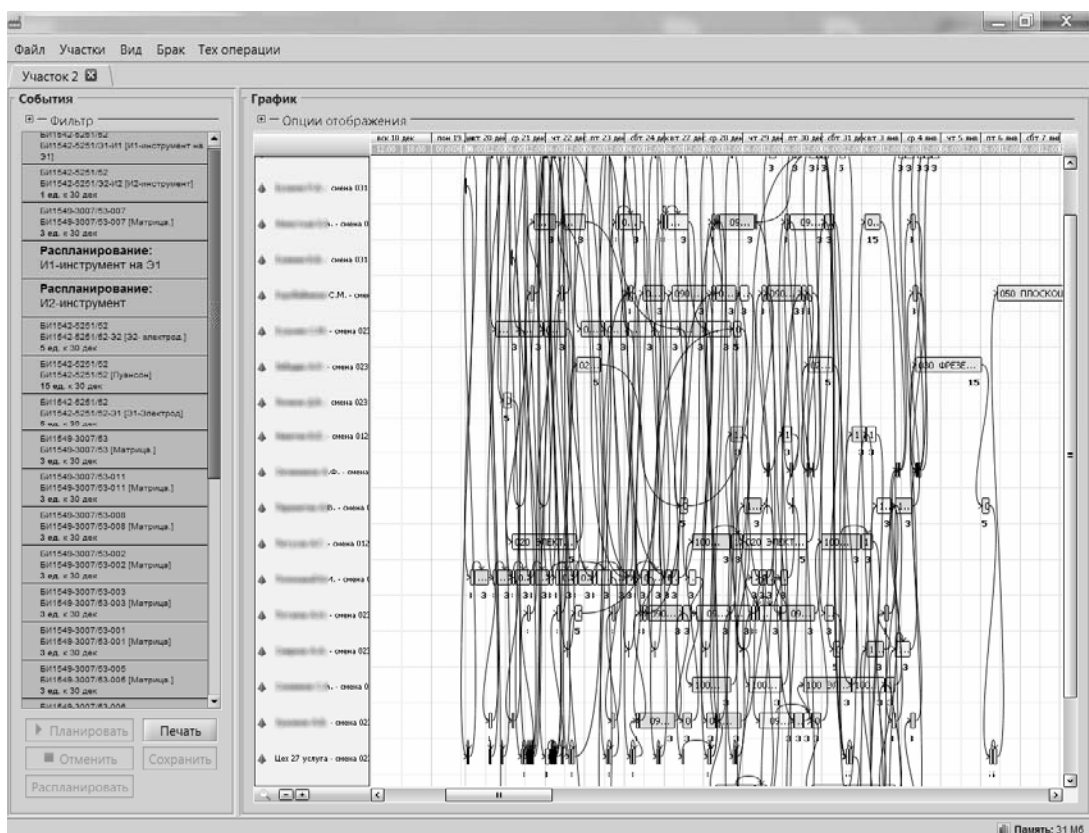


Рисунок 3 – Производственное расписание, полученное в результате мультиагентного планирования



Рисунок 4 – Терминал, на котором отображается сменно-суточное задание

Другой особенностью является назначение рабочих. Кроме кода квалификации и разряда необходимо учитывать ряд особенностей. Все однотипные операции одного технологического процесса (например, слесарные) должны планироваться одному рабочему. Это связано с тем, что он, начиная с первой операции, лучше знает особенности сложного изделия и может на более поздних операциях компенсировать неточности выполнения работ в начале технологического процесса. Такое правило позволяет снизить брак.

Реализация такого подхода в разработанной системе выполнена с помощью описания для ресурсов онтологических свойств. Для одного рабочего может быть задано несколько онтологических свойств и в случае совпадения значения каждого из них со значениями соответствующих онтологических свойств планируемой операции приоритет данного ресурса при назначении будет

изменяться. Для ресурсов указываются как свойства повышающие этот приоритет, так и понижающие.

Заполнение онтологических свойств производится автоматически путем сравнения значений параметров технологической операции со значениями имеющихся свойств ресурсов. Например, допустим, у рабочего установлена в онтологическом свойстве марка материала, с которой он работает. В случае если у технологического процесса, к которому относится планируемая операция, задан материал, в описании которого имеется указание соответствующей марки, приоритет этого рабочего при планировании будет повышен. Таким образом, при планировании кроме кода квалификации и разряда рабочих (имеющих наибольшее значение) учитываются онтологические свойства рабочих и операций, что позволяет повысить адекватность создаваемых расписаний.

4 Особенности алгоритмов планирования.

В результате внедрения разработанной мультиагентной системы возникла задача сравнения двух стратегий планирования: «Just in time» (Точно в срок) и «As soon as possible» (Как можно раньше) с точки зрения применимости к решаемой задаче. Отметим, что планирование в обоих алгоритмах осуществляется инкрементально – событие за событием.

Свойства алгоритма «Just in time» (JIT):

1. Размещение последней операции производится в предпочитаемое время, время остальных операций определяется по стратегии JIT в ходе планирования.
2. Подвижки операций вначале осуществлялись вначале влево (к текущему моменту времени), а потом, отразившись от линии текущего времени, подвижки осуществлялись в будущее. В случае сильно загруженного производственного плана, такие отражения происходят практически постоянно.
3. Тщательные переговоры при разрешении конфликтов. При разрешении конфликтов производилось несколько итераций пересогласования решений о подвижке операций. В ходе данных переговоров включались не только агенты операций, но и агенты ресурсов, задач.
4. Полностью асинхронная модель переговоров. При большом количестве агентов в диспетчере было много холостых вызовов агентов (проверка наличия сообщений, внутренних событий и т.д., т.е «оверхед» за счет внутренней инфраструктуры агента), которые не были задействованы в конфликте.
5. Разрешение конфликтов производилось по мере их возникновения.

Свойства нового алгоритма «As soon as possible» (ASAP):

1. Размещение операций производится с учетом резерва времени (время начала выполнения операций будет тем меньше, чем меньше резерв времени у рассматриваемой операции).
2. Подвижки операций вправо преобладают. Нет холостых движений сначала влево, а потом вправо.
3. Конфликт перекрытия операций в плане явно выделен и реализован алгоритм его разрешения.
4. Выделен особый тип переговоров типа «Запрос-ответ». Ответ на запрос агентом формировался синхронно. Таким образом, не было необходимо делать дополнительный холостой цикл диспетчером. Для примера можно привести запрос у агента ресурса агентом технологической операции оценки размещения новой операции. Данный механизм, реализующий синхронные переговоры «запрос-ответ» был назван рефлексами (Reflexes).
5. В новом алгоритме планирования был применен механизм управления конфликтами (При разрешении конфликта, преимущество для исполнения через диспетчер получали те агенты, которые были задействованы в разрешении конфликта). Данный механизм был назван искрами (Forks). Это также позволило существенным образом снизить количество неэффективных циклов диспетчера агентов.

Результаты анализа производительности рассматриваемых алгоритмов планирования приведены на рисунке 5. Для эксперимента было создано необходимое количество заказов, путем копирования одного из реальных заказов: за основу был взят заказ на изготовление пуансона, состоящего из пяти компонентов – четырех деталей и одной сборки. Для сравнения алгоритмов было запланировано 100 заказов, что соответствует 500 изделий (3300 технологических операций).

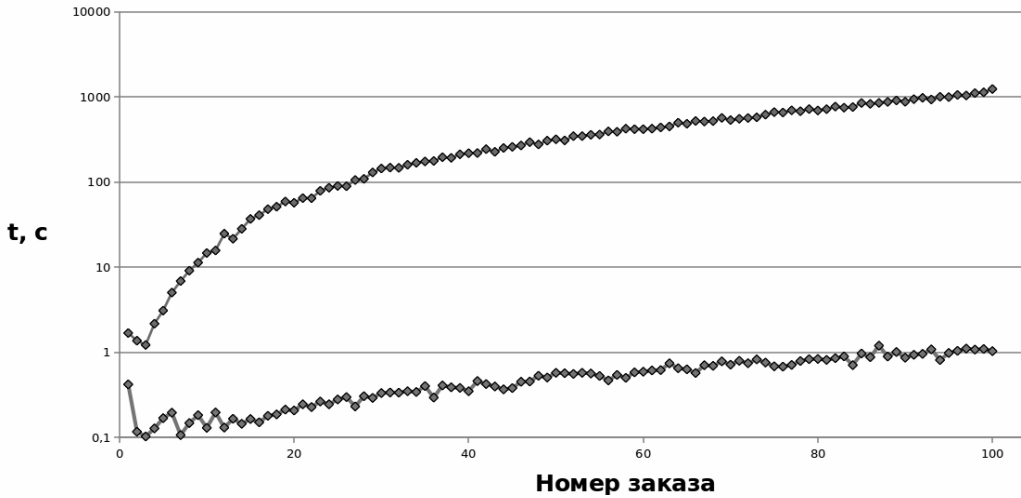


Рисунок 5 – Зависимость времени планирования очередного заказа (по логарифмической шкале)

График, указанный на рисунке 6, показывает зависимость коэффициента ускорения T_0/T_n , где T_n – время ASAP планирования очередного заказа, T_0 – время JIT планирования очередного заказа.

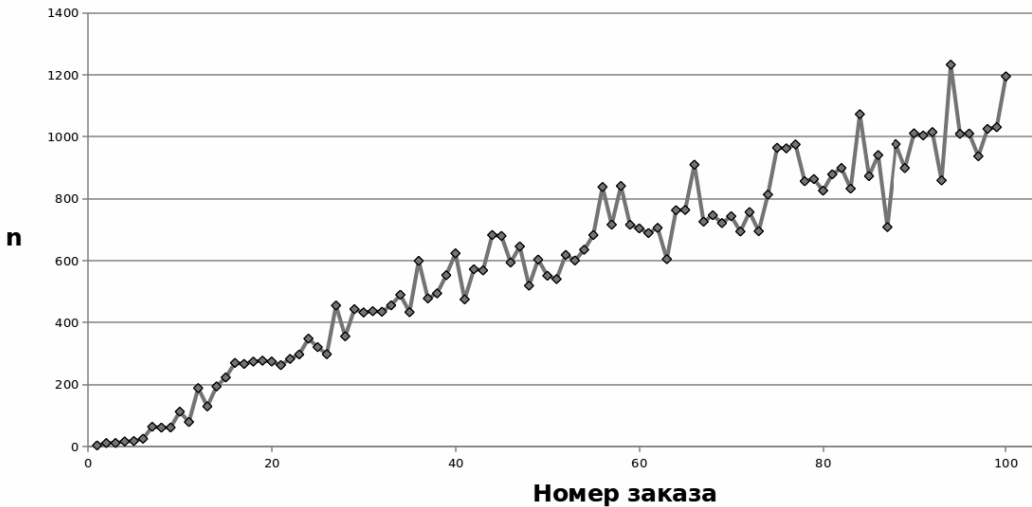


Рисунок 6 – Зависимость коэффициента ускорения времени планирования очередного заказа (во сколько раз ASAP стратегия быстрее, чем JIT)

Проведенные исследования позволили настроить логику планирования и обеспечить требуемое качество и время принятия решений по распределению ресурсов. Результаты апроба-

ции выбранного алгоритма планирования на потоке из 500 заказов (2000 деталей и сборочных единиц и 16500 технологических операций) приведены на рисунке 7. Выявленная зависимость близка к линейной, что позволяет сделать экстраполировать зависимость для более крупных потоков заказов.

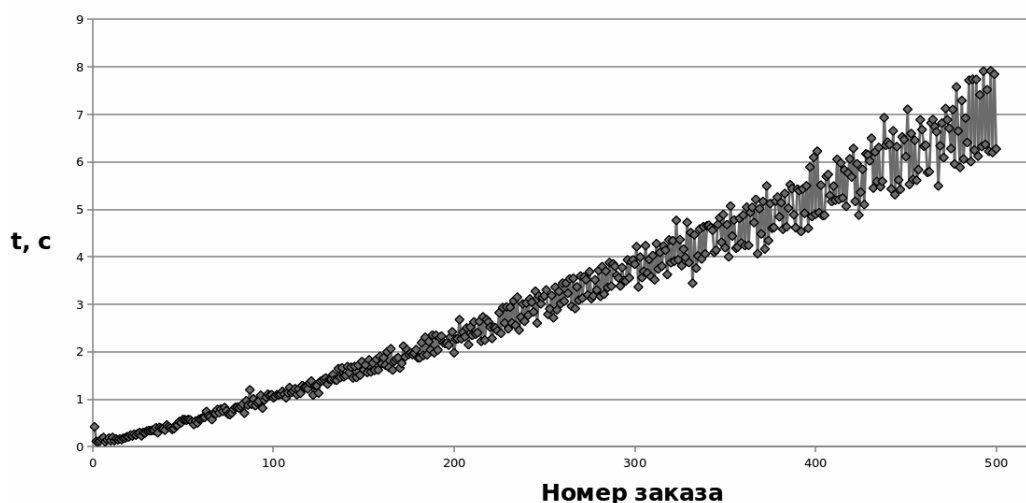


Рисунок 7 – Зависимость времени планирования очередного заказа для потока, состоящего из 500 заказов

Заключение

Полученные результаты позволяют сделать вывод о целесообразности применения алгоритмов управления распределением ресурсов в реальном масштабе времени с использованием мультиагентных технологий при организации управления мелкосерийными и опытными производствами. Развитие данного подхода видится в более глубокой проработке алгоритмов планирования и тиражировании найденных решений.

Список литературы

- [1] Leitão P. Holonic rationale and bio-inspiration on design of complex emergent and evolvable systems / Trans. on large-scale data and knowledge centered systems I, LNCS 5740, Springer-Verlag, 2009 – pp 243 – 266
- [2] Андреев М.В., Иващенко А.В., Мартышкин Д.М., Скобелев П.О., Уланова Л.В., Царев А.В. Применение мультиагентных технологий динамического планирования персональных задач при организации коллективного взаимодействия в автоматизированных системах управления распределением ресурсов // Мехатроника. Автоматизация. Управление, 2010. – № 7 – с. 21 – 27
- [3] Виттих В.А., Скобелев П.О. Метод сопряженных взаимодействий для управления распределением ресурсов в реальном масштабе времени // Автометрия, 2009. – № 2. – с. 78 – 87
- [4] Загидуллин Р.Р. Структура системы оперативно-календарного планирования в гибких производственных системах // М.: Автоматизация и современные технологии, 2005. – № 2. – с. 44 – 46
- [5] Виттих В.А., Скобелев П.О. Мультиагентные модели взаимодействия для построения сетей потребностей и возможностей в открытых системах // Автоматика и телемеханика, 2003. – №1. – с. 177 – 185.
- [6] Андреев М.В., Иващенко А.В., Карсаев О.В., Самойлов В.В., Скобелев П.О., Царев А.В. Поддержка процессов коллективного принятия решений по управлению инструментальным производством на основе мультиагентной системы планирования ресурсов в реальном времени // Материалы научно-технического семинара «Управление в распределенных сетцентрических и мультиагентных системах. – СПб.: ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электронприбор», 2010. – с. 75 – 80.

ПРИМЕНЕНИЕ ОНТОЛОГИЙ В ЗАДАЧАХ ИНФОРМАТИЗАЦИИ КАДРОВЫХ СЛУЖБ

В.Д. Ивченко, Г.А. Филимонов

Московский государственный университет приборостроения и информатики
107996, Москва, ул. Стромынка, 20, Россия
professor55@rambler.ru
тел/факс: +7 (499) 269-46-96

Ключевые слова: кадровая служба, информатизация, управление навыками и компетенциями, онтологическая поддержка, поиск решений на основе прецедентов, инструментальные средства онтологического инжиниринга

Abstract

The article examines dataware structure of human resources department on the example of ET-Web Enterprise system. The problems of ontological support for human resources information system are discussed. Ontology development tools are described.

Введение

К ключевым идеям, влияющим на современные тенденции развития корпоративных систем и бизнеса, следует отнести управление знаниями (Knowledge Management). Деятельность современных организаций сейчас все в большей степени зависит от имеющихся у них знаний - одного из самых ценных ресурсов - и способности их эффективно использовать. Управление знаниями сегодня рассматривается как мощное конкурентное преимущество в сфере бизнеса. Оно направлено на поддержку процессов создания, распространения, обработки и использования знаний внутри предприятия.

Важнейшую роль в области формализации и компьютерной обработки знаний играют онтологии. Онтологии являются средством представления концептуальных знаний о некоторой предметной области [1, 2].

В свете этих новых тенденций следует рассматривать перспективы развития систем информатизации кадровых служб (HRIS - Human Resources Information System). Сегодня при существующем дефиците квалифицированных специалистов данные системы играют весомую роль в деятельности крупных компаний.

В системах автоматизации HR-процессов важное место занимает задача управления навыками и компетенциями сотрудников компании. В статье рассматриваются вопросы онтологической поддержки данной задачи на примере системы ETWeb Enterprise [3]. Обсуждаются технологии формирования соответствующей базы знаний посредством инструментальных средства Protégé. и Jena.

Краткая характеристика ETWeb Enterprise

Система ETWeb Enterprise предназначена для управления человеческим капиталом и анализа HR-данных. Она занимает ведущие позиции на рынке HRIS: 55% компаний из Europe Top 100 и 35% компаний из Fortune Top 500 используют ее для автоматизации работы с персоналом. Это решение разработано компанией StepStone, являющейся признанным международным лидером на рынке разработки и внедрения HRIS.

Построенная на основе современных Web-технологий, система ETWeb Enterprise легко масштабируется и интегрируется с уже работающими в компании IT-системами. Она включает модули (рисунок 1):

- Управление сотрудниками и должностями;
- Управление эффективностью;
- Управление вознаграждением;
- Управление навыками и компетенциями;
- Оценка 360;
- Карьера и преемственность;
- Управление обучением и развитием;
- Поиск и привлечение;
- Отсев и подбор.



Рисунок 1 – Модули системы ETWeb Enterprise

Опишем функциональность трех основных модулей системы.

Модуль «Управление сотрудниками и должностями»

Этот модуль является базовым для всех остальных модулей системы. На основании данных о сотрудниках, должностях, организационной, функциональной, юридической и территориальной структурах компании настраиваются рабочие процессы, выполняются разграничения данных между пользователями системы.

Основанная на Web-технологиях система позволяет создавать единое информационное поле, даже если подразделения компании разбросаны по всему миру. ETWeb поддерживает сквозную базу данных вакансий, сотрудников и мероприятий, упрощает внутренний поиск кандидатов и внутреннюю ротацию. Объединяя HR-менеджеров, сотрудников и руководителей, ETWeb не только повышает качество стратегических решений, но также способствует росту прозрачности и понимания важности работы HR-подразделения.

Модуль «Управление навыками и компетенциями»

Сотрудники являются самой большой ценностью организации. Правильно подобранный и обученный персонал - это основа эффективности компании. Но какой именно персонал нужен для того, чтобы постоянно повышать эффективность работы? Интегрированная система оценки позиций и сотрудников помогает с полной ясностью увидеть, какие компетенции и навыки персонала развиты в меньшей или большей степени, потребность в каких специалистах/развивающих мероприятиях есть или может в ближайшее время возникнуть в организации.

Отдельной проблемой обычно является поиск подходящих людей в проекты. Если внутри подразделения каждый руководитель знает своих подчиненных, то при необходимости набрать межфункциональную проектную команду, он оказывается в сложной ситуации. Благодаря широкому и разноплановым возможностям поиска, ETWeb помогает подобрать людей, максимально подходящих для решения любых задач.

Модуль «Управление обучением и развитием»

Стоимость компании увеличивается с ростом квалификации ее сотрудников. Согласно статистическим данным, знания человечества удваиваются каждые 10 лет. Это является одной из причин, по которой успех компании так сильно зависит от ее персонала. Для того, чтобы развивать компанию, сотрудники должны шагать в ногу с изменениями, происходящими в мире. В то же время, затраты на обучение и администрирование развивающих мероприятий должны быть минимизированы. Это означает, что сотрудники должны получать именно то обучение, которое им необходимо, не растрачивая время и деньги на посещение ненужных программ.

ETWeb Enterprise позволяет эффективно распределить бюджет на обучение, определять, каких именно навыков не хватает сотрудникам, формировать однородные группы обучающихся, отслеживать эффективность обучения по росту компетентности персонала.

Именно знания и навыки сотрудников обеспечивают эффективность бизнеса. С помощью HRIS можно определить большой выбор компетенций, который поможет спланировать профили требований к должностям в организации для сравнения или оценки персонала.

Компетенции представляют соответствия навыкам, по которым можно оценить сотрудников по шкале, связанной с каждой компетенцией. Каталог компетенций представляет собой логическую классификацию компетенций, относящихся к определенному периоду планирования. Для оценки компетенций в профили требований можно включать целые каталоги или части каталога разных периодов планирования.

На основе установленных в профиле требований критериев для должности можно оценивать компетенции отдельных сотрудников. Используя эти профили, можно выполнить GAP-анализ (анализ соответствия) для оценки сотрудников, или использовать поиск наиболее подходящих кандидатур, которые наиболее полно удовлетворяют профилю требований.

Сущность онтологического подхода

Онтология – формализованное представление предметной области, которое включает словарь терминов для представления и обмена знаниями об этой предметной области и множество связей, установленных между терминами в этом словаре [1, 2]. Онтологии позволяют представить понятия в виде, пригодном для машинной обработки.

Онтология дает эксплицитную, то есть явную, спецификацию концептуализации предметной области: в качестве концептуализации выступает описание множества объектов и связей между ними. Практически все модели онтологии содержат определенные концепты (базовые понятия, классы), свойства концептов (атрибуты, роли), отношения между концептами (зависимости, функции) и дополнительные ограничения, которые определяются аксиомами.

В рамках онтологической поддержки HRIS предлагается формировать онтологические базы знаний по компетенциям сотрудников, а также по квалификационным требованиям к должностям, и решать на этой основе задачи кадрового обеспечения подразделений и бизнес-процессов (поиск наиболее подходящих кандидатов на замещение вакантных должностей в компании, комплектование проектных команд, участников бизнес-процессов и т.п.).

Отметим общепринятую типизацию онтологий: мета-онтология – описывает наиболее общие понятия, которые не зависят от предметных областей; онтология предметной области – формальное описание данной предметной области; онтология конкретной задачи – онтология, определяющая общую терминологическую базу задачи.

В области HRIS возможна интеграция онтологического подхода с другими интеллектуальными технологиями. В частности, представляет интерес метод поиска решений на основе прецедентов (Case-Based Reasoning, CBR). *Прецедент* – это описание проблемы или ситуации в совокупности с подробным указанием действий, предпринимаемых в данной ситуации или для решения данной проблемы. Суть CBR-метода [4] состоит в том, чтобы при рассмотрении текущей проблемной ситуации отыскивать в базе прецедентов похожий прецедент в качестве аналога и далее адаптировать ранее найденное для него решение к текущей ситуации. Прецедент представляется в виде вектора признаков и при поиске подходящего прецедента применяются те или иные метрики [5]. После обработки текущего прецедента он и соответствующее ему решение вносятся в базу прецедентов.

Для работы с онтологиями применяется комплекс инструментальных средств: RDF (Resource Description Framework) – стандарт описания ресурсов (метаданных о документе); OWL (Web Ontology Language) – язык описания онтологий; Protégé – редактор онтологий и фреймворк для построения баз знаний; SPARQL – язык запросов для RDF; Jena – семантический фреймворк, обеспечивающий доступ к реляционным СУБД при помощи SPARQL.

Заключение

В системах автоматизации HR-процессов крупных компаний важное место занимает задача управления навыками и компетенциями сотрудников компании, которую естественно также включать в структуру более широкой системы управления знаниями (Knowledge Management). Новые горизонты в области компьютерной поддержки данной задачи правомерно связывать с применением онтологических баз знаний и инструментальных средств онтологического инжиниринга.

Список использованных источников

- [1] Гаврилова Т.А., Хорошевский В.Ф. Базы знаний интеллектуальных систем. – СПб.: Питер, 2001. – 384 с.
- [2] Гладун А.Я., Рогушина Ю.В. Онтологии в корпоративных системах // Корпоративные системы. – 2006. – № 1. – С. 41-56.
- [3] Welcome to StepStone Solutions [Электронный ресурс]. – Режим доступа: // <http://www.stepstonesolutions.com/>
- [4] Althof K.D., Auriol E., Barlette R., Manago M. A Review of Industrial Case-Based Reasoning Tools. – Oxford: AI Intelligence, 1995.
- [5] Осипов Г.С. Лекции по искусственному интеллекту. – М.: КРАСАНД, 2009. – 272 с.

РАЗРАБОТКА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ОКАЗАНИЯ ПЕРСОНИФИЦИРОВАННОЙ МЕДИЦИНСКОЙ ПОМОЩИ ПАЦИЕНТАМ НА ОСНОВЕ ОНТОЛОГИЙ И КОМПЬЮТЕРНЫХ СРЕДСТВ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ЗНАНИЙ

К.В. Быченков¹, Е.А. Гриценко², Д.М. Мартышкин³, О.Л. Сурнин¹, Т.В. Тяпухина⁴

¹ООО «Открытый код»

443001, Самара, ул. Ярмарочная, 55, Россия

bychenkov@o-code.ru

тел/факс: +7 (846) 331-21-01

²Министерство здравоохранения и социального развития Самарской области

443010, Самара, ул. Чапаевская, 181, Россия

zdravso@samregion.ru

тел: +7 (846) 334-27-02, тел/факс: +7 (846) 270-91-14

³Институт проблем управления сложными системами РАН

443020, Самара, ул. Садовая, 61, Россия

dmartyshkin@gmail.com

тел/факс: +7 (846) 333-27-70

⁴Самарский областной медицинский информационно-аналитический центр

443095, Самара, ул. Ташкентская, 159, Россия

miac@medlan.samara.ru

тел: +7 (846) 256-17-95, факс: +7 (846) 256-17-95

Ключевые слова: базы знаний, веб-сервисы, онтология, персонифицированная медицинская помощь, семантическая сеть, электронное здравоохранение

Abstract

This paper describes basic design principles of the first version of next-generation decision support system for providing personalized patients care based on patients' clinical and treatment data with the use of semantic web technology and ontologies. The described ontology-based solution is intended for easy accumulating and updating semantically enriched information about clinical guidelines and treatment recommendations in form of ontology, analyzing pool of patients' clinical data, health records and descriptions of clinical situations, providing on its base knowledge about treatment standards, clinical guidelines, healthy lifestyle, preventive measures and treatment modes and granting access to this knowledge to all medical practitioners when they need to make a decision on the most appropriate way of treatment for their patients.

Введение

В настоящее время задача повышения качества оказываемой медицинской помощи и жизни населения в целом является одной из наиболее сложных и значимых. Основные показатели здоровья нации (такие как средняя продолжительность жизни населения, стоимость медицинского обслуживания) напрямую связаны не только с факторами социального характера (удорожание лечения из-за внедрения новых технологий, недостаточное финансирование отрасли, увеличение количества заболеваний и др.), но и с качеством оказываемой медицинской помощи.

Повышение эффективности использования ресурсов здравоохранения за счёт внедрения современных информационных технологий, а также повышение доступности и качества медицинской помощи, оказываемой населению в целом, являются глобальными тенденциями раз-

вития электронного здравоохранения в мире (E-Health) и были озвучены в ходе крупнейшего международного форума, посвящённого вопросам использования ИКТ в здравоохранении – Global E-Health Forum, проходившего в октябре 2010 г. в г. Гамбург, Германия [1].

Обозначенные проблемы в той или иной степени характерны практически для всех стран (не исключая развитые страны). Например, в докладе Института медицины США указано, что системе здравоохранения США не удастся обеспечить высококачественную медицинскую помощь всем гражданам. Согласно статистическим данным, даже в такой высокоразвитой стране как США более 100 тыс. граждан ежегодно погибают вследствие медицинских ошибок, которые можно было бы предотвратить.

Между тем, врачебные ошибки в большинстве случаев отнюдь не являются следствием злого умысла, безответственности или низкой квалификации медиков: По данным исследований бостонской клиники Brigham and Women's Hospital, сегодня в мире насчитывается более 10 тыс. заболеваний, свыше 3 тыс. лекарственных препаратов, 300 различных радиологических процедур и 1 тыс. лабораторных исследований. В выступлении заместителя директора информационно-аналитического центра Российской Академии медицинских наук, доктора технических наук Андрея Столбова приведены данные о 4 тыс. активно использующихся в мире медикаментах, среди которых зафиксировано более 2 тыс. взаимодействий, существенным образом влияющих на возможность их применения при том или ином заболевании. Самой собой разумеется, что держать в голове такой объем информации совершенно невозможно. Кроме того, с учётом того, что решения зачастую должны приниматься в условиях цейтнота, а также принимая во внимание высокую стоимость каждой ошибки (поскольку речь идёт о лечении пациентов), проблема обеспечения врачей современными средствами поддержки принятия решений становится всё более актуальной. Поэтому во многих европейских странах основные акценты в настоящее время делаются на информационную поддержку врача, на создание новой информационной среды его деятельности, потому что именно это позволяет повысить качество лечения и его доступность.

За рубежом распространена практика, когда в больницах практикующие врачи еженедельно собираются с коллегами и обсуждают сложные случаи лечения пациентов. При этом в процессе принятия решения о лечении пациента используются два основных источника информации: во-первых, это утверждённые клинические рекомендации, с которыми сверяются клинические случаи пациентов, а, во-вторых, истории заболеваний пациентов с аналогичными симптомами, которые были вылечены ранее. Для решения данных задач должны использоваться системы поддержки принятия решений.

В настоящей статье рассмотрены недостатки существующих систем поддержки принятия решений в медицине и основные принципы разработки интеллектуальной системы для поддержки принятия решений при оказании персонализированной медицинской помощи пациентам на основе онтологий и компьютерных средств представления знаний.

1 Основные недостатки существующих систем поддержки принятия решений

Используемые в настоящий момент традиционные системы поддержки принятия решений, основанные на правилах, не способны обеспечить понимание «семантики» медицинских данных и клинических рекомендаций и на практике демонстрируют ряд существенных «ограничений».

Основными недостатками большинства из этих систем являются:

- 1) «Инертность» и невозможность вносить изменения в систему. Данный недостаток является наиболее значимым и препятствует повсеместному использованию СППР в медицине, поскольку становится невозможным наполнять систему новыми знаниями о методиках лечения и диагностики заболеваний, лекарственных препаратах и др.

- 2) Не поддерживается в необходимом объеме семантика медицинских данных. Системы, основанные на жестких правилах, не способны обеспечить поддержку всего комплекса взаимосвязанных медицинских знаний, необходимых для принятия решения и формирования плана лечения пациента.
- 3) Изолированность от других медицинских систем, используемых в клинической практике. Системы поддержки принятия решений разрабатываются для медицинских специалистов в отдельно взятой предметной области. При этом большая часть из них применяется изолированно от других медицинских систем и не использует данные пациентов.
- 4) Посредственная эргономика и удобство системы для пользователя. Интерфейс большинства систем поддержки принятия решений является неудобным для пользователя, либо требует значительного времени на ввод информации о пациенте.
- 5) Отсутствие промышленного внедрения систем. На сегодняшний день в РФ и за рубежом нет известных систем поддержки принятия решений, которые бы широко использовались в клинической практике, что вызвано, в первую очередь, высокой стоимостью разработки и сопровождения (в т.ч. актуализации) данных систем.
- 6) Отсутствие возможности настройки системы для использования в другой предметной области. Системы поддержки принятия решений разрабатываются для медицинских специалистов в отдельно взятой предметной области и их невозможно адаптировать к использованию в другой области без перепрограммирования.

Среди наиболее известных зарубежных систем поддержки принятия решений следует выделить:

- ONCOCIN, одна из старейших экспертных систем, разработанная для помощи в лечении онкологических заболеваний (разрабатывается с 1979 г.).
- LISA, медицинская информационная система и система поддержки принятия решений при лечении острой лейкемии у детей.
- Kasimir, экспертная система для лечения онкологических заболеваний.

Для всех этих систем в той или иной степени характерны обозначенные выше недостатки, препятствующие их широкому использованию на практике, что породило некоторую неприязнь экспертов к данным системам.

На решение данных задач направлено создание интеллектуальной системы поддержки принятия решений для оказания персонализированной медицинской помощи пациентам, которая строится на основе онтологий клинических рекомендаций и компьютерных средств представления знаний. Применение онтологического подхода к созданию системы наиболее целесообразно, поскольку онтологии позволяют наиболее полно описать медицинские знания, содержащиеся в клинических рекомендациях, пополнять эти знания и использовать их в процессе принятия решений. Кроме того, в Самарской области уже есть богатый опыт использования онтологий и онтологических моделей для представления знаний об услугах в социальной сфере и сфере здравоохранения, где они применялись в рамках информационно-аналитической системы управления предоставлением консолидированных услуг населению на примере сферы здравоохранения и социального развития Самарской области [2].

2 Архитектура и основные функциональные возможности интеллектуальной системы поддержки принятия решений для оказания персонализированной медицинской помощи пациентам

Архитектура разрабатываемой интеллектуальной системы поддержки принятия решений для оказания персонализированной медицинской помощи пациентам включает в свой состав набор следующих программных компонентов:

- 1) Модуль создания клинических рекомендаций. Данный модуль предназначен для описания в компьютерной форме знаний из клинических рекомендаций и стандартов оказания ме-

дицинской помощи. Модуль обладает веб-интерфейсом для создания, описания необходимых исходных данных, описания ожидаемых результатов, группировки и навигации между рекомендациями. При этом в качестве исходных данных могут использоваться как клинические рекомендации, так и клинические данные пациентов, а на выходе система предоставляет врачам наиболее подходящие клинические рекомендации по лечению пациентов. Выработанные рекомендации могут быть специфицированы в некотором открытом стандарте и могут применяться совместно с внешними системами, используемыми в клинической практике. Одной из примечательных особенностей системы является то, что клинические рекомендации могут использоваться не только врачами, но также и самими пациентами для выбора оптимального образа жизни до, во время и после проведения лечения. Данные рекомендации содержат информацию о ведении здорового образа жизни до, во время и после заболевания.

- 2) Онтология клинических рекомендаций. Предназначена для формирования рекомендаций по лечению заболеваний для поддержки принятия решений врачами общей практики. Онтология разрабатывается на основе утверждённых клинических рекомендаций и стандартов лечения для широкого применения практикующими терапевтами на территории РФ на основе медицинских стандартов, утверждённых Министерством здравоохранения и социального развития РФ. Используя данную онтологию, специалисты в области медицины смогут получать рекомендации о назначении и направлении на медицинские услуги в зависимости от поставленного диагноза.
- 3) Модуль поддержки принятия решений. Основное назначение модуля поддержки принятия решений – преобразование знаний, хранящихся в онтологии, в рекомендации для клинических случаев, обрабатываемых в информационных системах. Информация о клиническом случае может поступать как в виде полноценного описания (сцены), так и в виде истории болезни, импортированной из внешней информационной системы. На основе поступившей информации может генерироваться:
 - Встречная сцена рекомендаций. Например, какие препараты и в какой дозировке необходимо назначить в описанном случае.
 - Рекомендация в простой текстовой форме, а также в графической форме (например, в форме графа, изображающего последовательность действий в процессе лечения). К примеру, на основе информации из анамнеза пациента может быть в ответ предложено обратиться к специалисту в той или иной области медицинских знаний.
- 4) Веб-сервис и веб-портал для предоставления открытого общего доступа к системе поддержки принятия решений. Веб-сервис предназначен для широкой интеграции с внешними информационными системами и позволяет запрашивать от пользователей специфицированные описания клинических случаев, после чего на базе этих описаний формулировать рекомендации, так же в специфицированном формате. В свою очередь, для описания запросов используется веб-портал.

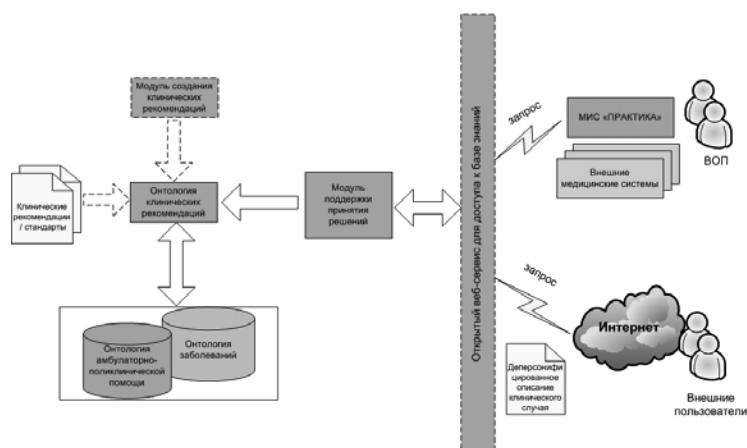


Рисунок 1 – Архитектура системы

На рисунке 1 представлена архитектура системы.

На вход система получает деперсонифицированное описание клинических ситуаций на основе данных анамнеза, которые либо вводятся пользователем вручную посредством веб-сервиса, либо импортируются из электронных историй болезни, анализирует эти описания на основе онтологии клинических рекомендаций и формирует рекомендации и индивидуальный план лечения пациента.

По сути дела, клиническая рекомендация представляет собой пошаговое описание, содержащее:

- описание клинического случая (включая основные симптомы заболевания, данные анамнеза и др.),
- описание рекомендации, которое содержит две сущности – действия (пройти медицинское обследование, сдать анализ, поместить в стационар, осуществлять лечение на дому под наблюдением) и решения (выбор конкретных действий в процессе лечения).

Система разрабатывается в качестве самостоятельного решения, пригодного для использования совместно с действующими клиническими информационными системами, системами информационной поддержки и др. В свою очередь, для интеграции с внешними информационными системами используются интерфейсы API, а также специализированный веб-портал для публикации запросов и веб-сервис для формирования клинических рекомендаций по лечению пациентов. Обеспечение функциональной совместимости и возможности интеграции с внешними информационными системами и базами данных, используемыми в клинической практике, имеет важное значение, поскольку способствует формированию единого информационного пространства в области электронного здравоохранения, не нарушая целостности существующей медицинской инфраструктуры [2].

Основными функциональными возможностями системы при этом являются:

- Описание в формализованном виде в компьютерной форме клинических ситуаций в терминах онтологий;
- Описание клинических рекомендаций, стандартов и методик лечения заболеваний в терминах используемой онтологии (т.е. в форме семантической сети понятий и отношений между ними);
- Формирование рекомендаций для создания «персонального» плана лечения пациента на основе первичной информации о нём (диагноз, симптомы заболевания, жалобы пациента, результаты анализов и обследований);
- Доступ к клиническим рекомендациям посредством веб-сервиса;

- Интерфейсы API для интеграции с внешними информационными системами (системами управления данными клинических исследований, медицинскими информационными системами уровня ЛПУ и др.).

Апробация и испытания системы будут проводиться применительно к сфере амбулаторно-поликлинической помощи на базе медицинской информационной системы «Практика», предназначенной для информационной поддержки врачей общей практики и внедренной в более чем 100 офисах врачей общей практики во всех муниципальных образованиях Самарской области [3].

Заключение

Таким образом, за счёт создания интеллектуальной системы поддержки принятия решений для оказания персонифицированной медицинской помощи пациентам будут достигнуты следующие результаты:

- Сокращение временных затрат, связанных с постановкой диагноза и формированием плана лечения пациентов.
- Повышение уровня профессиональной компетентности молодых врачей и специалистов.
- Повышение качества предоставляемых гражданам медицинских услуг.

Вместе с тем, для того чтобы полностью перейти к системе здравоохранения, ориентированной на пациента и его потребности, жизненно важна активная поддержка со стороны медицинских сообществ, а также осознание практикующими врачами необходимости перехода к системам управления медицинскими знаниями. Опыт реализации проектов в области электронного здравоохранения и семантических технологий, накопленный в Самарской области, доказывает, что с технической точки зрения такой переход возможен.

Список литературы

- [1] Куличенко В.П., Гриценко Е.А., Тяпухина Т.В., Сурнин О.Л., Волхонцев Д.В., Быченков К.В., Мартышкин Д.М. Предоставление гражданам государственных услуг в сфере социальной защиты населения и здравоохранения в электронной форме в рамках развития информационного общества в Самарской области. – “Управление качеством медицинской помощи”, №2, 2010 – МИАЦ Самарской области, 2010.
- [2] В.А. Виттих, Е.А. Гриценко, П.В. Ситников и др. Онтологический подход к разработке и внедрение информационно-аналитической системы управления предоставлением консолидированных услуг населению (на примере сферы здравоохранения и социального развития Самарской области) // Проблемы управления и моделирования в сложных системах: Труды XI международной конференции. – Самара: Самарский НЦ РАН, 2009. – с. 28-43.
- [3] Eike-Henner W. Kluge. E-Health and its challenges // Healthcare IT Management, 2010, vol.2, issue 5, P.32-34.
- [4] К.В.Быченков, Е.А.Гриценко, С.С.Разбегаева, П.О.Скобелев, О.Л.Сурнин, Т.В.Тяпухина, П.В.Тяпухин. Результаты разработки системы информационной поддержки врача общей практики // Проблемы управления и моделирования в сложных системах: Труды XI международной конференции. – Самара: Самарский НЦ РАН, 2009.

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЗАДАЧАХ ОЦЕНКИ ЖИЗНЕСПОСОБНОСТИ ПРОЕКТОВ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ

А.Е. Колоденкова

Уфимский государственный авиационный технический университет
450000, Уфа, ул.К. Марка, 12, Россия
anna82_42@mail.ru
тел: +7 (347) 272-74-65, факс: +7 (347) 272-29-18

Ключевые слова: НЕ-факторы, оценка жизнеспособности проекта, интеллектуальные технологии, нечетко-множественный подход, многоагентная система

Abstract

The methods offered for projects viability assessment allows to raise the validity of decision-making on the project realisation possibility due to which the risk of unsuccessful project fulfillment can be reduced.

Введение

При разработке проектов сложных систем для высокотехнологичных отраслей отечественной экономики, многих отраслей промышленности, энергетики и транспорта все большую актуальность приобретает проблема повышения эффективности управления проектом за счет специальных методов планирования, уменьшения рисков, оценивания трудоемкости, стоимости и времени разработки проекта.

Управление проектами является весьма специфической формой человеческой деятельности, подразумевающей системный подход к организации исполнения проекта при ограничениях на финансовые, материальные, человеческие, временные и прочие ресурсы и единообразное реагирование на нежелательные события и отклонения в процессе проектирования. В связи с этим в жизненном цикле проекта по разработке сложных систем важной стадией является анализ жизнеспособности проекта, направленный на недопущение провала и снижение рисков проекта, поскольку ошибки, допущенные на данной стадии, требуют значительных затрат на исправление на завершающих стадиях, а также в процессе сопровождения проекта.

В настоящей работе показана ключевая роль НЕ-факторов при концептуальном проектировании систем, порождающих недоопределенность моделей внутренней и внешней среды проекта, и акцентировано внимание на некоторых интеллектуальных технологиях, позволяющих преодолеть данные недоопределенности в задаче оценки жизнеспособности проекта.

1 Особенности НЕ-факторов в задаче оценки жизнеспособности проектов

Весьма значительную роль на стадии концептуального проектирования играют так называемые НЕ-факторы (*неточность, нечеткость, неполнота, неоднозначность* и т.п.), введенные в практику информационных интеллектуальных технологий А.С. Нариньяни и являющиеся отрицательной оценкой некоторого качества разрабатываемого проекта.

Среди НЕ-факторов, порождающих при концептуальном проектировании недоопределенность моделей внутренней и внешней среды проекта, необходимо выделить следующие:

- *неточность* – величина (неточное значение), которая может быть получена с точностью, не превышающей некоторый порог, определенный природой соответствующего параметра [1]. Неточность проявляется в тех случаях, когда разработчик в своих рассуждениях оперирует значениями каких-либо параметров (объем работ по проекту), полученных на

основе опроса мнения группы разработчиков в виде интервалов, являющихся неточным значением, задаваемым двумя более точными величинами-границами;

- *нечеткость (размытость)* – параметры, связанные с отсутствием точных границ. В большинстве случаев нечеткость в исходных данных возникает, когда разработчик пытается количественно охарактеризовать качественные понятия («возможный объем проектных работ из интервала»), которые он использует в своих рассуждениях. Необходимо отметить, что любому измеримому параметру может соответствовать несколько нечетких значений, каждому из которых в свою очередь соответствует определенная функция принадлежности;
- *неоднозначность* – неоднозначное значение, отражающее множество альтернатив, оцениваемых неравномерно с точки зрения некоторой конкретной семантики (жизнеспособность, желательность проекта и т.п.). Неоднозначное значение включает недоопределенный интервал и заданное на нем распределение, отражающее оценку каждого значения интервала. Заметим, что недоопределенный интервал может быть доопределен новой информацией, дополняющей знания о представляемом параметре (объем и время выполнения работ).

Таким образом, для преодоления трудностей, вызванных НЕ-факторами на стадии концептуального проектирования, необходимо использовать интеллектуальные технологии, которым удастся «устранить» неопределенность и придать проблеме оценки жизнеспособности проекта количественную определенность.

2 Нечетко-множественный подход к оценке жизнеспособности проекта

В случае вероятностной недоопределенности исходных данных, т.е. если, например, изменения объема и времени выполнения проектных работ подчиняются вероятностному закону распределения, весьма эффективен вероятностно-статистический подход, описанный в работах [2-4]. Однако часто применение вероятностно-статистического аппарата для оценки жизнеспособности проекта невозможно, поскольку исходная статистическая информация по некоторым параметрам разрабатываемого проекта либо не достаточно репрезентативна, либо просто отсутствует.

Более реальна ситуация, когда исходные данные о времени и объемах выполнения проектных работ являются нечеткими, т.е. обладают «размытостью». В этом случае предлагается использовать нечетко-множественный подход, основанный на использовании аппарата нечетких множеств и лингвистических переменных.

Идея нечетко-множественного подхода к оценке жизнеспособности проекта заключается в построении и анализе возможных альтернатив проекта по разработке систем в виде сетевых графиков выполнения проектных работ - ориентированных графов (V, E) , дуги которых соответствуют проектным работам, вершины - моментам их начала и окончания, а веса - объемам.

Пусть производительность разработчиков проекта известна неточно, т.е. для каждого конкретного объема работ ставится не конкретное время работ, а нечеткое множество «возможное время выполнения работ» с функцией принадлежности, где функция «наиболее ожидаемого времени выполнения работ» рассматривается в работе [5]. А также заданы альтернативы сетевых графиков выполнения проектных работ с указанием объема $V_j^{(i)}$ ($i = \overline{1, m}$,

$j = \overline{1, k_i}$, m – число альтернатив разработки проекта, k_i – количество видов работ в i -й альтернативе разработки проекта) для каждой работы в виде трапециевидного нечеткого числа $V_j^{(i)} = (V_{j,1}^{(i)}, V_{j,2}^{(i)}, V_{j,3}^{(i)}, V_{j,4}^{(i)})$, где $V_{j,1}^{(i)}$ – пессимистическая оценка выполнения объема работ, $[V_{j,2}^{(i)}, V_{j,3}^{(i)}]$ – интервал ожидаемого (возможного) объема работ, $V_{j,4}^{(i)}$ – оптимистическая оценка выполнения объема работ. Ставится задача расчета нечеткого показателя жизнеспособности $\Delta^{(i)}$ в виде критического пути.

Для расчета показателя $\Delta^{(i)}$, характеризующего жизнеспособность i -й проектной альтернативы предлагается следующий *четырёхэтапный алгоритм*, описанный в работах [5].

В контексте рассматриваемой задачи, роль времени выполнения работ $T_j^{(i)}$ играет множество X , а роль объемов работ $V_j^{(i)}$ – множество Y , значения которых будем обозначать соответственно через x и y . Считаем, что производительность разработчиков, т.е. зависимость $\tilde{\varphi}(x)$ известна неточно, поскольку строится на основе опроса мнения группы разработчиков, и является нечеткой функцией.

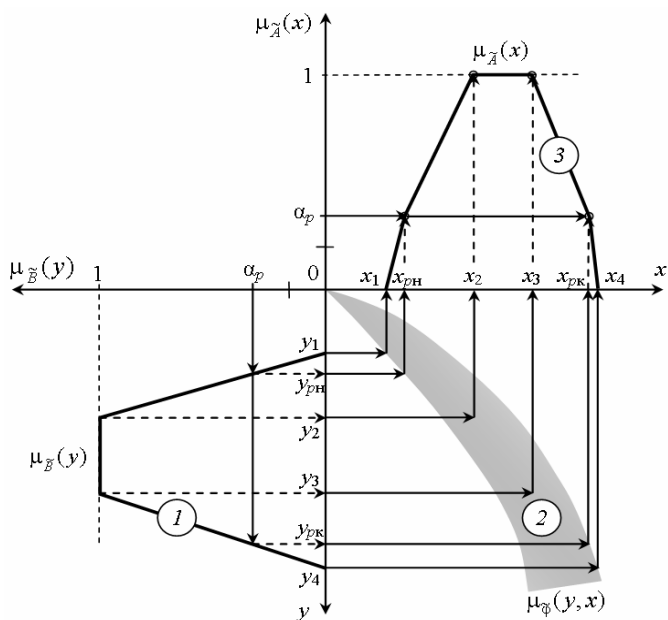


Рисунок 1 – Графическая иллюстрация построения функции принадлежности $\mu_A(x)$ при нечетком отображении

На рисунке 1 $y = (y_1, y_2, y_3, y_4)$ и $x = (x_1, x_2, x_3, x_4)$ – трапециевидные нечеткие числа, где x_1, y_1 – нижние границы интервала, $[x_2, x_3]$ и $[y_2, y_3]$ – интервалы наиболее ожидаемых значений анализируемых параметров, x_4, y_4 – верхние границы интервала; $[x_{pн}, x_{pк}]$, $[y_{pн}, y_{pк}]$ – интервалы достоверности нечеткого множества $\tilde{A}$ и $\tilde{B}$ на α_p уровне, причем $x_{pн}, y_{pн}$ – начало, а $x_{pк}, y_{pк}$ – конец данных интервалов.

3 Нечетко-интервальный подход к оценке жизнеспособности проекта

Анализ существующих подходов к решению задач многокритериальной оптимизации и принятия решения в условиях неопределенности показал, что их совместному решению уделяется недостаточное внимание. Эти задачи, как правило, рассматриваются отдельно, причем задача многокритериальной оптимизации чаще всего решается в детерминированной постановке, без учета интервальной неопределенности.

Однако в реальной ситуации исходные данные о времени и объемах выполнения проектных работ могут быть заданы интервально, т.е. известны лишь границы изменения значений анализируемого параметра разрабатываемого проекта, естественно целесообразно использо-

вать нечетко-интервальный подход к задачам оценки и выбора наиболее приемлемой альтернативы проекта по разработке систем.

Идея нечетко-интервального подхода к оценке жизнеспособности проекта заключается в анализе построенных альтернатив разработки проекта в виде сетевых графиков выполнения проектных работ. Оценка каждой i -й альтернативы разработки проекта заключается в формировании интервальной многокритериальной оценки вида

$$P^{(i)}(x, A^H) = \sum_{k=1}^l \langle A_k^{(i)H} \rangle p_k^{(i)}(x), \quad i = \overline{1; m},$$

где $\langle A_k^{(i)H} \rangle$ - нормализованные интервальные коэффициенты относительной важности k -го критерия i -й альтернативы разработки проекта; $p_k^{(i)}$ - функция полезности частных критериев $C_k^{(i)}$; а m - число альтернатив разработки проекта; а l - количество частных критериев.

Частные критерии (объем работ по проекту, время выполнения проекта, стоимость проекта и др.) могут быть представлены в виде интервальных или нечетких (треугольных и трапециевидных) чисел.

Пусть заданы альтернативы сетевых графиков выполнения проектных работ $X^{(i)}$ с оценивающими их интервальными критериями $C_k^{(i)}$. Ставится задача формирования интервальной оценки обобщенной полезности $P^{(i)}(x, A^H)$, характеризующей жизнеспособность проекта с помощью обычной интервальной арифметики.

Предлагается алгоритм решения данной задачи, который для i -й альтернативы разработки проекта состоит из следующих *четырёх этапов*:

- расчета функций полезности частных критериев $p_k^{(i)}(x)$;
- нормализации интервальных коэффициентов $\langle A_k^{(i)H} \rangle$ относительной важности частных критериев;
- расчета интервальных оценок обобщенной полезности $P^{(i)}(x, A^H)$;
- принятия решения на основе анализа множества интервальных оценок

$$x^0 = \arg \max_{x \in X} P^{(i)}(x, A^H).$$

Поскольку в обычной интервальной арифметике осуществляется быстрый рост ширины интервала результата по мере возрастания числа арифметических операций с интервалами, то данный алгоритм целесообразно применять для обобщенной интервальной арифметики и централизованных форм, целью которых является попытка препятствовать росту интервала.

Итак, предлагаемый подход, являющийся комбинацией метода многокритериального принятия решения и метода интервального анализа, позволяет на стадии анализа жизнеспособности проекта принять решение либо об отказе от анализируемого варианта проекта, либо о запуске его в производство, либо о формировании его новых альтернативных вариантов.

4 Многоагентная система для распределения трудовых ресурсов

В связи с ростом масштаба проектов по разработке систем и возрастанием требований к их своевременному завершению при наличии НЕ-факторов окружающей среды, многоагентная парадигма получает все большее распространение в задачах концептуального проектирования и, в частности, в задачах распределения трудовых ресурсов.

Внешняя среда многоагентной системы (МАС) для решения задач распределения ресурсов (материальных, информационных, трудовых) при управлении проектом с целью получения оптимального графика проектных работ представлена на рисунке 2.

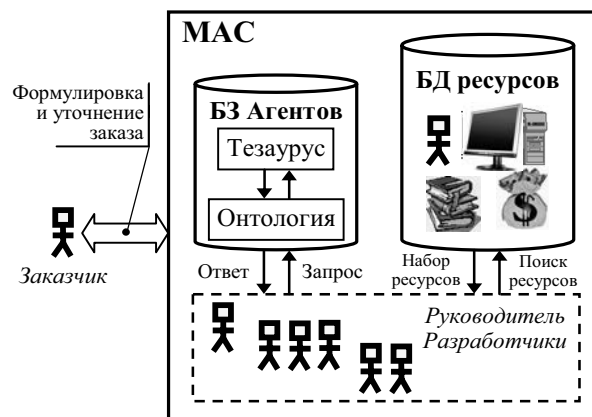


Рисунок 2 – Внешняя среда MAC

Из рисунка видно, что окружающая среда MAC состоит из набора взаимодействующих агентов. Под *агентами* понимается программная сущность, принимающая информацию из внешней среды и реагирующая на внешние возмущения. Агенты способны автономно решать возложенные на него задачи и адаптироваться к изменениям во внешнем окружении за счет ряда свойств (атрибутов, параметров), которые характеризуют его деятельность.

Основными элементами агентов, дающими им возможность обладать определенным уровнем восприятия, умения познавать и действовать, являются *базы знаний* (БЗ) агентов, служащие для сбора, выдачи и хранения знаний, полученных в процессе жизни агента, содержащие при этом взаимосвязанные онтологию и тезаурус, описывающие среды деятельности, цели, задачи и сценарии действий (например, знания о решениях предыдущих задач, сведения о критериях жизнеспособности проекта и т.п.). Информация об имеющихся свободных ресурсах, например, о дополнительном финансировании проекта, информационной поддержке и дополнительных разработчиках на время поступления заказа, хранится в *базе данных* (БД) ресурсов.

Ресурсы в общем случае имеют два основных параметра: местонахождение и состояние. Для получения или рассмотрения ресурса, агент должен точно знать значение этих параметров, однако это сопряжено с рядом трудностей, поэтому создается гибкий механизм инициализации обмена ресурсами. Для этого необходимо переложить знания о структуре и состоянии ресурсов на сами ресурсы или места их возникновения, а затем организовать взаимодействие ресурсов и переложить заботу об обеспечении компонентов ресурса на него самого, т.е. превращаем ресурс в активный компонент (агент).

Структура взаимодействия агентов MAC, ориентированная на решение задачи распределения ресурсов по проекту представлена на рисунке 3.

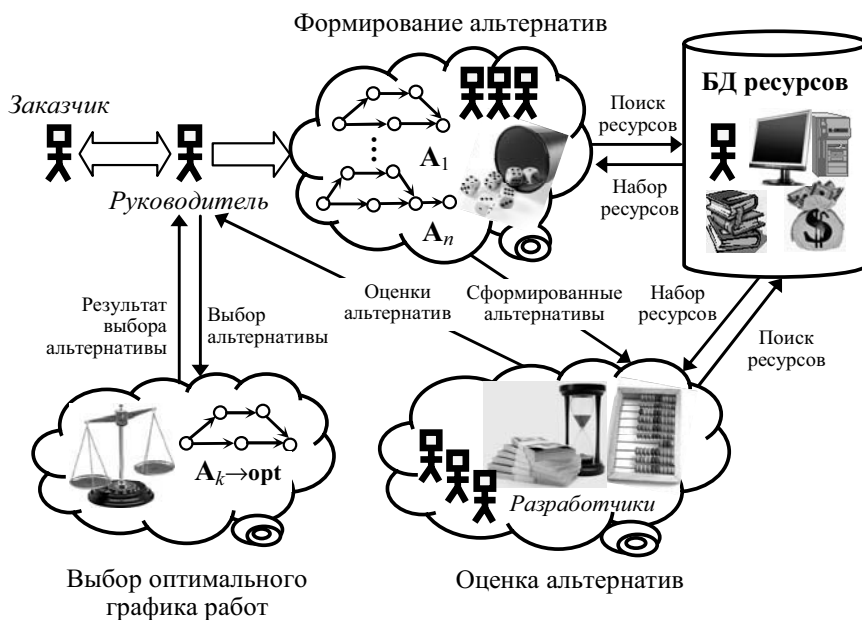


Рисунок 3 – Структура взаимодействия агентов МАС для распределения ресурсов

Формальную модель МАС можно представить следующим кортежем:

$$MAS = (A, E, R),$$

где $A = \{A_i\}$, $(i = \overline{1; N})$ – множество агентов A_i , участвующих во взаимодействии; $E = \{e_m\}$, $(m = \overline{1; M})$ – среда системы; R – множество взаимодействий между агентами A_i в среде e_m .

Здесь множество агентов A_i формируется из должностных лиц предприятия. В качестве среды E выступают агенты, обменивающиеся информацией (*внутренняя среда*), и агенты, обменивающиеся информацией с заказчиком (*внешняя среда*). Множество взаимодействий R между агентами описывается моделью агента и моделью их взаимодействия.

Из рисунка 3 видно, что МАС для распределения ресурсов основывается на трех интеллектуальных агентах: заказчик, руководитель, разработчики.

Агент-заказчик – формирует заказ по разработке ПО (систем) и уточняет его с агентом-руководителем, способного выполнить заказ в срок, с соблюдением необходимого уровня качества, и отвечающих всем необходимым требованиям. Агент-заказчик характеризуется такими параметрами, как сроки выполнения заказа ($t_{\text{вып}}$); время поступления заказа ($t_{\text{пост}}$); объем заказа (V_3); стоимость заказа P .

После уточнения и утверждения заказа агент-руководитель передает его агентам-разработчикам для выполнения. *Агент-руководитель* по мере осуществления проекта постоянно контролирует ход работ; распределяет ресурсы по работам; выбирает оптимальный график работ на основании оценок, полученных от агентов-разработчиков; подготавливает решение агенту-заказчику. Агент-руководитель характеризуется следующими параметрами: сроки выполнения заказа; стоимость заказа; состояния ресурсов; состояния агентов-разработчиков; планы агентов-разработчиков; параметры агентов-разработчиков.

Агенты-разработчики формируют альтернативы проекта, а также осуществляют оценку альтернатив для агента-руководителя. К параметрам агентов-разработчиков относятся: сроки выполнения заказа; риск не выполнения заказов; стоимость выполнения заказов, если речь идет о дополнительных агентах-разработчиках из базы данных ресурсов (БД ресурсов); профессиональные характеристики. Следует заметить, что этап формирования альтернатив разра-

ботки проекта, состоит из двух шагов: сначала агенты-разработчики проект разбивают на задачи (работы) для удобства отслеживания хода работ, а затем агент-руководитель распределяет агентов-разработчиков по этим работам.

Заключение

В работе рассмотрены нечетко-множественный и нечетко-интервальный подходы к оценке жизнеспособности проекта, а также предложена структура многоагентной системы, обеспечивающей оптимальное распределение трудовых ресурсов и позволяющей разработчикам получить оптимальный график работ, что способствует успешному завершению всего проекта. В дальнейшем весьма перспективным направлением в области концептуального проектирования является решение задачи комбинаторной оптимизации распределения ресурсов по альтернативам с использованием генетических алгоритмов.

Список литературы

- [1] Нариньяни А.С. Введение в недоопределенность // Информационные технологии. Приложение. – 2007. – № 4 – 32 с.
- [2] Колоденкова А.Е. Задачи программного инжиниринга сложных систем на основе критерия жизнеспособности проекта // Проблемы управления и моделирования в сложных системах / Труды XII Междунар. конф. – Самара: Самарский НЦ РАН, 2010. – С. 593-598.
- [3] Колоденкова А.Е. Статистический подход к оценке реалистичности программных проектов для автоматизированных информационно-управляющих систем // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2010. – № 4. – С. 52-60.
- [4] Колоденкова А.Е. Анализ жизнеспособности – важная стадия жизненного цикла инновационных программных проектов // Программная инженерия. – 2010. – №1. – С. 18-25.
- [5] Колоденкова А.Е. Нечетко-множественный подход к оценке реалистичности альтернатив программного обеспечения мехатронных систем // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2011. – №4. – С. 45-53.

УПРАВЛЕНИЕ ВЗАИМООТНОШЕНИЯМИ С КЛИЕНТАМИ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ КОМПАНИИ НА ОСНОВЕ АЛГОРИТМОВ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ПОДДЕРЖКИ

М.А. Богомолова, Р.Р. Халимов

Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики
443010, Самара, ул. Льва Толстого, 23, Россия
bmasamara@mail.ru
тел: +7 (846) 228-00-36

Ключевые слова: имитационное моделирование, имитационная модель, интеллектуальная информационная система, управление взаимоотношениями с клиентами

Abstract

The paper investigates the efficient solution way of the customer relationship management problem. This way is based on the modern information technologies execution to the regional telecom companies' business-processes research.

Введение

Практически для любой телекоммуникационной компании (ТКК) на первом месте сегодня стоит решение методологических проблем, связанных с созданием эффективной модели управления компанией, с учетом особенностей развития региональных рынков связи, реинжинирингом основных бизнес-процессов, касающихся работы с клиентами. В качестве современного подхода к построению и эффективному управлению взаимоотношениями с клиентами используется концепция CRM (Customer Relationship Management – управление взаимоотношениями с клиентами), в рамках которой рассматривается проблематика применения передовых управленческих и информационных технологий (ИТ) для сбора и обобщения разнородной информации по взаимодействию с клиентами.

По мнению академика А.А. Самарского, «методология математического моделирования может и должна быть ядром ИТ», поскольку в соответствии с законом У. Эшби, сложность механизма управления должна соответствовать сложности объекта управления. В этой связи можно сослаться на академика Н.Н. Моисеев, который в начале 70-х годов убедительно показал, что при оптимальном управлении сложными иерархическими системами непригоден классический «принцип максимума» Л.С. Понтрягина, так как каждая подсистема в такой системе сама может иметь цель и критерий оптимальности для достижения этой цели. Но в таких условиях пригоден метод имитационного моделирования (МИМ), позволяющий решать задачи исключительной сложности: когда исследуемая система одновременно содержит элементы непрерывного и дискретного действия, подвержена влиянию многочисленных случайных факторов сложной природы, описывается громоздкими аналитическими соотношениями и т.д.

Несмотря на значительное число работ, посвященных общим и частным вопросам применения новых ИТ, из которых наиболее мощной и динамично развивающейся является технология имитационного моделирования, в настоящее время отсутствуют методы и алгоритмы интеллектуальной поддержки принятия управленческих решений в области взаимоотношений с клиентами, в результате оптимизация осуществляется недостаточно эффективно. Следовательно, интеллектуализация систем принятия управленческих решений по взаимодействию с клиентами представляется исключительно перспективным направлением повышения эффективности управления деятельностью ТКК. Отсюда вытекает цель исследования: разработка

интеллектуальной информационной системы (ИИС) управления взаимоотношениями с клиентами региональной ТКК на основе применения МИМ к исследованию бизнес-процессов в интересах повышения эффективности экономической деятельности ТКК.

Алгоритмы интеллектуальной поддержки принятия решений по управлению взаимоотношениями с клиентами

Автоматизировать экспертные процедуры анализа взаимоотношения с клиентами ТКК позволяет применение интеллектуальных блоков в информационной системе – имитационной модели (ИМ) и базы знаний. В этой связи предложена функциональная схема ИИС, архитектура которой дополнена подсистемой имитационного моделирования с целью обеспечения механизма выбора наиболее успешного управленческого решения. В результате подсистема принятия решений, включающая ИМ и базу знаний, разрабатывается в рамках ИИС как обратная связь внешнего контура кибернетической системы управления.

Основываясь на данных ИМ о состоянии бизнес-процесса и влиянии случайных факторов, данная подсистема реализует метод принятия решений по управлению взаимоотношениями с клиентами на основе базы знаний и стратегии логического вывода. Мероприятия по управлению взаимоотношениями с клиентами закладываются в базу знаний в виде знаний, представленных в выбранной модели представления знаний. Таким образом, на первом этапе целесообразно выявить рекомендации по управлению взаимоотношениями с клиентами и на этой основе разработать структуру алгоритмов интеллектуальной поддержки принятия управленческих решений, за счет которой будет обеспечиваться эффективность применения выявленных рекомендаций.

Объектом исследования выступает реальный бизнес-процесс взаимоотношений с клиентами региональной ТКК на примере филиала ОАО «ВолгаТелеком» в Чувашской республике, особенности указанного бизнес-процесса в интересах повышения эффективности управления. Поскольку количество клиентов ТКК достаточно велико, все клиенты разбиваются на 4 категории ($i=4$), объединяющие сходных клиентов по критерию выручки от продаж услуг связи. В результате имеем несколько групп, к членам каждой из которых можно применить сходную политику стимулирования или доставить одинаковый рекламный материал.

Вид и характер принимаемых управленческих решений зависит от того, к какому уровню иерархии это решение относится.

Верхний уровень иерархии решений включает рекомендации по управлению взаимоотношениями с клиентами на стратегическом уровне, направленном на повышение эффективности и доходности деятельности ТКК за счет привлечения и удержания клиентов. То есть речь идет о максимизации прибыли, получаемой от клиента, и о том, как заставить клиента работать с услугами с максимальной отдачей.

- $R_{[i]}^1 = \{\text{удержать (10\% наиболее прибыльных клиентов могут представлять от 50\% до 80\% прибыли ТКК. Таким образом, потеря клиента может быть очень чувствительна для бизнеса, поэтому ТКК должна выполнять действия по удержанию клиентов)}\};$
- $R_{[i]}^2 = \text{улучшить (Эти клиенты могут увеличить свою ценность для ТКК посредством инициатив в кросс-продажах и прямой работе с клиентом. Возможно, эти клиенты не получили интересных предложений в прошлом или столкнулись с неадекватным сервисом со стороны менеджеров. Должны быть предприняты попытки по расширению и углублению коммерческих взаимоотношений с клиентами)};$
- $R_{[i]}^3 = \text{изучать (Рекомендуется изучать клиентов для определения тех из них, с которыми можно найти больше точек соприкосновения в будущем, для выявления сегментов, в которых будущее сотрудничество наиболее вероятно)}\}.$

На среднем уровне иерархии база знаний должна выдавать рекомендации по регулированию показателей выручки, эксплуатационных и коммерческих расходов по категориям клиентов, поскольку повышение уровня удержания и удовлетворенности клиентов означает одновременное снижение издержек и увеличение эффективности взаимодействия с клиентом.

На нижнем уровне выдаются рекомендации по регулированию показателей, влияющих на значения показателей среднего уровня (выручки, эксплуатационных и коммерческих расходов): в ИМ бизнес-процесса учтены 15 таких случайных факторов (поскольку выделено 4 категории клиентов по признаку выручки от продаж, число случайных величин составляет 60).

- 1) N_{newcl} – количество новых клиентов.
- 2) N_{delcl} – количество клиентов, отключенных от сети передачи данных.
- 3) N_{newmod} – количество оборудования ТКК, сданного в аренду.
- 4) N_{delmod} – количество оборудования ТКК, возвращенного из аренды.
- 5) N_p – число подключений абонентов к сети передачи данных через выделенный доступ.
- 6) D_{cd} – выручка от предоставления доступа по коммутируемому каналу.
- 7) D_p – выручка от услуги организации выделенного доступа к сети передачи данных.
- 8) D_{DSL} – выручка от услуг выделенного доступа к сети Интернет по технологии xDSL.
- 9) D_{vd} – выручка от пакета услуг, включающих выделенный доступ к Интернет.
- 10) D_{CTV} – выручка от услуг выделенного доступа к Интернет по сети кабельного ТВ.
- 11) D_{VPN} – выручка от услуг по организации виртуальной сети передачи данных.
- 12) D_{arenda} – выручка от услуг предоставления в аренду оборудования ТКК.
- 13) V_{intr} – объем входящего IP-трафика абонента, Мбайт.
- 14) C_p – затраты на подключение абонента к сети.
- 15) C_{dz} – дебиторская задолженность.

Поэтому множества решений, выдаваемых базой знаний на среднем и нижнем уровнях иерархии, включают следующие рекомендации:

{удержать уровень фактора; изучать причины отрицательного изменения фактора}.

Приведенные решения отражают основные закономерности управления взаимоотношениями с клиентами, определяют критические точки и средства вмешательства человека в процессы управления. В результате перечисленные рекомендации, с одной стороны, позволяют решать задачи, направленные на удовлетворение и удержание клиентов, с другой – служат оптимизации деятельности ТКК, сокращая издержки, связанные с поиском и обработкой информации, анализом данных, управлением продажами и т.д.

Таким образом, окончательный вывод о состоянии взаимоотношений с клиентами складывается из оценки динамики прибыли $R[i]$, выручки от реализации $R_{[i]}^D$, эксплуатационных

$R_{[i]}^{C1}$ и коммерческих расходов $R_{[i]}^{C2}$ по четырем категориям клиентов (i – номер категории клиентов). Это связано с тем, что результатом применения концепции CRM является повышение конкурентоспособности ТКК и увеличение прибыли, так как правильно построенные отношения, основанные на персональном подходе к каждому клиенту, позволяют привлекать новых клиентов и помогают удерживать существующих. Таким образом, теоретическая модель рекомендаций ИИС представлена в виде иерархии:

$$R = \{R_{[1]} \{R_{[1]}^D, R_{[1]}^{C1}, R_{[1]}^{C2}\}; R_{[2]} \{R_{[2]}^D, R_{[2]}^{C1}, R_{[2]}^{C2}\}; R_{[3]} \{R_{[3]}^D, R_{[3]}^{C1}, R_{[3]}^{C2}\}; R_{[4]} \{R_{[4]}^D, R_{[4]}^{C1}, R_{[4]}^{C2}\}\}.$$

Она позволяет, выявив возможные решения по управлению, провести классификацию решений по способу воздействия и по месту возникновения сбоев. На ее основе требуется провести анализ ситуации и разработать логико-лингвистическую модель принятия решений.

С учетом высказанных соображений граф ситуаций, используемых при управлении, представлен в виде дерева, ветви которого определяют ситуации. Всего выделено 160 базовых ситуаций, предполагающих различные алгоритмы управления. Все ситуации проанализированы в соответствии с причинно-следственными зависимостями параметров (рисунок 1).

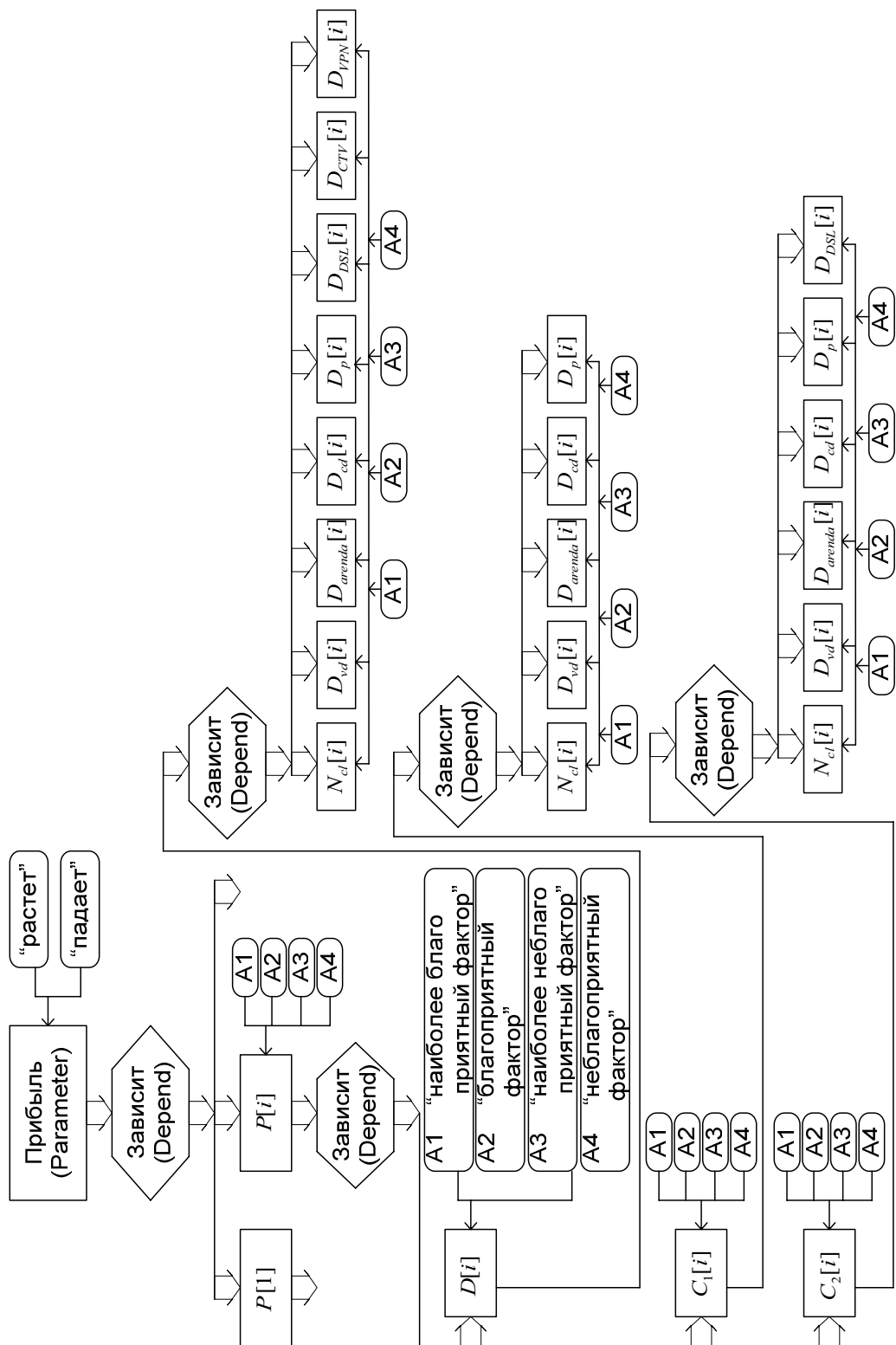


Рисунок 1 – Концептуальная схема

Множество возможных решений по регулированию выявленных ситуаций представляется в форме базы знаний, основанной на правилах, логически увязывающих параметры бизнес-процесса. Использование логической модели представления знаний при разработке базы знаний обосновано требованиями сложности, многовариантности и неформализуемости оценок.

Применительно к разработанному графу состояний, в котором вектор состояния $\bar{P}$ определяется показателями изменения прибыли по четырем выделенным категориям клиентов:

$$\bar{P} = \{P[1], P[2], P[3], P[4]\}, \bar{P} \in X,$$

любая макроситуация S_l может быть описана формулой:

$$S_l : \text{Par}(P[1], \xi_{k_{P[1]}}^{P[1]}) \& \text{Par}(P[2], \xi_{k_{P[2]}}^{P[2]}) \& \text{Par}(P[3], \xi_{k_{P[3]}}^{P[3]}) \& \text{Par}(P[4], \xi_{k_{P[4]}}^{P[4]}),$$

где $l = \overline{1, 160}$ – номер макроситуации в соответствии с вектором $\bar{P}$ по графу состояний;

$\text{Par}(x_1, \xi_k^1)$ – предикат, его значение истинно, когда x_1 принимает значение ξ_k^1 ;

$$\xi_{k_{P[1]}}^{P[1]} \in w^{P[1]}; \dots; \xi_{k_{P[4]}}^{P[4]} \in w^{P[4]}(s_l);$$

$w^{P[i]}$ – множество значений параметра $P[i]$.

Для целей анализа построена предикатная модель, основанная на лингвистической шкале.

Поэтому параметры оценки ситуации принимают значения:

$$\xi_{k_p}^P \in W^P; W^P = \{\xi_{1_p}^P = \text{"растет"}; \xi_{2_p}^P = \text{"падает"}\};$$

$$\xi_{k_{P[i]}}^{P[i]} \in W^{P[i]}; W^{P[i]} = \{\xi_{1_{P[i]}}^{P[i]} = \text{"наиболее благоприятный фактор"}\};$$

$$\xi_{2_{P[i]}}^{P[i]} = \text{"благоприятный фактор"}; \xi_{3_{P[i]}}^{P[i]} = \text{"наиболее неблагоприятный фактор"};$$

$$\xi_{4_{P[i]}}^{P[i]} = \text{"неблагоприятный фактор"}.$$

Ситуация S_l считается идентифицированной, если каждый из параметров вектора состояния $\bar{P}$ принимает одно из значений соответствующего множества $w_x^{P[i]}$ и логическая формула становится истинной. Задание допустимой области осуществлено следующим образом: параметры бизнес-процесса должны принимать любое из значений $\xi_1^P \in w^P(s_l)$, $\xi_1^{P[i]}, \xi_2^{P[i]} \in w^{P[i]}(s_l)$. Значения $\xi_2^P, \xi_3^{P[i]}, \xi_4^{P[i]}$ не входят в допустимую область.

Правила задания ограничений определены в базе знаний следующими формулами:

$$\mu: \text{Bel}(P, w^P(s_l)) \& \text{Bel}(P[1], w^{P[1]}(s_l)) \& \text{Bel}(P[2], w^{P[2]}(s_l)) \& \dots \& \text{Bel}(P[4], w^{P[4]}(s_l)),$$

где $\text{Bel}(x_1, w^1(s_l))$ – предикат, принимает значение ИСТИНА, если параметр x_1 соответствует множеству $w^1(s_l)$ допустимых значений.

Зависимость между параметрами, влияющими на прибыль ТКК, устанавливается правилом $z1$, составленным в виде логической формулы:

$$z1: (\text{Dep}(P, P[1]) \& \text{Dep}(P, P[2]) \& \text{Dep}(P, P[3]) \& \text{Dep}(P, P[4])),$$

где $\text{Dep}(x_1, x_j)$ – предикат, устанавливает факт зависимости параметра x_1 от x_j .

Отношения предпочтения вводятся с помощью предиката **Best**. Отношения предпочтения составляются для каждой пары значений $\xi_i, \xi_j, i \neq j$:

$$\rho1 = \text{Best}(\xi_1^P, \xi_2^P);$$

$$\rho2 = \text{Best}(\xi_1^{P[i]}, \xi_2^{P[i]}) \& \vee \text{Best}(\xi_1^{P[i]}, \xi_3^{P[i]}) \& \vee \text{Best}(\xi_1^{P[i]}, \xi_4^{P[i]}) \& \vee \text{Best}(\xi_2^{P[i]}, \xi_3^{P[i]}) \& \vee \text{Best}(\xi_2^{P[i]}, \xi_4^{P[i]}) \& \vee \text{Best}(\xi_3^{P[i]}, \xi_4^{P[i]}).$$

Зафиксированное наличие связей между показателями конкретизируется с помощью правила L , устанавливающих связи между фактами:

$$L: \text{Par}(P, \xi_{1_p}^P) \& \rho1 \& z1.$$

С учетом зависимости параметров друг от друга и отношений предпочтений правила выбора оптимального значения критерия записаны в виде:

$$q^P : (\exists \xi_{onm}^P)(\forall \xi_i^P \neq \xi_{onm}^P) \mathbf{Best}(\xi_{onm}^P, \xi_i^P) \& L.$$

Преобразование исходной ситуации в целевую происходит под действием алгоритмов принятия решений на каждом шаге управления. Формирование алгоритма управления определяется возникающей ситуацией. Сущность принятия решения состоит в том, что необходимо изменить значение параметров, влияющих на сложившуюся ситуацию.

Факт принятия решения можно описать двухместным предикатом $\mathbf{Work}(P[i], \delta_k(P[i]))$ (сделать), который устанавливает новое значение параметра, то есть определяет факт принятия некоторого R решения (δ_k – список управляемых факторов на нижнем уровне иерархии, изменение которых наиболее существенно повлияло на изменение параметра $P[i]$).

В общем случае для принятия решения необходима проверка на допустимость рекомендуемых действий: надо установить, что управляемый параметр в данной ситуации не принадлежит своей области допустимых значений по $\mathbf{Bel}(x_1, w^1(s_i))$ и требует корректировки. Принять решение – это значит в базе знаний установить истинность выражений:

$$R_{[i]}^1 : \mathbf{Work}(P[i], \delta_k(P[i])) : - \mathbf{Par}(P[i], \xi_1^{P[i]}) \& (\mathbf{Bel}(P[i], w^{P[i]}(s_i)));$$

$$R_{[i]}^2 : \mathbf{Work}(P[i], \delta_k(P[i])) : - \mathbf{Par}(P[i], \xi_2^{P[i]}) \& (\mathbf{Bel}(P[i], w^{P[i]}(s_i)));$$

$$R_{[i]}^3 : \mathbf{Work}(P[i], \delta_k(P[i])) : - \mathbf{Par}(P[i], \xi_3^{P[i]}) \& (\mathbf{noBel}(P[i], w^{P[i]}(s_i)));$$

$$R_{[i]}^3 : \mathbf{Work}(P[i], \delta_k(P[i])) : - \mathbf{Par}(P[i], \xi_4^{P[i]}) \& (\mathbf{noBel}(P[i], w^{P[i]}(s_i))).$$

где «:-» – знак, означающий, что если условия выполняются, то R истинно.

Поскольку предполагается корректировка нескольких параметров одновременно (прибыльности всех четырех категорий клиентов), процесс принятия решения описывается более сложными алгоритмами $\alpha_j(F_k)$:

$$\alpha_j(F_k) : - \mathbf{Work}(P[1]), \delta_k^{P[1]}(P[1]) \& \vee \mathbf{Work}(P[2]), \delta_k^{P[2]}(P[2]) \& \vee \dots \& \vee \mathbf{Work}(P[4]), \delta_k^{P[4]}(P[4]),$$

где $F_k = \{\delta_k^1, \delta_k^2, \dots, \delta_k^n\}$ – множество возможных действий для α_j -го алгоритма.

В целом база знаний ИИС может быть представлена в виде совокупности правил, описывающих закономерности взаимосвязей параметров, ситуаций и решений. Процедура принятия решения R^j предполагает следующую логическую последовательность действий:

$$R^m : - S_1 \& z \& L \& \alpha_j \& q^P.$$

Решение R^m принимается, если определена ситуация S_1 и выявлены зависимости параметров z , и установлены логические соотношения L , и применены алгоритмы принятия решений α_j , оптимизирующие q^P – основной показатель P (прибыль).

Для того, чтобы отношения с клиентом перешли на новый качественный уровень, важно не только сформулировать основные этапы воздействия на него, не менее важно оценить результат этого воздействия. Только в этом случае, взаимоотношения будут интерактивными и возможно достижение максимального эффекта. Эффективность мероприятий по управлению взаимоотношениями с клиентами, рекомендуемых к проведению базой знаний ИИС, оценивается при различных условиях их проведения с использованием ИМ, которая служат основой для выбора управляющих решений ИИС.

Оценка эффективности управленческих решений с помощью ИМ осуществляется в следующей последовательности.

- 1) Выбрать параметры, которые подлежат управлению.
- 2) Если неуправляемый прогноз показывает тенденции, пики или спады, которые не устраивают исследователя, то они должны быть измерены в конкретных единицах по отношению к желаемой траектории прогноза. Эти данные можно получить, осуществив неуправляемый прогноз данного ряда. Для выработки необходимой траектории следует, исходя из

специфики объекта или процесса, подобрать определенную совокупность управляющих факторов, воздействующих на этот объект или процесс, так, чтобы ненужные тенденции, пики или спады были нивелированы. Таким образом, воздействие управляющих факторов должно вызвать эффект, равный по величине и противоположный по направлению негодным тенденциям, то есть пикам или спадам в прогнозируемом периоде.

Анализ обратной связи, проводимый в результате экспериментов с ИМ, обеспечивает для ТКК возможность своевременно оценивать результаты своего предложения на рынке, определять эффект своих маркетинговых инициатив, более точно оценивать существующий спрос и соответственно вносить изменения в портфель услуг.

Основные результаты и выводы

Таким образом, подсистема принятия решений в ИИС, *отличается тем, что реализует метод принятия решений по управлению взаимоотношениями с клиентами региональной ТКК с использованием логических алгоритмов интеллектуальной поддержки принятия управленческих решений, основанных на анализе дерева решений, на причинно-следственной взаимосвязи основных показателей бизнес-процесса взаимоотношений с клиентами и на логической увязке принимаемых решений с помощью базы знаний и ИМ.*

На ее основе функциональная схема ИИС, *в отличие от известных, реализует принцип управления взаимоотношениями с клиентами региональной ТКК по обратной связи с диагностикой состояния бизнес-процесса на основе его ИМ, что обеспечивает новую технологию управления ТКК на основе объединения МИМ с технологией экспертных систем и дополнения интерактивным диалогом с пользователем.*

Значение результатов для теории управления в социальных и экономических системах (именно – в системе взаимоотношений с клиентами) заключается в сочетании дискретного подхода при принятии решений и непрерывного вероятностного подхода при моделировании данных. Это определяет новизну логических алгоритмов построения ситуационного анализа, на основе которых принимается управленческое решение. Предполагаемое вмешательство лица, принимающего решение, в процесс управления только в нужные моменты, предварительный анализ динамики, а также логические алгоритмы принятия решений представляют собой новую технологию управления взаимоотношениями с клиентами региональной ТКК. Использование передовых информационных и управленческих технологий делает ИИС важным неотъемлемым элементом стратегии управления взаимоотношениями с клиентами CRM.

Значение результатов для практики управления взаимоотношениями с клиентами заключается в том, что они дают научное обоснование для принятия управленческих решений, что позволяет повысить эффективность экономической деятельности региональной ТКК.

Список литературы

- [1] Самарский А.А., Михайлов А.П. Математическое моделирование: идеи, методы, примеры. М.: Наука, Физматлит, 1997. 320 с.
- [2] Моисеев Н.Н. Элементы теории оптимальных систем. М.: Наука, 1975. 526 с.
- [3] Ильясов Б.Г., Исагилова Л.А., Валеева Р.Г.. Моделирование производственно-рыночных систем. Уфа: изд. УГАТУ, 1995. 321 с.
- [4] Архитектура интеллектуальной экономической информационной системы телекоммуникационной компании / Э.М. Димов, М.А. Богомолова // Телекоммуникации. 2007. №8. С. 45–48.
- [5] Реинжиниринг процесса управления обращениями клиентов телекоммуникационной компании / М.А. Богомолова // Инфокоммуникационные технологии. 2007. Т. 5. №4. С. 61–66.

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРИМЕНЕНИЯ ОНТОЛОГИЙ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ МАТЕМАТИЧЕСКОГО И ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ

А.П. Колеватов¹, Т.А. Ульяновская¹, Е.А. Поляков²

¹ОАО «Пермская научно-производственная приборостроительная компания»
614990, Пермь, ул. 25 Октября, 106, Россия
passplant@yandex.ru

тел: +7 (919) 719-17-78, факс: +7 (342) 280-97-19

²Пермский государственный технический университет
614990, Пермь, Комсомольский пр., 29, Россия
passplant@yandex.ru
тел: +7 (342) 239-11-59

Ключевые слова: *объектно-ориентированный подход, онтологии, моделирование, алгоритмы, программное обеспечение, навигационные системы*

Abstract

The approach to designing algorithmic and software of navigating systems consisting in use is considered as a conceptual basis of the project of the base structure consisting of program objects and the certain relations between them. The given approach allows unifying the design decisions within the framework of systems of the certain classes, having begun designing from the chosen base structure of the project. For automation of process of development, debugging both testing algorithmic and software of navigating systems the generator of a program code allowing to form an initial skeleton of the project of the onboard software from ontology and to create a necessary program environment for debugging, testing of the project is created.

Введение

Известно, что традиционные алгоритмы навигационных систем сформировались приблизительно в 50^х - 80^х годах прошлого столетия. Однако математическое и программное обеспечение современных навигационных систем усложняется. Это усложнение связано с переходом к разработке бесплатформенных инерциальных навигационных систем, интегрированных инерциально-спутниковых навигационных систем, требованиями Регистров и т.д. Усложнение математического и программного обеспечения технически поддержано совершенствованием бортовых вычислителей. Современные бортовые вычислители навигационных систем по мощности превосходят электронно-вычислительные машины, которые в 70^х годах назывались большими. Поэтому в современных навигационных системах возрастает значение программного обеспечения.

Традиционные математические модели навигационных систем, реализация которых требуется в бортовом вычислителе, основаны на дифференциальных уравнениях. Однако математические модели не адекватно описывают реализацию современной навигационной системы. Поскольку помимо дифференциальных уравнений и вычислительных алгоритмов работы системы, что составляет её алгоритмическую модель, в качестве самостоятельной части разработки выходит её программное обеспечение, в окружении которого эти алгоритмы реализуются. Для программного обеспечения реализация алгоритмической модели навигационной системы предстаёт как часть программной модели и, как правило, не самая значительная по объёму и сложности. Поэтому адекватно описать современные навигационные системы можно

только моделью, включающую программную часть системы. Однако в практике разработки навигационных систем нет подхода, позволяющего с единых позиций рассмотреть алгоритмическое и программное обеспечение навигационных систем.

Одним из перспективных направлений в этой отрасли является объектно-ориентированный подход (ООП). Объектно-ориентированный подход заявлен как перспективная методологическая основа проектирования сложных систем преимущественно в области программного обеспечения. Содержание объектно-ориентированного подхода изложено в многочисленной специальной литературе, например в [1-5], где под объектно-ориентированным подходом понимается методология, основанная на представлении модели системы, состоящей из абстрактных объектов и объединяющих их отношений. С помощью этого подхода можно объединить проектные решения в рамках систем определённого класса и начать проектирование не с «нуля», а с некоторой выбранной базовой структуры проекта. Формирования базовой структуры проекта можно обеспечить с помощью различных средств автоматизированного проектирования. В этой работе с единых позиций объектно-ориентированного подхода рассмотрена модель математического и программного обеспечения навигационных систем. Такая модель соответствует *объектной модели* навигационной системы. Известно, что объектная модель системы строится на следующих основных принципах: *абстрагирование, инкапсуляция, иерархичность* [1]. Каждый из этих принципов сам по себе не нов, однако в ООП эти принципы применены в совокупности. Процесс объединения объектов в классы в соответствии с их свойствами носит название классификации [2]. Совокупность классов, которые можно использовать непосредственно или адаптировать для решения какой-либо задачи представляют среду разработки [1]. Примером такой среды разработки может служить библиотека классов MFC (Microsoft Foundation Classes), которая предназначена для разработки Windows-приложений [9]. Разработка подобной библиотеки базовых классов для навигационных приложений позволяет реализовать основные преимущества объектно-ориентированного подхода, а именно, высокую степень повторного использования программного кода, что позволяет предложить автоматизированные средства для разработки, отладки и тестирования математического и программного обеспечения навигационных систем.

В теории и практике навигационных систем уже существует множество классификаций, как самих навигационных систем, так и их элементов. Одна из них приведена в [6]. Однако для включения в модель навигационной системы математической и программной частей этой классификации становится недостаточно. Необходимо отобрать классы из множества имеющихся понятий теории и практики навигационных систем. В этой статье излагается объектная модель, предложенная на основе обобщения опыта накопленного Пермской научно-производственной приборостроительной компанией (ОАО ПНППК) при проектировании математического и программного обеспечения бесплатформенных инерциальных систем ориентации и навигации (БИСО), корректируемых от различных источников внешней навигационной информации.

1 Объектное классификационное моделирование навигационных систем

Предложенная объектная классификация строится на системах следующих типов: СБКВ-П, СБКВ-П01, СБКВ-ПММ, ИСОН, ДГТКУ, КТН. Все эти системы разработаны в ОАО ПНППК. В дальнейшем все эти системы будем называть для общности навигационными. Кратко охарактеризуем эти системы. Системы типа СБКВ (*Система Бескарданная Курса и Вертикали*) предназначены на самолёты гражданской авиации. Эти системы имеют в своём составе два датчика угловых скоростей КИНД67-028 (ДУС) на базе динамически настраиваемых гироскопа и три маятниковых акселерометра (АКС) КИНД67-028. Курсовертикали отличаются друг от друга наличием различных измерителей внешней информации. Система СБКВ-П имеет в своём составе магнитометр, поэтому выходным параметром этой системы может

быть курс гиромагнитный. В системе СБКВ-П01 реализовано комплексирование с системой воздушных сигналов (СВС), поэтому выходными параметрами этой системы могут быть бароинерциальная высота и бароинерциальная вертикальная скорость. Система СБКВ-ПММ интегрирована со спутниковой навигационной системой. Система ДГГКУ (*Двухрежимный ГироГоризонтКурсоУказатель*) и система КТН (*Комплекс Топопривязки и Навигации*) созданы на базе трёхосного волоконно-оптического гироскопа (ВОГ) БВОГ120/3 и трёх акселерометров А-18. В отличие от курсовертикалей системы ДГГКУ и КТН должна вырабатывать курс гирокомпасный. Инерциальный измерительный модуль (ИИМ) системы ИСОН (интегрированная системы ориентации и навигации) создан на базе ИИМ системы СБКВ, но среди выходных параметров этой системы должен быть курс гирокомпасный. Все перечисленные системы имеют в своём составе бортовой вычислитель, созданный на базе DSP процессора TMS320C30 (Texas Instruments).

Для построения классификации отметим общие черты, присущие всем навигационным системам. В-первых, навигационные системы являются системами сбора и обработки информации с жёстким реальным временем, где требуется обеспечить предсказуемость процесса обработки за выделенный интервал времени. Работа системы представляет собой последовательность считывания измерений, их обработку и передачу параметров ориентации потребителям по стандартному авиационному интерфейсу ARINC 429. Во-вторых, в составе навигационных систем всегда можно выделить ряд периферийных устройств, которые присутствуют практически во всех изделиях: устройства связи с пилотажным комплексом и/или с панелью управления, интерфейсы чувствительных элементов и т.д. Это позволяет, согласно [1,2], отнести их к *сложным* системам, имеющим иерархическую структуру двух типов. Первый тип иерархической структуры определяет составные части системы. Такое разбиение даёт иерархию типа “быть частью”, где иерархические уровни системы можно рассматривать как уровни абстракций. На каждом уровне детализируется набор абстракций, которые обеспечивают абстракции более высокого уровня. Второй тип иерархии представляет собой иерархию вида. В частности, большинство навигационных систем состоят из одних и тех же типов составных элементов: различных измерителей навигационной информации, преобразователей аналого-код, устройств обмена информацией, устройств отображения информации и т.д. Каждую из этих составляющих можно рассматривать отдельно, можно раскладывать на составные части, которые в свою очередь могут быть подвергнуты отдельному рассмотрению. Исходя из этих предпосылок, предложена классификация навигационных систем, разрабатываемых ПНППК. Опираясь на эту классификацию, созданы автоматизированные средства разработки математического и программного обеспечения навигационных систем.

Для изображения диаграмм в объектно-ориентированных проектах большое распространение получил унифицированный язык моделирования *UML* [5]. Однако чтобы обеспечить краткость изложения, не увязнув в деталях, в этой статье будем использовать нотации [1,3,9]. Нотация Г. Буча [1] обеспечит наглядность для отображения главных аспектов проекта, а использование алгебраических спецификаций [3,9] даёт компактность при пояснении важных деталей. На рисунке 1 приведена диаграмма классов в нотации Г. Буча [1], отражающая особенности архитектуры программного обеспечения навигационной системы. Формирование выходных параметров системы выполняется классом **Навигационный Алгоритм**. С заданной периодичностью эти параметры принимаются объектом класса **Диспетчер**, который передаёт их потребителю с помощью объекта класса **Потребитель**. Организационно классы **Диспетчер**, **Таймер**, **Потребитель**, **Измеритель** могут быть отнесены к системному программному обеспечению и представляют его модель. Класс **Навигационный алгоритм** решает задачи прикладного программного обеспечения и по существу является *объектной моделью навигационного алгоритма*. Взаимодействие объектов классов системного и прикладного программного обеспечения осуществляется с помощью функций внешних *интерфейсов* классов. Такой способ разделения полномочий позволяет разрабатывать эти части независимо друг от друга.

При этом прикладное программное обеспечение может работать в различном системном окружении.

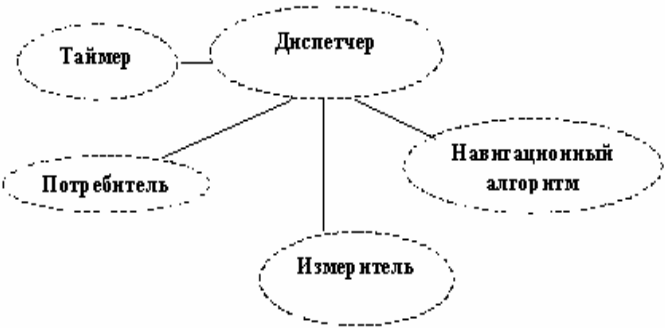


Рисунок 1– Диаграмма классов

Базовая реализация системного программного обеспечения, используемая на ПНППК, объявлена в работе [7]. Особое внимание при реализации системного программного обеспечения уделено построению механизмов межзадачного обмена информацией, синхронизации процессов вычисления/управления. В качестве таковых предлагается использование хорошо известных, например, по операционной системе MS Windows очередей сообщений и событий. Все системные и прикладные задачи имеют единый механизм получения данных и строятся из расчета скорейшей обработки конкретного события / сообщения. Основную ответственность за выполнение требований системы по своевременному возврату управления *Диспетчеру* несёт класс **Навигационный алгоритм**. Использование событийной диспетчеризации отличает предлагаемую архитектуру от архитектуры, приведённой в работе [1], где рассмотрен пример системы сбора и обработки данных в реальном времени с диспетчеризацией по квантам времени. Однако диаграмма рисунке 2 не отражает этих различий, что позволяет говорить о некоторой унифицированности предложенного взаимодействия системного и прикладного программного обеспечения. Фактически это взаимодействие определяется внешними интерфейсами классов **Диспетчера** и **Навигационного алгоритма**, что позволяет вести разработку класса **Навигационный алгоритм** независимо от операционного окружения, в котором будет находиться объект этого класса. Класс **Навигационный алгоритм** является аналогом алгоритма решения задачи ориентации и навигации, реализуемого в навигационной системе. Алгоритмы, рассматриваемых в этой статье систем, могут быть объединены в одну иерархию классов навигационных алгоритмов, которая может быть названа объектной моделью алгоритма навигационных систем.

2 Объектная модель алгоритма навигационных систем

Примем названия классов в иерархии алгоритмов навигационных систем совпадающими с названиями соответствующих навигационных систем. На диаграмме рисунке 1 эта иерархия не приведена из соображений компактности изложения. Между этими классами выстраиваются отношения наследования. Для формализованного описания иерархии классов может быть использована система понятий из теории множеств [8]. Согласно [3,9], класс состоит из набора несущих множеств и операций. Набор несущих множеств обозначается

$$S = \{s_1, ..., s_n\},$$

где s_i ($i = 1, \dots, n$) - называются *сортами* или *типами*. Набор *операций* или *функций* обозначается

$$\Sigma = \{f_1, \dots, f_m\}$$

и называют *сигнатурой* алгебры. Операция из сортов $s_1, \dots, s_p$ в сорт s_r может быть записана с помощью отображения вида

$$f_i: s_1 \times \dots \times s_p \rightarrow s_r,$$

где s_i ($i = 1, \dots, p$) – сорта, задающие область определения функции f_i , т.е. типы аргументов функции; s_r – сорт, соответствующий области значений функции f_i , т.е. типу результата. Используемые сорта принадлежат заданному набору множеств сортов S . Похожее представление класса даётся в [2], где для формализованного представления строится теория кодовых множеств. Отдавая должное [2], но, рассчитывая быть понятыми в среде разработчиков программного обеспечения, останемся в системе понятий [3, 9]. Такое же формальное представление применено в работе [10]. В качестве базового класса иерархии объектной модели навигационного алгоритма выбран абстрактный класс **БИСО**. Несущее множество этого класса состоит из сортов s_1 (класс **Входных параметров**), s_2 (класс **Выходных параметров**) и s_3 (целочисленный тип данных). Множество операций определены следующими функциями, составляющими внешний интерфейс этого класса

Инициализация: $s_1 \times s_2 \rightarrow s_3$

Подготовка: $s_1 \times s_2 \rightarrow s_3$

Грубая выставка: $s_1 \times s_2 \rightarrow s_3$

Точная выставка: $s_1 \times s_2 \rightarrow s_3$

Работа: $s_1 \times s_2 \rightarrow s_3$

Каждая из этих функций формирует код возврата в виде s_3 , а список аргументов этих функций состоит из объектов класса **Входных параметров** – s_1 и класса **Выходных параметров** – s_2 . Класс **Входных параметров** служит аналогом данных от различных измерителей. Класс **Выходных параметров** является аналогом для результатов вычислений. Для этих классов могут быть предложены соответствующие объектные классификации. Назначение перечисленных функций совпадает с соответствующими режимами работы навигационной системы. В абстрактном классе **БИСО** эти функции являются *виртуальными*. Их определение выполняется в производных классах. Иерархия наследования классов алгоритмов навигационных систем может быть записана с помощью логики предикатов [3]

$$\forall x. \text{БКВ} \rightarrow \text{БИСО}(x),$$

где класс **БКВ** (бескарданная курсоверткаль) является производным от класса **БИСО**. Заметим, что в классе **БКВ** должны быть реализованы вышеперечисленные виртуальные функции. Из класса **БКВ** может быть сформирована иерархия классов аналогов систем СБКВ-П, СБКВ-П01, СБКВ-ПМ. Механизм наследования этой иерархии может быть отражён с помощью формул

$$\forall x. \text{СБКВП} \rightarrow \text{БКВ}(x),$$

$$\forall x. \text{СБКВП01} \rightarrow \text{СБКВП}(x),$$

$$\forall x. \text{СБКВПММ} \rightarrow \text{СБКВП01}(x).$$

Иерархия остальных классов предлагается формировать следующим образом

$$\forall x. \text{ДГГКУ} \rightarrow \text{БКВ}(x),$$

где класс **ДГГКУ** (двухрежимный гиригоризонт курсоуказатель) является производным от класса **БКВ**.

$$\forall x. \text{ИСО} \rightarrow \text{БКВ}(x),$$

где класс **ИСО** (интегрированная система ориентации) является производным от класса **БКВ**. Заметим, что каждый производный класс отличается от своего базового класса наличием новых свойств, связанных с наличием дополнительных измерителей внешней информации. Дополнения к соответствующим базовым классам отражены в таблице 1 В таблице 1 указаны

только основные дополнения к базовым классам, выполненные в производных классах. На практике эти изменения более значительны, однако основная идея подхода всё же передаётся содержанием этой таблицы.

Таблица 1 – Перечень дополнений базовых классов

Имя класса	Дополнения соответствующих базовых классов		
	к входным параметрам	к выходным параметрам	к методам класса
БКВ	Данные от ИИМ	Углы ориентации	Реализации функций внешнего интерфейса
СБКВ-П	Данные от магнитометра	Курс гиромагнитный	Обработка данных от магнитометра
СБКВ-П01	Данные от СВС	Бароинерциальные параметры	Комплексирование с СВС
СБКВ-ПММ	Данные от СНС	Составляющие линейной скорости, координаты	Комплексирование с СНС
ДГГКУ	Данные от СНС	Курс гирокомпасный	Гирокомпасирование, комплексирование с СНС
ИСО	Данные от СНС	Курс гирокомпасный	Гирокомпасирование, комплексирование с СНС

Предложены унифицированные классы входных и выходных параметров навигационных систем. Класс **Выходных параметров** является аналогом данных, являющихся результатом обработки измерений навигационным алгоритмом, поэтому иерархия классов выходных параметров может быть построена аналогично иерархии алгоритмов навигационных систем. Класс **Входных параметров** является аналогом данных, поступающих от различных измерителей. В качестве измерений используются данные от ДУС, АКС, магнитометра, СВС, СНС. Каждый измеритель имеет свою модель погрешностей.

3 Среда разработки и генератор программного кода

Под средой разработки понимают совокупность классов, которые можно использовать непосредственно или адаптировать [1]. Примером такой среды может служить библиотека классов MFC (Microsoft Foundation Classes), предназначенная для разработки Windows-приложений [9]. Для создания подобной среды разработки для навигационных систем попытаемся отметить некоторые их особенности исходя из рассмотренного примера. Прежде всего, навигационные системы можно отнести к системам сбора и обработки информации с жёстким реальным временем. Во вторых, они являются сложными системами, имеющих иерархическую структуру двух типов. Первый тип иерархической структуры определяет составные части системы. В частности, большинство навигационных систем состоит из одних и тех же элементов: инерциальные датчики (гироскопы, акселерометры), измерители внешней информации (спутниковая навигационная система, система воздушных сигналов, различные измерители путевой скорости и пройденного пути т.д.), преобразователи аналог-код, бортовой вычислитель, различные интерфейсы и т.д. Каждую из этих составляющих можно рассматривать отдельно и раскладывать на составные части, которые в свою очередь также могут быть подвергнуты отдельному рассмотрению. Нормальную работу системы можно обеспечить при их чётком взаимодействии. Иерархические уровни системы можно рассматривать как уровни абстракций. На каждом уровне абстракций мы определяем набор устройств, которые совместно обеспечивают некоторые функции более высокого уровня. Такое разбиение даёт иерархию типа «быть частью». Второй тип иерархии представляет собой иерархию вида. Например, ди-

намически настраиваемый гироскоп является видом гироскопа, а ГВК-6 есть особый вид динамически настраиваемого гироскопа. Исходя из этих предпосылок, попробуем предложить несколько фрагментов классификаций, необходимых для создания библиотеки классов. Рассмотрим иерархию абстракций следующих измерителей: ДУС, акселерометр, магнитометр, спутниковая навигационная система (СНС). По аналогии с предыдущим примером введём абстрактный класс **измеритель**, на основе которого создадим классификацию. Класс ДУС и класс **акселерометр** должны учитывать наличия ошибок в показаниях соответствующих им аналогов физических датчиков. Обычно эти ошибки пытаются устранить введением коэффициентов, определяемых в результате калибровки. Поэтому в иерархии этих классов может появиться ещё один абстрактный класс – класс **калибруемого измерителя**. Интересным является пример построения классификации систематических составляющих погрешностей чувствительных элементов. Обычно в их набор включают: составляющую независимую от ускорений объекта (смещение нуля); составляющую, пропорциональную ускорению, действующую вдоль оси чувствительности; квадратурные составляющие; перекосы осей чувствительности; погрешность масштабного коэффициента.

Отдельной задачей является переложение разработанных абстракций на программный код. Вполне допустимой является ситуация, когда программные спецификации разрабатываются для одного математического языка, а реализовать систему приходится на другом. Эта задача упрощается, если оба этих языка поддерживают объектно-ориентированную технологию. Однако в навигационных системах чаще всего предоставляются низкоуровневые программные средства (ассемблер, Си), что усложняет реализацию абстракций. Для автоматизации процесса разработки создан генератор программного кода. На основе выбранной структурообразующей модели из имеющихся классов генератор кода создаёт базовый вариант программного обеспечения, загружаемого в бортовой вычислитель. Для отладки и тестирования бортовых алгоритмов генерируется необходимое программное окружение [12]. Создаваемое программное окружение предназначено: для моделирования показаний инерциальных датчиков, соответствующих типовым испытаниям системы на поворотном стенде; для работы с записями показаний инерциальных датчиков и других измерителей, полученных в результате полунатурных и натурных испытаний системы.

4 Программное окружение для разработки, отладки и тестирования математического и бортового программного обеспечения навигационных систем

Всегда лучше начинать разработку с чего-то проверенного и готового. Применительно к навигационным системам можно выделить общность типов решаемых задач и многообразие способов их решений. Это позволяет говорить о возможности создания программных инструментов для генерации кода, заготовок модулей бортовой программы и заготовок для тестирующей её программы. Особенности разработки могут быть учтены при выборе нужных программных компонент. Таким способом может быть построена урезанная, но вполне работоспособная рабочая программа на основе проверенных решений. Каркас рабочей программы будет состоять из объектов, выбранных классов из личной библиотеки классов навигационных систем. Эта программа может служить основой для дальнейшей разработки. Её модификация может осуществляться изменением программного кода или с помощью описанных выше механизмов (инкапсуляция, наследование, полиморфизм). В области информационных технологий примером инструментов для генерации кода и создания каркаса программы может служить мастер приложений *AppWizard*, входящий в состав Microsoft Visual Studio 6. Созданное с его помощью Windows-приложение содержит те компоненты, имена классов и файлов, которые были заданы в диалоговых окнах, вызываемых при создании проекта. Учитывая сказанное, предлагается следующая структура программно-аппаратного комплекса для разработки, отладки, тестирования алгоритмического и программного обеспечения навигационных систем,

приведённая на рисунке 2. Ключевой особенностью представленного на рисунке 2 программного окружения является тот факт, что проверке подвергается программные модули, предназначенные для загрузки в бортовой вычислитель.



Рисунок 2 – Программное окружение для разработки, отладки и тестирования

В составе программного комплекса присутствуют *онтология* (база знаний) навигационных систем, содержащая предыдущие программные реализации бортового программного обеспечения навигационных систем различных типов. Для проверки бортовых модулей формируется управляющая программа (*эмулятор*), подражающая работе бортовой операционной системы. Применение такой программы позволяет обеспечить программное окружение бортовой программы аналогичное тому, которое формируется в бортовом вычислителе. В составе разработанного программного комплекса подсистема формирования показаний инерциальных датчиков и показаний внешних измерителей, соответствующих заданным траекториям движения объекта. Наличие такого массива входных данных обеспечивает выполнение *полунатурного* моделирования работы навигационной системы, что позволяет проверить правильность реализации алгоритмов ориентации, навигации, комплексной обработки. Проверка правильности выбранных методов решения задач ориентации, навигации и комплексной обработки выполняется в результате *натурного* моделирования работы системы, для проведения которого используются показания инерциальных датчиков и внешних измерителей, записанные непосредственно во время испытаний системы. Удачной особенностью представленной разработки является то, что в период разработки и тестирования программного обеспечения может отсутствовать аппаратная часть навигационной системы. Как показала практика разработки программного обеспечения навигационных систем, после выполнения отладки и тестирования программного обеспечения в созданном программном окружении, система успешно проходит предварительные испытания.

Заключение

Предложен подход для разработки, отладки и тестирования программного обеспечения навигационной системы, предусматривающий создание программно-аппаратного комплекса для отладки и тестирования программного обеспечения навигационной системы (эмулятора навигационной системы). Подход применён при разработке программного обеспечения ряда навигационных систем, предназначенных для различных объектов. Правомерность приме-

ния предлагаемого подхода подтверждена результатами их испытаний. В ходе разработки новых систем особенно отчётливо выявлена практическая ценность такого подхода, заключающаяся в сокращении сроков разработки математического и программного обеспечения навигационных систем.

Благодарности

Авторы статьи выражают искреннюю признательность сотрудникам ОАО Пермская научно-производственная приборостроительная компания А.А. Широкову, А. Мозжевитинову, А.С. Приходько, Н.В. Мальгину за аккуратность и терпение при проведении калибровок и испытаний изделий.

Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ (грант № 10-08-01209-а)

Список литературы

- [1] Буч Г. Объектно-ориентированный анализ и проектирование с примерами приложений на C++. СПб.: «Невский диалект», 2001. – 506с.
- [2] Устенко А.С. Основы математического моделирования и алгоритмизации процессов функционирования сложных систем. (<http://ustenko.fromru.com>).
- [3] Элиенс А. Принципы объектно-ориентированной разработки программ. М.: Издательский дом «Вильямс», 2002. – 496с.
- [4] Гамма Э., Хелм Р., Джонсон Р., Влиссидес Дж. Приёмы объектно-ориентированного проектирования. Паттерны проектирования. – СПб: Питер, 2003. – 368 с.
- [5] Буч Г., Рамбо Д., Джокобсон А. Язык UML. Руководство пользователя. – СПб: Питер, 2004. – 432 с
- [6] Селезнев В.П. Навигационные устройства. Учебное пособие. М.: Машиностроение, 1974. – 600 с.
- [7] Бутурлакин В.П., Дунаев Д.А., Колеватов А.П. и др. Применение единой базовой операционной системы для реализации алгоритмов различных навигационных систем на базе унифицированного бортового вычислителя. Гироскопия и навигация 2002, №4 (39) 2002, стр. 74.
- [8] Кузнецов О.П., Адельсон-Вельский Г.М. Дискретная математика для инженера. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 344 с.
- [9] Агафонов В.Н. Спецификация программ: понятийные средства и их организация. Новосибирск: Наука. Сиб. Отделение, 1990. – 224с.
- [10] Левашова Т.В., Пашкин М.П., Смирнов А.В., Шилов Н.Г. Управление онтологиями (базами знаний). I. Известия РАН. Теория и системы управления, 2003, № 4, с. 132-146.
- [11] Class Libraries User's Guide. Microsoft Corporation. 2002. - 426p.
- [12] Kolevatom A.P., Nikolaev S.G., Buturlakin V.P., etc. New Approach of Airborne Software Verification Using Real-Time Emulator of Integrated Navigation System. Proceedings of the Institute Navigation Conference, January 2002. San Diego, pp. 212-217.

Biography

Andrey P. Kolevatom graduated from the Perm Polytechnical Institute in 1979. He got a Ph. D. in CSRI “Electropribor” in 1986. He is an associate professor of the Perm State Technical University, Chair of Measurement and Computer Systems for Aircrafts. He is a Head of Algorithm Sector of JSC “Perm Scientific-Industrial Instrument Making Company”. He is engaged in development of algorithms and software navigation systems.

Tatyana A. Ulyanovskaya graduated from the Perm Polytechnical Institute in 2004. He is an engineer JSC “Perm Scientific-Industrial Instrument Making Company”. He is engaged in development of algorithms and software navigation systems.

Evgeniy A. Polyakov graduated from the Perm Polytechnical Institute in 1979. He got a Ph. D. in CSRI “Electropribor” in 2008. He is an engineer of the Perm State Technical University, Chair of Measurement and Computer Systems for Aircrafts. He is engaged in development of computer design.

СПЕЦИФИКАЦИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ В ВИДЕ ГИПЕРГРАФОВОЙ КОМПОЗИЦИИ

В.И. Шелехов, Э.Г. Тумуров

Институт систем информатики им. А.П.Ершова СО РАН
630090, Новосибирск, пр. ак. Лаврентьева, 6, Россия
vshel@iis.nsk.su, erdemus@gmail.com
тел: (383) 330-27-21, факс: (383) 332-34-94

Ключевые слова: *формальные методы в программировании, верификация программ, формальная спецификация, гиперграф*

Abstract

The language of specification of the control systems by means of hypergraph composition is proposed. A specification of a program in the form of hypergraph composition describes precisely the control and data flow of the program. It is more compact and well understood than program source code. Requirements for validation and deductive verification of a control system program are listed. Some applications of the specification approach are outlined.

Введение

Формальные методы, применяемые при спецификации, моделировании, разработке, оптимизации и верификации критических систем управления, занимают особое место среди других методов разработки и верификации программных систем: они обеспечивают абсолютную гарантию правильности программы относительно ее спецификации, что недостижимо применением самых совершенных методов тестирования программ. К формальным методам относятся: формальная верификация, подразделяемая на дедуктивную верификацию и проверку на модели (model checking), программный синтез и разработка программы на базе ее абстрактной модели. Применение формальных методов для разработки реальных программ требует высокой квалификации специалистов и значительных затрат времени, и, как следствие, экономически оправдано лишь для программ с повышенными требованиями к надежности.

Метод проверки на модели предполагает построение модели для программы и автоматическую верификацию этой модели. Метод применим для ограниченного класса программ, допускающих построение модели с конечным (и не чрезмерно большим) числом состояний. Верификация реализуется эффективным перебором состояний.

Дедуктивная верификация гарантирует корректность программы относительно ее спецификации доказательством истинности формул корректности программы. Доказательство проводится с помощью некоторой системы автоматического доказательства.

Программный синтез реализует логический вывод программы из ее спецификации в рамках некоторой системы автоматического доказательства. Полученная в результате синтеза программа является корректной по построению. По своей силе программный синтез приравнивается к формальной верификации.

Метод разработки программы на базе модели предполагает построение абстрактной модели программы на языке спецификаций, в частности, на языке системы автоматического доказательства, или на языке функционального программирования. Корректность модели обеспечивается проведением ее формальной верификации и валидации. Программа генерируется из модели в автоматизированном режиме.

В настоящее время в мире существует более пары сотен проектов реальных производственных программных систем, в которых применяются формальные методы. Большие коллек-

тивы инженеров-верификаторов, крупные исследовательские центры по автоматическому доказательству и формальной верификации, специальные фонды и государственная поддержка – все это имеется в США, Англии, Франции, Германии Австралии и других странах; в России ничего этого нет.

Между тем, неумолимо приближается время, когда применение формальных методов станет обязательным требованием сертификации жизненно важных программ. Ведущие банки США и Европы уже лет пять назад установили это требование для сертификации банковских программ, работающих с пластиковыми картами клиентов. Космическое агентство NASA применяет дедуктивную верификацию при разработке программ уже более 15 лет, а компании Боинг и Аэробас – почти 10 лет. В последней версии международного стандарта DO-178C для бортовых программ самолетов узаконено применение формальных методов и уточнены условия их использования при сертификации программ [5, 6]. На очереди принятие аналогичных стандартов для программ, используемых в энергетике, медицине и других областях.

Ключевым в применении формальных методов при разработке программных систем является владение методами *формальной спецификации* программ. Опыт обучения этому студентов в Новосибирском государственном университете в течении пяти лет показал трудность данной задачи. Проблема здесь еще и в том, что обучить методам формальной спецификации может лишь тот, кто сам ими владеет.

В настоящей работе описывается метод спецификации системы управления в виде гиперграфовой декомпозиции программы системы. Спецификация определяет промежуточное состояние между исходным содержательным описанием системы управления и программой на императивном языке программирования. Спецификация в виде гиперграфовой композиции намного проще и компактнее конечной программы и в то же время точно представляет информационно-управляющие связи программы. Описываемый метод относится к классу методов разработки программы на базе модели.

1 Язык и метод декомпозиции программной системы

Для описания программы используется модель машины конечных состояний в виде гиперграфа, в котором гипердугами являются гиперфункции. Частным случаем гиперфункции является обычная функция, отображающая значения аргументов некоторой части программы в значения результатов. Функция изображается конструкцией:

Имя части программы(список аргументов : список результатов)

Двоеточие разделяет аргументы и результаты, представляемые переменными. Декомпозиция процедуры реализуется определением:

Имя процедуры(аргументы-параметры : аргументы-результаты) $\equiv$
Операторная композиция

Принцип декомпозиции системы управления заключается в следующем: структура программы и данных раскрывается минимальным образом без указания деталей, явно не затрагиваемых композицией; детали удобнее раскрыть на следующих уровнях декомпозиции. Однако при этом все зависимости по данным и по управлению должны быть определены точно.

Наряду с традиционной операторной композицией вида $A(...); B(...)$ будем также использовать композицию в виде параллельного оператора $A(...; y) \parallel B(...; z)$, когда наборы переменных y и z не имеют общих переменных.

Адекватность декомпозиции в нетривиальных ситуациях ветвления программы достигается использованием гиперфункций. *Гиперфункция* соответствует ориентированной гипердуге

в гиперграфе состояний программы. Гиперфункция имеет одно входное состояние и несколько ветвей, завершающихся выходными состояниями. Определение дадим на примере гиперфункции с двумя ветвями, представленной оператором вида $A(x: y: z)$; см. рис.1.

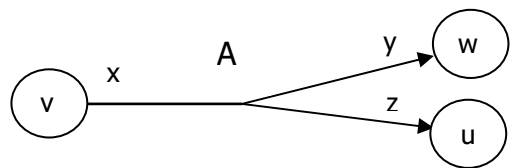


Рисунок 1 – Гиперфункция с двумя ветвями

Здесь A – имя оператора-гиперфункции; x, y и z – списки переменных; v, w и u – состояния, являющиеся вершинами гиперграфа состояний программы. Исполнение гиперфункции начинается в состоянии v и завершается либо в состоянии w по первой ветви, либо в состояние u по второй ветви. При завершении по первой ветви результатами работы гиперфункции являются значения переменных y , при этом значения переменных z не вычисляются; при завершении второй ветвью результатами являются значения переменных z . Отметим, что списки результатов y или z могут быть пустыми.

Декомпозиция процедуры-гиперфункции представляется определением:

$$\begin{aligned} &\text{Имя процедуры}(x: y: z) \equiv \\ &\text{Операторная композиция} \end{aligned}$$

Любое завершение исполнения операторной композиции снабжается указанием ветви (первой или второй), по которой завершается исполнения. Для указания ветвей используются конструкции #1 и #2, исполняемые последними. Композиция вида $A(x: y: z \#2); B(\dots y: \dots)$ внутри операторной композиции исполняется следующим образом: если исполнение гиперфункции A завершается первой ветвью, то следующим исполняется оператор $B(\dots y: \dots)$, а если по второй, то исполнение операторной композиции завершается по второй ветви.

Предлагаемый метод гиперграфовой декомпозиции не имеет аналогов в мире. Использование гиперфункций дает выигрыш одновременно в простоте и в эффективности. Показано, что для любого процесса возможна его гиперграфовая декомпозиция не более, чем из двух подпроцессов. Гиперграфовая декомпозиция оказывается более простой и гибкой, чем традиционная, применяемая, например, в таких языках, как SDL. В частности, гиперфункции адекватно моделируют аппарат исключительных ситуаций языка Java.

2 Спецификация, валидация и верификация систем управления

Система управления обычно состоит из параллельно функционирующих и взаимодействующих между собой компонент. Рассмотрим модель системы управления в виде реактивной системы.

Спецификация оператора в виде функции $S(x: y)$ задается двумя предикатами: *предусловием* $P(x)$, ограничивающим область определения функции, реализуемой оператором, и *постусловием* $Q(x, y)$, связывающим значения аргументов и результатов. Для изображения спецификации используется одна из двух конструкций: $[P(x), Q(x, y)]$ или **pre** $P(x)$ **post** $Q(x, y)$. Оператор $S(x: y)$ со спецификацией изображается конструкцией: **pre** $P(x)$ $\{S(x: y)\}$ **post** $Q(x, y)$.

Спецификаций оператора-гиперфункции $A(x: y: z)$ является $[P(x), Q(x, y, z)]$, где:

$$Q(x, y, z) \equiv (C(x) \Rightarrow S(x, y)) \ \& \ (\neg C(x) \Rightarrow R(x, z))$$

Предикаты $S(x, y)$ и $R(x, z)$ рассматриваются как *постусловия ветвей*, а $C(x)$ – как *предусловие первой ветви*. Гиперфункция $A(x: y: z)$ со спецификацией изображается конструкцией:

$$\text{pre } P(x) \text{ pre1 } C(x) \{ A(x: y: z) \} \text{ post1 } S(x, y) \text{ post2 } R(x, z)$$

Спецификация гиперфункции с произвольным числом ветвей определяется аналогично. Предусловие последней ветви в спецификации отсутствует. Оно определяется как дополнение предусловий предыдущих ветвей по отношению к общему предусловию $P(x)$.

Спецификация компоненты системы управления определяется спецификацией гипердуг гиперграфа состояний компоненты. Каждая гипердуга в гиперграфе представлена гиперфункцией. Корректность спецификации компоненты определяется выполнением набора требований по отношению к спецификациям гипердуг компоненты. Проверка корректности спецификации обеспечивается процессом *валидации* компоненты.

Представим набор требований корректности компоненты системы управления. Для каждой гипердуги предусловия ветвей не могут пересекаться: формула $P(x) \& C_i(x) \& C_j(x)$ должна быть ложной при $i \neq j$. Гиперфункция, представляющая гипердугу, должна быть тотальной. Свойство тотальности гиперфункции выполняется для каждой ветви. Например, для первой ветви гиперфункции на рис.1 свойство тотальности имеет вид: $P(x) \& C(x) \Rightarrow \exists y. S(x, y)$. Третье требование: истинность предусловия гипердуги, выходящей из состояния v , обеспечивается постусловием ветви гипердуги, входящей в состояние v . Допустим, гипердуга, исходящая из состояния w на рис.1, имеет предусловие $L(y)$. Тогда данное требование корректности определяется следующей формулой: $P(x) \& C(x) \& S(x, y) \Rightarrow L(y)$.

Взаимодействие между компонентами системы управления реализуется операторами ввода и вывода данных, являющихся гипердугами специального вида. *Оператор ввода* является гиперфункцией без аргументов. Исполнение оператора ввода недетерминировано завершается некоторой ветвью. Переменные этой ветви получают новые значения. Последняя ветвь оператора ввода может быть пустой, т.е. не иметь результатов. *Оператор вывода* является гиперфункцией с одной ветвью без результатов. При исполнении оператора реализуется вывод значений аргументов. Для оператора ввода определены постусловия ветвей, а для оператора вывода – предусловие.

Каждой ветви оператора ввода, кроме возможно последней пустой ветви, соответствует некоторый оператор вывода, находящийся в другой компоненте системы управления. Аргументы оператора вывода по их числу и типам должны соответствовать переменным ветви оператора ввода. Оператор вывода и соответствующая ветвь оператора ввода срабатывают одновременно. Исполнение оператора вывода задерживается до тех пор, пока исполнение в другой компоненте не достигнет соответствующей ветви оператора ввода. Имеется следующее требование корректности: постусловие ветви оператора ввода должно быть выводимо из предусловия оператора вывода.

Имеются также операторы ввода без соответствующих операторов вывода и операторы вывода без соответствующих операторов ввода. Такие операторы называются *внешними* и принадлежат *окружению* системы управления.

Спецификация системы управления состоит из спецификаций компонент системы и определением свойств системы в целом, обычно формулируемых на языке темпоральной логики: свойств безопасности (safety), живости (liveness) и справедливости (fairness). Проверка выполнения данных свойств реализуется процессом верификации системы управления.

3 Смежные работы

Для разработки программ управляющих систем используются языки и системы программирования, предоставляющие средства описания процессов и их взаимодействия с окружением.

ем. Это языки спецификаций SDL [8], UML [9], AsmL [10] и другие. Для спецификации и верификации используются также языки алгебр процессов Хоара [11], Милнера [12] и сети Петри [13]. Подход Лампорта [7] принципиально отличается от перечисленных. В нем спецификация системы управления представлена не программой на языке типа SDL, а в виде явной математической модели, адекватно описывающей функционирование и свойства системы в соответствии с требованиями к системе. Это позволяет перед разработкой программы формально проверить корректность свойств спецификации. Однако спецификация системы управления строится в виде конъюнкции формул для переходов, т.е. фактически для модели, в которой гиперграф состояний свертывается в одну гипердугу. В нашей модели каждая гипердуга и все связи между гипердугами представлены детально, без огрубления, что позволяет упростить процесс верификации наиболее важных свойств управляющей системы.

Модель спецификации и верификации, описанная в настоящей работе, использует идею метода спецификации распределенных систем в работах А.А. Летичевского [14, 15]. Спецификация системы управления представляется в [14, 15] виде набора базовых протоколов. Каждый базовый протокол соответствует переходу в системе управления и специфицируется в виде предусловия и постусловия. Набор базовых протоколов, определенных в некотором состоянии системы управления, интегрируется в настоящей работе в виде гиперфункции. Валидация системы управления, представленная в разделе 2, несколько шире описанной в [14]. Например, проверяется свойство тотальности гиперфункции по каждой из ветвей. Аналогичного ему свойства тотальности базового протокола нет в [14]. Отметим, что механизм включения системы управления в окружение [14, 15] задействован в настоящей работе в урезанном виде и фактически ограничивается детальной фиксацией интерфейса между системой и окружением.

4 Примеры применения метода спецификации в виде гиперграфовой композиции

Разработан протокол передачи данных с авариями и отключениями, используемый в системе измерения смещений маятниковых подшипников в опорах нефтяной платформы [2]. Данная система разработана КТИ НП СО РАН в рамках международного проекта “Сахалин-2”. Построена эффективная программы радиус-сервера интернет-телефонии [3]. В данных двух проектах использован метод гиперграфовой декомпозиции для спецификации и реализации реактивных систем, представленных множеством однотипных процессов. Сначала строится прозрачная спецификация в виде параллельной композиции процессов. Применяется специальная последовательность трансформаций, преобразующих множество параллельных процессов в сопрограмму, а затем в один эффективный последовательный процесс. Итоговая программа нетривиальна. Ее практически невозможно написать вручную.

Методом специализации с использованием гиперфункций разработана эффективная программа построения дерева суффиксов по алгоритму Маккрейта, использующему суффиксные ссылки [1].

Технология спецификации программ в виде гиперграфовой композиции применена при разработке программы моделирования движения встречных пучков заряженных частиц [4]. Спецификация программы, в частности, оказалась удобной для проектирования распараллеливания программы.

Для протокола передачи данных с авариями и отключениями [2] разработана формальная спецификация, сгенерированы условия корректности протокола, определенные в разделе 2, сформулированы условия живости и безопасности на языке темпоральной логики CTL. Ведутся работы по доказательству условий корректности в системе автоматического доказательства теорем PVS [16].

5 Заключение

Предлагаемый метод спецификации в виде гиперграфовой композиции разработан в целях внедрения на Российских предприятиях аэрокосмического профиля с учетом текущего состояния технологии программирования. Внедрение метода целесообразно проводить в три этапа. На первом этапе внедряется метод гиперграфовой декомпозиции программ, описанный в разделе 1. Здесь используются лишь отдельные элементы формальной спецификации, что существенно проще для освоения. Так, например, при спецификации программы моделирования движения встречных пучков использовалась содержательная спецификация частей программы. Однако информационно-управляющие связи фиксировались с детальной точностью, что позволило улучшить понимание программы и обнаружить в ней ряд ошибок. На втором этапе внедряется метод формальной спецификации частей программы в виде предусловий и постусловий. Это потребует обучения разработчиков программного комплекса управляющей системы. Наличие формальных спецификаций открывает возможность применения современных эффективных методов тестирования программ на базе формальных спецификаций. На третьем этапе внедряется метод формальной верификации и валидации критических частей программного комплекса. Это потребует обучения бригады инженеров-верификаторов, способных проводить доказательство утверждений корректности программы в рамках некоторой системы автоматического доказательства. По международным стандартам сертификации критических программ верификацию проводит коллектив специалистов, не пересекающийся с коллективом разработчиков.

Список литературы

- [1] Шелехов В.И. Разработка программы построения дерева суффиксов в технологии предикатного программирования. — Новосибирск, 2004. — 52с. — (Препр. / ИСИ СО РАН; N 115).
- [2] Шелехов В.И., Каличкин С.В. Спецификация, верификация и реализация протокола передачи данных с авариями и отклонениями. // Методы предикатного программирования. Вып.2 / ИСИ СО РАН. — Новосибирск, 2006. — С. 82-104.
- [3] Шелехов В.И., Демаков И.В. Спецификация и реализация радиус-сервера интернет-телефонии. // Методы предикатного программирования. Вып.2 / ИСИ СО РАН. — Новосибирск, 2006. — С. 40-63.
- [4] М.А. Боронина, В.А. Вшивков, Е.Б. Левичев, С.А. Никитин, Е.А. Симонов, В.Н. Снытников. 3D-код для моделирования ультрарелятивистских пучков// Вычислительные технологии, т. 14, № 5, стр. 18-30, 2009.
- [5] Souris J., Wiels V. Delmas D. and Delseny H. Formal Verification of Avionics Software Products // LNCS, 5850. — P.532 – 546, 2009.
- [6] O'Halloran C. Guess and Verify – Back to the Future // LNCS, 5850. — P.23 – 32, 2009.
- [7] Lamport L. Specifying concurrent systems with TLA+. — Calculational System Design, N. 173 in Series F: Computer and Systems Sciences. — P. 183-247. — IOS Press, Amsterdam, 1999.
- [8] ITU Recommendation Z.100: Specification and Description Language (SDL-96), ITU General Secretariat — Sales Section, Place de Nations, CH-1211 Geneva 20, 218 p.
- [9] UML semantics, version 1.1. — <http://www.rational.com/uml>. — 1997, 162 p.
- [10] The AsmL webpage, <http://research.microsoft.com/foundations/AsmL>.
- [11] Hoare C.A.R. Communicating Sequential Processes. — Prentice-Hall, 1985.
- [12] Milner R. A Calculus of Communicating Systems. — LNCS, Vol. 94. — Springer Verlag, 1980.
- [13] Питерсон Дж. Теория сетей Петри и моделирование систем. — М. Мир, 1984. — 264с.
- [14] Kapitonova J., Letichevsky A., Volkov V., and Weigert T.. Validation of Embedded Systems. In Zurawski R., editor. The Embedded Systems Handbook. CRC Press, Miami, 2005.
- [15] Letichevsky A.A., Kapitonova J.V., Letichevsky Jr. A.A., Kotlyarov V.P., Nikitchenko N.S., Volkov V.A., Weigert, T. Insertion modeling in distributed system design // Проблемы программирования. — 2008. — № 4. — С. 13-38.
- [16] PVS Specification and Verification System. — SRI International. — <http://pvs.csl.sri.com/>.

АНАЛИЗ РАЗВИТИЯ НАУЧНОГО НАПРАВЛЕНИЯ ПРИ ПОМОЩИ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ИНФОРМАЦИИ О НАУЧНЫХ СООБЩЕСТВАХ И СЕТЯХ ЦИТИРОВАНИЯ*

З.В. Апанович¹, Т.А. Кислицина²

¹Институт систем информатики им. А.П. Ершова СО РАН
630090, Новосибирск, пр-т Лаврентьева, 6, Россия
apanovich@iis.nsk.su

тел: +7 (383) 330-33-44, факс: +7 (383) 332-34-94

²Новосибирский государственный университет
630090, Новосибирск, ул. Пирогова, 2, Россия
тел: +7 (383) 330-32-44, факс: +7 (383) 330-32-55

Ключевые слова: портал знаний, онтология, информационное наполнение, анализ информации, методы визуализации информации, силовой алгоритм, радиальный алгоритм, иерархические жгуты ребер, поуровневое изображение ориентированного графа, сети цитирования, Open Linked Data

Abstract

Due to the fast development of Semantic Web and its new branch of Linked Open Data, large amounts of structured information on various scientific areas become available. Digital libraries, information systems and portals based on ontologies are the most reliable sources of this information that need careful investigation in order to optimize science management. A generally accepted way to facilitate understanding of such large and complex data sets is graph visualization. This paper is devoted to visualization of citation networks extracted from information portals and digital libraries based on ontologies.

Введение

В связи с бурно развивающимся направлением Semantic Web и его новой ветвью Linked Open Data в Интернете становятся доступными большие объемы информации, посвященной различным научным направлениям. В число таких ресурсов входят информационные системы, цифровые библиотеки и специализированные порталы. Наиболее достоверным источником информации, посвященной любому научному направлению, являются собственно научные публикации, составляющие основное наполнение научных порталов и цифровых библиотек. Самые активные и влиятельные исследователи, организации, в которых они работают, и места, в которых расположены научные организации - вся эта информация становится доступной в rdf/xml формате. Важно также отметить, что эта информация эволюционирует во времени и стремительно увеличивается в объеме. Исследование и анализ этих данных необходимы для оптимизации процессов управления научными исследованиями. Для обеспечения понимания этих стремительно расширяющихся данных нужны новые инструменты.

Одним из таких общепризнанных инструментов является визуализация информации с применением графовых моделей. Следует заметить, что осмысленные множества данных

* Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (гранты № 09-07-00400 и 11-07-00388) и проекта РАН 2/12 Формальные языки и методы спецификации, анализа и синтеза информационных систем.

имеют разную структуру, и требуют существенно различных стратегий при визуализации. Ранее нами были рассмотрены методы визуализации информации о научном сотрудничестве, представимой при помощи сетей соавторства [1,2]. Данная работа является дальнейшим развитием этого исследования.

1 Построение сетей соавторства и сетей цитирования на основе Linked Open Data

Прежде чем решать проблему анализа библиографических данных, необходимо решить проблему их получения. Задача сбора данных является весьма трудоемкой и ресурсозатратной. В настоящее время функционирует большое количество электронных библиотек и информационных порталов. Эти библиотеки и порталы имеют различную структуру, основаны на разных онтологиях, что затрудняет доступ к ним. Последнее время наметились большие сдвиги в унификации доступа к библиографической информации, благодаря новому проекту сообщества Semantic Web, который называется Linked Open Data [3]. В рамках этого проекта проделана большая работа по объединению разрозненных наборов данных в единое целое и обеспечению единого механизма доступа [4]. В частности, в рамках этого проекта предоставляется доступ к большому объему структурированной библиографической информации [5]. Множества структурированных данных, посвященных научным исследованиям, предоставлены такими известными порталами как DBLP, Citeseer, CORDIS, NSF, EPSRC, ACM, IEEE и др. Данные предоставляются в формате RDF и имеют весьма внушительные объемы. Например, RDF-данные, предоставленные порталом Citeseer содержат 8 146 852 троек RDF, данные портала ACM насчитывают 12,402,336 троек RDF, портал DBLP предоставил 28 384 790 троек RDF. Доступ к этим данным осуществляется при помощи запросов sparql.

Важно также отметить, что за последнее время LOD-сообществом проделана огромная работа по переводу всех этих множеств данных на единую онтологию AKT Reference Ontology [6], представляющую собой объединение нескольких онтологий, таких как Support Ontology, Portal Ontology, Extensions Ontology и RDF Compatibility Ontology. Онтология Portal Ontology является основной среди этих онтологий, она описывает такие понятия как организации, персоны, проекты, публикации, географические данные и т.д. Онтология АКТ является весьма развитой, и представляет собой весьма глубокую иерархическую структуру. Так, например, для описания публикаций используется два корневых класса "Information-Bearing-Object" и "Abstract-Information". Подклассами класса "Information-Bearing-Object" являются также классы "Recorded-Audio", "Recorded-Video", "Publication", "Edited-Book", "Composite-Publication", "Serial-Publication", "Periodical-Publication", "Book". Все элементы этого класса имеют отношение "has-publication-reference", указывающее на объекты класса "Publication-Reference", который является подклассом класса "Abstract-Information". В свою очередь класс "Publication-Reference" имеет в качестве подклассов классы "Web-Reference", "Book-Reference", "Edited-Book-Reference", "Conference-Proceedings-Reference", "Workshop-Proceedings-Reference", "Book-Section-Reference", "Article-Reference", "Proceedings-Paper-Reference", "Thesis-Reference" и "Technical-Report-Reference". Эти объекты имеют такие отношения как: "has-date", "has-title", "has-place-of-publication", "cites-publication-reference" и др. Для описания организаций используется класс "Organization", который является подклассом класса "Legal-Agent", а класс "Legal-Agent" является подклассом класса "Generic-Agent". Точно так же класс "Person" является подклассом класса "Generic-Agent".

Несмотря на то, что все эти хранилища данных приведены к единому словарю, данные, доступные в этих хранилищах, очень разнородны и опираются на очень узкие подмножества большого словаря. Для реальных объектов используются, как правило, классы самого верхнего уровня иерархии. Так, например, для описания публикаций самыми ходовыми классами являются "Publication-Reference" и "Article-Reference", при этом совсем не используются такие тэги, как "Proceedings-Paper-Reference", что затрудняет извлечение из базы данных публика-

ций по одной заданной теме. Также, многие поля, имеющиеся в этой богатой онтологии, остаются незаполненными при описании реальных данных. Тем не менее, единый механизм доступа открывает большие возможности для работы с этими данными. Достаточно просто извлечь из любого репозитория этой консорциума данные для построения сетей соавторства. Любая публикация, описанная в этих репозиториях, имеет название публикации (отношение “has-title”) и авторов (отношение “has-author”). Поэтому извлечение данных для построения сети соавторства из любого из перечисленных выше репозиториях осуществляется с помощью sprql-запроса следующего вида:

```
CONSTRUCT{?y :co_author ?z}
WHERE{
    ?x akt:has-author ?y ;
    akt:has-author ?z ;
    a ?type .
    FILTER(?y != ?z && (?type = akt :Publication-Reference ) }.
```

Для выкачивания данных заданного объема используется модификатор запроса LIMIT N. В настоящее время мы сравнительно легко извлекали сети объемом 20-30 тысяч вершин.

Сложнее обстоит ситуация с сетями цитирования. Построение списков цитируемой литературы требует гораздо больших технических усилий, поэтому в открытом доступе эта информация предоставляется небольшим количеством порталов, среди которых порталы Citeseer и ACM. Сети цитирования можно извлекать из этих баз данных при помощи запроса вида:

```
PREFIX akt: <http://www.aktors.org/ontology/portal#>
SELECT distinct ?publication ?title1 ?date1 ?ref_publication ?title2 ?date2
WHERE{ ?publication akt:cites-publication-reference ?ref_publication;
akt:has-title ?title1;
akt:has-date ?date1.
?ref_publication akt:has-title ?title2;
akt:has-date ?date2 }
LIMIT N
```

Последняя строка ограничивает размер извлекаемой сети. При небольших значениях N сеть оказывается несвязной. Эксперименты показали, что комфортно можно работать с сетями объема от 2 000 вершин до 10 000 вершин.

2 Методы визуализации сетей цитирования

В работах [1, 2] нами были продемонстрированы методы анализа и визуализации наукометрической информации на примере сетей соавторства. Сети соавторства представляют собой неориентированные графы, вершинами которых являются авторы публикаций, а наличие ребра между двумя вершинами соответствует тому, что соответствующие авторы имеют, как минимум, одну общую публикацию. Для их визуализации использовались силовые алгоритмы, а также метод иерархических жгутов ребер [7], при котором изображение сети соавторства накладывалось на вспомогательную иерархию, извлекаемую из онтологии. В случае сетей цитирования, извлекаемых из данных такого портала как Citeseer, применение этих двух методик оказалось затруднительным. Во-первых, сеть цитирования является ориентированным графом, поэтому для понятного изображения этой сети желательно, чтобы все ребра были направлены в одну сторону. Направление ребер может соответствовать хронологическому порядку публикаций. В принципе, метод изображения иерархических жгутов ребер соответствует этому тре-

бованию. Но применение этого метода затруднено тем фактом, что в базе данных портала Citeseer нет достаточно глубокой иерархии, на которую можно было бы наложить сети цитирования. На основе информации о публикациях, мы в своих экспериментах строили иерархию дат публикаций, которая имела всего 2 уровня: год публикации-месяц публикации. В результате получалось изображение, достаточно разреженное в центре и сильно перегруженное на периферии, как это можно видеть на Рисунке 1. На этом рисунке показано изображение сети цитирования из 20 000 вершин, извлеченной из базы данных портала Citeseer. Временной период этих публикаций с 1993 по 2003 год. На рисунке 1(а) показан общий план изображения этого множества данных. Поскольку ребра в этой сети ориентированные, для облегчения задачи определения направления ребер их концы раскрашены в разные цвета. Входной конец ребра (инцидентный цитируемой вершине-публикации) раскрашен сиреневым цветом, а выходной конец ребра (инцидентный цитирующей публикации) раскрашен зеленым цветом. Можно заметить, что наибольшее количество публикаций в этом множестве приходится на 1998 и 1989 годы. При этом можно рассмотреть достаточно много ссылок на публикации этих лет (жгуты сиреневого цвета), а также заметить, что публикации 2003 года весьма немногочисленны, и от них идут жгуты зеленого цвета – ссылки на более ранние публикации. Для более детального изучения надо рассматривать это изображение фрагментами. При возрастании размеров сети цитирования, в особенности, при увеличении временного интервала, которому принадлежат публикации сети цитирования, эта задача становится весьма трудной для данного алгоритма изображения (Рисунок 1(б).)

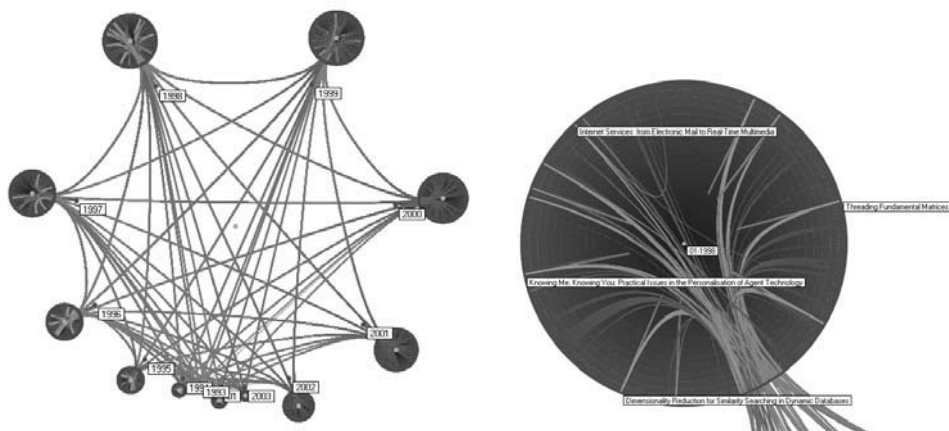


Рисунок 1 – Изображение сети цитирования, содержащей 20 000 вершин.

(а) общий план изображения, (б) публикации за один месяц 1998 года.

Для того, чтобы сделать возможным просмотр и анализ изменения сетей соавторства на больших промежутках времени нами был реализован метод поуровневого размещения ориентированного графа с минимизацией пересечений ребер [8]. Суть данного метода состоит в том, что вершины-публикации разбиваются на слои, соответствующие различным годам. Индекс цитирования публикации, т.е. ее значимость, отображается площадью вершины и интенсивностью ее цвета, что позволяет сразу увидеть самые важные публикации за определенный интервал времени.

На рисунке 2 показано изображение сети цитирования, полученное при помощи поуровневого метода размещения. Вершины этой сети, соответствующие отдельным публикациям, упорядочены хронологически по годам публикаций. Годы публикаций показаны прямоугольниками разного цвета в верхней части изображения. Все публикации, появившиеся в одном

году, располагаются в вертикальном столбце, соответствующем этому году. Ребра этой сети соответствуют отношению цитирования. Каждое ребро сети цитирования соответствует отношению akt:cites-publication-reference и ориентировано справа налево. Чем больше ссылок в сети цитирования имеется на некоторую публикацию, тем больше входных ребер имеет соответствующая вершина, и тем больше ее радиус. Цвет каждого ребра, соответствует цвету года цитирующей публикации. Для того чтобы легче было отследить количество ссылок на одну и ту же публикацию, используется процедура минимизации количества пересечений ребер. В каждом вертикальном ряду осуществляется сортировка вершин, переставляющая каждую вершину в центр тяжести вершин, расположенных в ближайшем к ней ряду слева, с которыми она связана ребром цитирования. Для того чтобы такие перестановки были возможны, каждое длинное ребро цитирования разбивается фиктивными вершинами на короткие ребра. Длинными являются ребра-ссылки на публикации, с момента появления которых до рассматриваемого момента прошло несколько лет. Каждое короткое ребро соединяет вершины, расположенные в соседних вертикальных рядах. Благодаря этой трансформации, ребра цитирования одной и той же публикации образуют хорошо различимые на рисунке жгуты. Также, в программе реализована возможность отслеживания динамики цитирования по годам. Для этого в верхней части экрана расположены кнопки, позволяющие перемещаться по изображению с заданными интервалами времени. В данный момент размер минимального интервала равен одному году. При нажатии кнопки « >> » изображается вся имеющаяся сеть цитирования, а при нажатии « << » происходит очистка изображения.

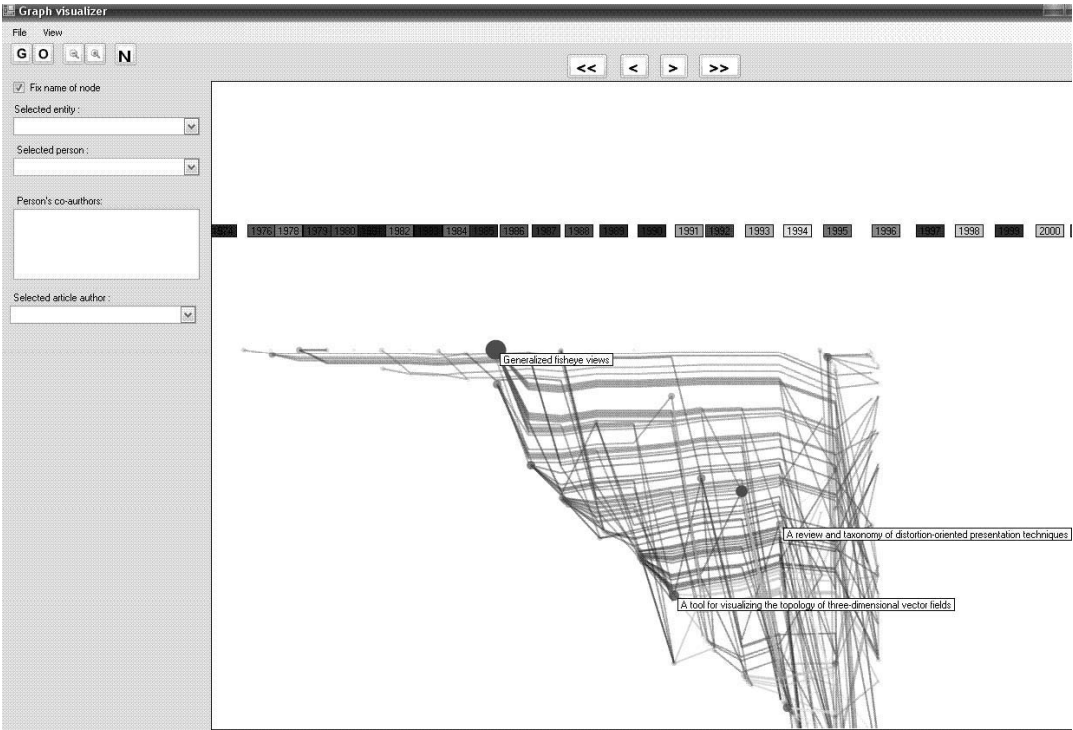


Рисунок 2 – Публикации по визуализации информации с 1976 года по 1996 год

Перемещение по изображению осуществляется при помощи кнопок « < » и « > », позволяя наблюдать изменение сети цитирования во времени. Технически, эта возможность реализована при помощи фильтрации вершин и ребер сети цитирования.

На рисунке 2 показана сеть цитирования для публикаций по визуализации информации, соответствующая временному интервалу с 1984 по 1996 год, а на рисунке 3 показан фрагмент этой же самой сети цитирования на временном промежутке с 1984 по 2001 год. С первого взгляда можно заметить, как за время с 1996 по 2001 год возросла значимость таких публикаций как «Generalized fisheye views» и «A tool for visualizing the topology of three-dimensional vector fields».

Помимо возможности динамического просмотра сетей цитирования, пользователю предоставляется интерфейс, позволяющий управлять внешним видом изображения: выбор масштаба изображения, параметров цвета, прозрачности и размеров вершин и ребер. Также имеется возможность более детального изучения данных при помощи выбора публикации на изображении по ее названию и поиска публикаций определенного автора. Следует отметить, что данный алгоритм изображения нуждается в дальнейшем развитии. Необходимо дальнейшее улучшение размещения вершин по слоям с целью минимизации сгибов ребер, что может улучшить понимаемость изображения. Также предполагается разработка модификации этого алгоритма, позволяющего осуществлять кластеризацию параллельно идущих ребер для их объединения в жгуты. Для этого необходимо разработать и реализовать алгоритм построения вспомогательной сетки, на которую можно было бы наложить сеть соавторства.

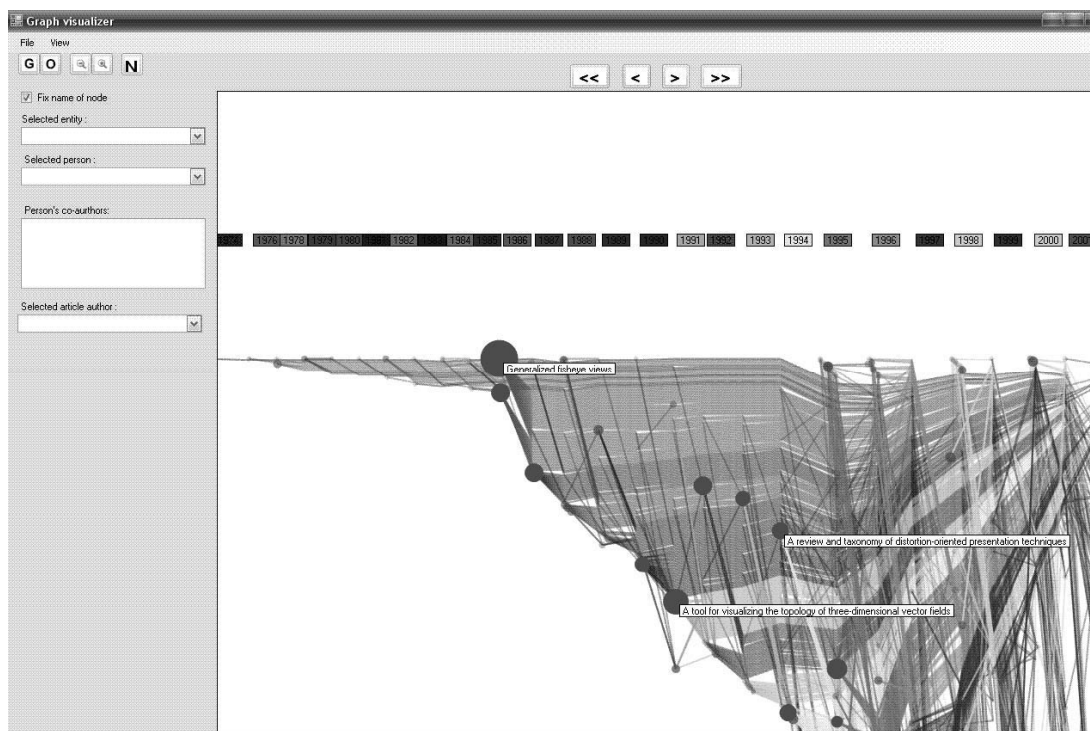


Рисунок 3 – Публикации по визуализации информации с 1976 года по 2001 год

Заключение

В данной работе рассмотрены методы извлечения сетей соавторства и сетей цитирования большого объема из баз данных, созданных в рамках проекта Linked Open Data, а также продемонстрирован новый метод динамической визуализации сетей цитирования. Генерируемые при помощи нашего метода изображения наглядно представляют информацию по цитирова-

нию публикаций, позволяют анализировать и оценивать научный уровень работ, продуктивность исследователей и показатели значимости отдельных публикаций. В настоящий момент ведется разработка метода геометрической группировки ребер, благодаря которому удастся уменьшить визуальную перегруженность в графе, и работать с большими объемами данных, извлекаемых из Linked Open Data.

Список литературы

- [1] Апанович З.В., Кислицына Т.А. Расширение подсистемы визуализации наполнения информационного портала средствами визуальной аналитики // Проблемы управления и моделирования в сложных системах: Труды XII Международной конференции (Самара, 21-23 июня 2010 г.) . – 2010. – С. 518-525.
- [2] Apanovich Z.V., Vinokurov P.S. Ontology based portals and visual analysis of scientific communities//First Russia and Pacific Conference on Computer Technology and Applications, 6-9 September, 2010. – Vladivostok, Russia. – 2010. – pp. 7-11.
- [3] Bizer, C., Heath, T. and Berners-Lee, T. Linked Data - The Story So Far. //Int. J. Semantic Web Inf. Syst., 5 (3). – 2009. – pp. 1-22.
- [4] <http://www.w3.org/wiki/TaskForces/CommunityProjects/LinkingOpenData/DataSets>.
- [5] RDF-тройки с портала Citeseer: <http://citeseer.rkbexplorer.com/>.
- [6] Описание онтологии AKT: <http://www.aktors.org/ontology/>.
- [7] Holten D., Hierarchical Edge Bundles: Visualization of Adjacency Relations in Hierarchical Data// IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics. – v.12, n.5. – 2006. – pp. 741-748.
- [8] Sugiyama K., Tagawa S., Toda M. Methods for Visual Understanding of Hierarchical System Structures, //IEEE Trans. Systems, Man, and Cybernetics. – 1981. – pp. 109-125.

СИСТЕМА ИЗВЛЕЧЕНИЯ ПРЕДМЕТНОЙ ТЕРМИНОЛОГИИ ИЗ ТЕКСТА НА ОСНОВЕ ЛЕКСИКО-СИНТАКСИЧЕСКИХ ШАБЛОНОВ

М.Ю. Загоруйко, Е.А. Сидорова

Институт систем информатики им. А.П. Ершова СО РАН
630090, Новосибирск, ул. Лаврентьева, 6, Россия
zagorulko_maxim@yahoo.com, lena@iis.nsk.su
тел: +7 (838) 330-79-91, факс: +7 (838) 333-83-59

Ключевые слова: извлечение терминологии, устойчивое словосочетание, лексико-синтаксические шаблоны

Abstract

The approach to automation of creation of thesaurus and its use for the organization of knowledge in information system is considered. The lexical-syntactic patterns defining collocation in text needed for terms extraction are presented. Lexical-syntactic pattern editor within its user options and advantages are described.

Введение

Словари играют важную роль в современном обществе в эпоху бурного развития науки, а вместе с ней и естественного языка, они удовлетворяют не только потребности повседневного общения, но и являются средством накопления научных знаний, средством общения специалистов различной профессиональной сферы. Именно с создания терминологических словарей начинается онтологический анализ предметной области, который используется при обсуждении и исследовании характеристик объектов и процессов, составляющих рассматриваемую предметную область. Таким образом, встает задача автоматического извлечения предметной терминологии. Нашей задачей является извлечение из текста не только однословных, но и многословных терминов (словосочетаний) для построения терминологических словарей, в которых словосочетания, как правило, преобладают и составляют порядка 60-65% всех терминов предметной области [1].

На данный момент существует не так много систем, позволяющих извлекать словосочетания из текста на основе шаблонов (например, RCO Pattern Extraction [2]) или формальных языков, описывающих те или иные текстовые конструкции, таких как LSPL[3] и т.п.

Полезной функцией для таких систем была бы возможность самостоятельного конструирования конечным пользователем шаблонов для извлечения словосочетаний (например, с помощью графического редактора), используя для этого настраиваемую таблицу морфологических признаков.

Целью данной работы является разработка системы, позволяющей с помощью настраиваемых лексико-синтаксических шаблонов автоматически выявлять в тексте длинные наименования и синтаксически связанные устойчивые словосочетания.

1 Словарь предметной лексики

В рамках нашего подхода в словарной статье хранится вся необходимая информация как для извлечения термина из текста, так и для последующих этапов анализа. В частности, онтологическая информация, т.е. то, какие семантические признаки приписываются терминам и как термины связаны между собой. Поэтому корректно говорить об интегральном определении Словаря-Тезауруса.

Словарь-Тезаурус – это объем лексики, организованной по тематическому (семантическому) принципу с отражением определенного набора базовых семантических отношений. Наличие групп, объединяющих в себе множество синонимических выражений одного понятия, с одной стороны, и объектная ориентированность словаря, с другой – позволяют словарю выполнять функции тезауруса.

Формально, Словарь-Тезаурус – это знаковая система $\langle V, W, C, M, G_{syn}, R_T \rangle$, где $V \cup W$ – множество терминов (лексем и словокомплексов), C – иерархия семантических и тематических признаков, M – морфологическая модель языка, G_{syn} – множество синсетов, т.е. групп терминов, связанных отношением синонимии, R_T – множество связей между терминами и признаками, где каждая связь наделяется количественными характеристиками, отражающими частоту появления термина в массиве текстов, а также оценку соответствия термина признаку.

1.1 Особенности описания морфологии

Важным свойством технологии построения словарей, на наш взгляд, является редактируемая и настраиваемая морфологическая модель языка, что, в частности, обеспечивает условную независимость от языка. В зависимости от прикладной задачи может потребоваться объединить морфологические классы (например, глаголы, причастия и деепричастия), чтобы уменьшить количество однокоренных лексем (за счет увеличения количества форм слова) или, наоборот, добавить дополнительные классы лексем (например, класс фамилий, имен, географических названий и т.п.).

Модель языка описывается системой вида $\langle A, M, P \rangle$, где

A – множество морфологических атрибутов. Атрибут задается именем и множеством значений (например, $\langle \text{Род}, \{\text{муж}, \text{жен}, \text{ср} \} \rangle$). Часть речи также представляется атрибутом;

M – множество морфологических классов, определяемых частью речи и набором лексических атрибутов (например, одушевленность и род для класса существительных);

P – множество парадигматических типов, которые на основе набора словоизменительных атрибутов сопоставляются морфологическим классам (например, тройка $\langle \text{падеж}, \text{число}, \text{род} \rangle$ сопоставляется классу прилагательных). Тип парадигмы – определяет порядок и описание возможных окончаний и приставок у изменяемых лексем. Все парадигмы одного типа имеют заданную длину, а наборы окончаний и приставок упорядочены таким образом, чтобы каждому порядковому номеру в парадигме соответствовали словоформы, имеющие одинаковый набор словоизменительных атрибутов.

Модель прозрачна для пользователя, более того, ее можно легко редактировать. Для описания/редактирования любого элемента модели достаточно ввести в подгружаемый файл с грамматической таблицей строковое описание вида:

```
<attr> Род = {жр, мр, мр-жр, ср}
<class> т Сущ {Одушевленность: од, ИмяСобственное: фам}
<paradigm> AS = {Число, Род, Падеж, Одушевленность, СтепеньСравнения}
               :ПриставкиПрил = {наи, по}
```

При этом таблица с набором точных парадигм строится автоматически в процессе обучения словаря, при условии, что для новых лексем известен полный набор форм.

При использовании внешних словарей, таких как пополняемые универсальные словари, словари фамилий, имен и т.п., требуется согласовывать модель, используемую этими словарями, с заданной морфологической моделью языка. Для этого используются правила простого типа, согласующие название частей речи и атрибутов, а также правила определения класса нового термина по набору приписанных лексических атрибутов.

Морфологическая информация позволяет осуществлять морфологический анализ словоформ входного текста и выделять термины-лексем, а в дальнейшем и словосочетаний.

1.2 Представление лексико-синтаксических шаблонов

Термин-словокомплекс – устойчивое терминологическое сочетание, характерное для выбранной предметной области. Наиболее распространенными структурами здесь являются сочетания существительного с прилагательным, существительного с существительным в косвенном падеже, существительного с другим существительным в качестве приложения. Имеются также многословные термины, состоящие из трех и более слов [1].

Для извлечения терминологических словосочетаний из текста предлагается использовать механизм лексико-синтаксических шаблонов (далее просто шаблонов). При разработке шаблонов формируется иерархическое представление синтаксической структуры словосочетаний (ее можно представить в виде графа), где связь между элементами словосочетания осуществляется на основе морфологических характеристик.

Формально, *лексико-синтаксический шаблон* – это четверка вида $Pattern = \langle Parts, Relations, root, title \rangle$, где *Parts* – упорядоченная последовательность частей, *Relations* – набор морфологических связей между частями, *root* – порядковый номер корневого элемента в шаблоне и *title* – название шаблона.

Для описания словосочетаний вводится иерархия обобщенных шаблонов.

- Обобщение 1-го уровня – атомарные шаблоны, связывающие конкретные слова и словоформы. Поле *Parts* в шаблоне *Pattern* содержит лексемы словаря. Например: [солнечный] + [день] (род, число, падеж).
- Обобщение 2-го уровня – шаблоны, связывающие группы слов, объединенных общностью морфологических признаков. Поле *Parts* может содержать не только лексемы, но и наборы морфологических классов. СП = [Прил] + [Сущ] (род, число, падеж).
- Обобщение 3-го уровня – абстрактные шаблоны, в состав которых могут входить другие шаблоны. Элементами *Parts* могут являться шаблоны, 1-го, 2-го, 3-го уровней обобщения. Например ССП = [Сущ] + СП (падеж = рд, число = ед.).

На основе обобщенных шаблонов можно находить словосочетания в тексте и строить по ним новые атомарные шаблоны, которые впоследствии войдут в состав терминологического словаря.

2 Система извлечения терминологии

В ходе разработки сервисов автоматической обработки текста именно процесс разработки словаря предметной области требует наибольших усилий. Для облегчения процесса создания словаря были разработаны методы, позволяющие:

- включать в словарь статистическую, семантическую и грамматическую информацию, предназначенную для извлечения терминов из текста;
- осуществлять морфологический анализ текста и автоматически наполнять словарь встретившейся лексикой;
- осуществлять поверхностно-синтаксический анализ на основе лексико-синтаксических шаблонов и автоматически наполнять словарь словосочетаниями (атомарными шаблонами);
- накапливать статистику встречаемости терминов и шаблонов в текстах.

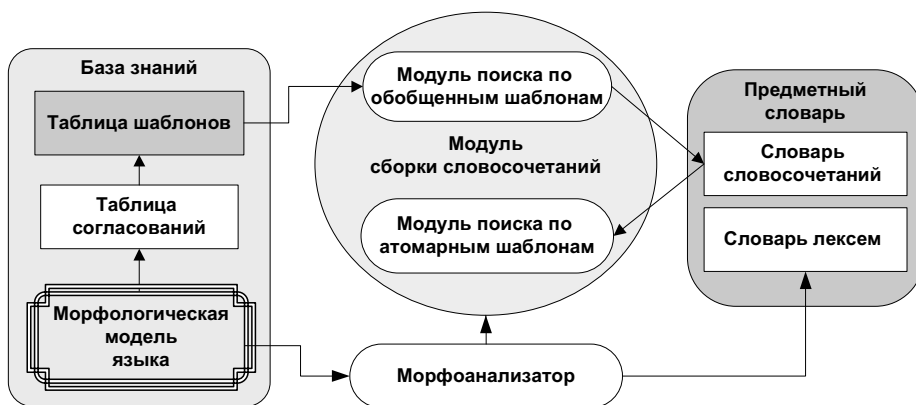


Рисунок 1 – Архитектура системы извлечения терминологии

Система включает следующие компоненты (Рис.1.).

- Таблица согласований. Зачастую списки морфологических атрибутов, по которым согласовываются некоторые части различных шаблонов, совпадают, поэтому целесообразно ввести единую таблицу согласований для всей системы.
- Таблица шаблонов. Список шаблонов 2-го и 3-го уровня обобщения, на основе которых выделяются атомарные шаблоны 1-го уровня обобщения из текста.
- Словарь словосочетаний (атомарных шаблонов).
- Модуль поиска по обобщенным шаблонам, реализующий выделение словосочетаний на основе шаблонов 2-го и 3-го уровня обобщения.
- Модуль поиска по атомарным шаблонам, реализующий выделение словосочетаний на основе атомарных шаблонов.
- Для осуществления морфологического анализа используется анализатор АОТ, подключаемый в качестве программного модуля.

Программная оболочка позволяет просматривать и редактировать создаваемые словари, используя средства поиска, сортировки, фильтрации и обработки группы элементов.

2.1 Редактор шаблонов

Для создания и редактирования лексико-синтаксических шаблонов разработан графический редактор, позволяющий конструировать обобщенные шаблоны 1-го, 2-го, 3-го уровней (Рис. 2.). Для этого пользователь вначале определяет состав частей шаблона, затем строит дерево синтаксического подчинения для частей. Это дерево представлено в виде ориентированного графа, где каждому ребру графа можно приписать то или иное согласования по морфологическим признакам. Согласование описывается набором морфологических атрибутов и, при необходимости, их значениями. Поскольку эти наборы у разных шаблонов часто совпадают (например, {род, число, падеж} или {падеж = родительный, число = единственное}), то согласования вынесены в отдельную таблицу, единую для шаблонов всех уровней обобщения, и разработан отдельный редактор согласований.

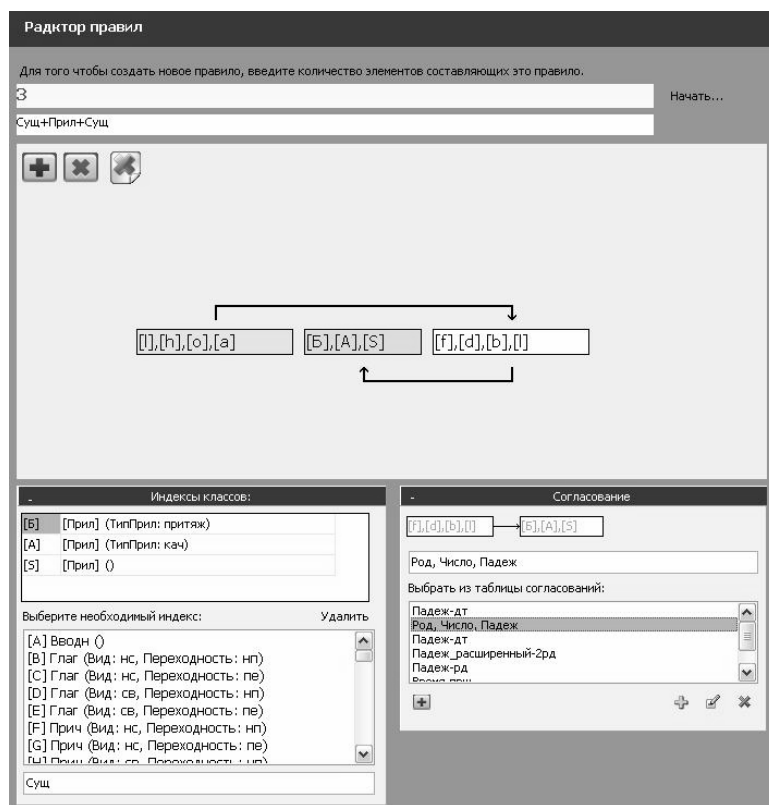


Рисунок 2 – Редактор шаблонов

Таким образом, на основе описанных пользователем обобщенных шаблонов можно находить словосочетания в тексте и строить по ним новые атомарные шаблоны, которые впоследствии войдут в состав терминологического словаря.

Зачастую словосочетания, извлеченные из текста, требует дальнейшей доработки, для этого используется редактор словосочетаний, имеющий схожий интерфейс с редактором шаблонов. Редактор позволяет нормализовать словосочетания, генерировать словосочетания на основе извлеченных из текста, а также создавать новые словосочетания вручную, например, те которые не могут быть описаны или не целесообразно задавать с помощью шаблонов.

Заключение

Данная работа является продолжением работ по созданию многофункциональной словарной системы [4]. Словари, создаваемые с помощью разрабатываемой системы, могут включать универсальную и предметную лексику, устойчивые многословные термины. При создании нового словаря система позволяет подгружать настраиваемую морфологическую таблицу типов, что делает ее независимой от языка. Важная функция системы – извлечение словосочетаний из текста по обобщенным шаблонам. Шаблоны позволяют описывать различные языковые текстовые конструкции, опираясь на согласованность морфологических характеристик составных частей.

Одним из перспективных направлений дальнейших исследований является автоматизация создания лексико-синтаксических обобщенных шаблонов любого уровня на основе словосочетаний. Для этого планируется использовать обучающий размеченный корпус текстов, ко-

торый позволит выявить словосочетания. Дальнейший анализ состава словосочетаний позволит сформировать гипотезы, а количественные характеристики позволят выделить наиболее перспективные варианты.

Благодарности

Работа выполняется при финансовой поддержке Президиума СО РАН (Междисциплинарный интеграционный проект № 111) и Президиума РАН (Интеграционный проект СО РАН № 2/12 в рамках программы фундаментальных исследований РАН № 2).

Список литературы

- [1] Большаков И.А. Какие словосочетания следует хранить в словарях? // Труды международного семинара Диалог'2002 по компьютерной лингвистике и ее приложениям. Протвино: 2002. Т.2. С.61–69.
- [2] Ермаков А.Е., Плешко В.В., Митюнин В.А. RCO Pattern Extractor: компонент выделения особых объектов в тексте // Труды XI Международной научной конференции «Информатизация и информационная безопасность правоохранительных органов». –Москва, 2003. – С. 312-317.
- [3] Большакова Е.И., Носков А.А..Система для поиска и выделения конструкций в тексте на естественном языке // Труды 12-й национальной конференции по искусственному интеллекту с международным участием – КИИ-2010. – Москва: Физматлит, 2010. -Т.3. -С.137-145.
- [4] Сидорова Е.А. Многоцелевая словарная подсистема извлечения предметной лексики // Компьютерная лингвистика и интеллектуальные технологии: По материалам ежегодной Международной конференции «Диалог 2008». Вып. 7 (14). –М.: РГГУ, 2008. –С. 475-481.

ДВЕ ФОРМЫ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ, И КОГНИТИВНАЯ ПРИРОДА ПРОИСХОЖДЕНИЯ СОВРЕМЕННОГО ПОНЯТИЯ «УПРАВЛЕНИЕ СЛОЖНОСТЬЮ» (COMPLICITY MANAGEMENT)

Д.И. Пунда

ООО «НАУКОМП – Технологии Моделирования»

443010, Самара, ул. Самарская, 146, Россия

poundadi@yandex.ru

тел: +7 (846) 246-40-30, +7 (916) 571-63-17 (Москва), тел/факс: +7 (846) 221-19-13

Ключевые слова: технологии управления, технологии информационного обеспечения управления, модель для управления, модель управления для организационных систем, сложная организационная система, интеграция знаний, формализация знаний, открытые технологии, открытые модели, закрытые технологии, закрытые модели

Abstract

Representation of activity of organizational systems has two independent models - formal representation and not formalizable understanding. Formal model are IT models, rules, plans, etc. Understanding not formalized up to the end - mental model of the world in understanding of the one who makes decisions (for example, the head, CEO), it the open integrated model of activity of the organization. In simple in management organizational systems the second model is in personal conducting and responsibility of the head and management maintenance are formal models. When formal models don't consult, that is when there are difficult organizations in management toolkit of maintenance of management it is already necessary for work with mental model, with understanding of the head. Such situation also means occurrence of complexities in management, and by concept occurrence "management of complexity" (or complexity management), accordingly, is marked.

Введение

В работе анализируются современные формы и содержание представлений деятельности (моделей деятельности), используемых для обеспечения управления организационными системами. Рассматриваются требования к таким представлениям в условиях современной сложности управления организационными системами. Для этого предпринята попытка анализа развития учений об управлении «объектами различной природы», которые сегодня привели к появлению технологий управления «второго уровня». Учений от иерархии Вебера и кибернетики Винера до современной неокибернетики. Под технологиями второго уровня понимаются адаптивные технологии, интеллектуальная инженерия, сетевые, многомодельные и мультиагентные системы и другие современные интеллектуальные технологии, в соответствующих этим технологиям направлениях и концепциях (например, [1-18]).

1 Мотивации появления неокибернетики и технологий «второго уровня»

Неокибернетические, как и другие «новые» интеллектуальные технологии «для нужд адекватного управления сложностью», появились, по сути, на стыке текущих тысячелетий (плюс или минус несколько лет [1-10]). Развитие неких новых, «второго уровня» технологий стало необходимым и возможным, по-видимому, при наличии трех основных мотиваций.

Одна из них, «техническая», состоит в том, что в те времена уже были «мощные» способы и средства построения интегральных компьютерных моделей, быстро считаемых и манипулирующих «информационными изображениями», для сложных систем. Поэтому активизи-

ровались «мечты» создания искусственного интеллекта и «всё учитывающих» моделей организационных систем, которые (мечты) возникли еще до середины 20-го века [3, 8-10, 13-18].

Другая мотивация, которую можно обозначить как «слабая прогностическая сила теорий, моделей и IT-технологий для управления», является комплексной. Она состоит в слабой прогнозируемости реальной деятельности «некоторых сегодняшних сложных» организационных систем, базирующейся на формальных IT-моделях, описывающих эту деятельность [19]. И чем больше разнообразие технологий деятельности в организационной системе, тем выше не прогнозируемость её поведения. Здесь имеются в виду такие технологии деятельности, как производственно-технические, финансовые, организационные и иные предметные, в том числе и информационные. И сегодня факт «не прогнозируемости и не подконтрольности» все чаще демонстрируется на практике, например, при государственном регулировании экономики, при управлении бюджетом [19-21]. Несколько лучшая прогнозируемость и подконтрольность, чем при «государственном управлении», но также далеко не всегда удовлетворительная, имеет место при управлении крупными высокотехнологичными корпорациями и Программами. При управлении же большинством частных средних и малых компаний их «локальная» управляемость деятельности в среднем подконтрольнее, чем в государственных и сложных корпоративных структурах, и «сбоит» в основном под влиянием внешних неожиданных факторов.

Другое обстоятельство, относящееся ко второй мотивации, – это «тщетность» усилий (более чем десятилетних) создания массово востребованных технологий класса СППР (систем поддержки принятия решений), как «инструмента для руководителя» [7,8]. В отличие от успехов в создании специализированных и универсальных IT-систем, как технологий решения задач, то есть как технологий «для исполнителя», потребности в которых, как и их действенность, объективно высоки и только растут. Кстати говоря, отчасти именно последние обстоятельства породили в неокибernetике тенденцию к созданию и использованию единых моделей деятельности («общего» обеспечения управления) для «интеллектуального» исполнителя и для руководителя (без учета влияния качественного различия исполнительской и руководящей активности, влияния именно на моделирование деятельности, а не на отличие соответствующих входных и отчетных форм). Следует дополнительно сказать, что тенденция создания единых интегральных моделей основана, также отчасти, и на концепции существования фундамента для построения «общих закономерностей управления объектами различной природы».

Именно эта, вторая, комплексная мотивация, в основном, и способствовала возникновению понятия «управление сложностью», как отражающего реальную сложность управления «сложными» организационными системами. И причем сложности растущей. Особенно в последние два-три «кризисных» года.

Третья мотивация, «эволюционная рыночная» - это схожесть самоорганизационных процессов в живом органическом мире (кроме человека, то есть в животном мире, в растениях, в клетке...), и процессов, которые протекают в организационных системах [2-4, 8-10]. Например, схожесть эволюционных процессов отбора, анализа и интеграции «по Дарвину» и процессов регулирования свободного рынка в современной, слабоуправляемой его форме [19-21]. Социальная и экономическая деятельность общества все больше приближается к хаотическому поведению, на первый объективный взгляд, напоминающему поведение в клеточном и животном мире с его упорядочиваемым беспорядком, самоорганизацией (особенно в части активности свободного рынка и даже в значительной степени благодаря рыночной активности).

2 Существующее отношение к сложности. И методы «борьбы» с ней

Высокое и быстрорастущее многообразие технологий деятельности увеличило и увеличивает проблемы управления организационными системами и способствует слабой прогнозируемости деятельности. И, как это уже было отмечено, чем «высокотехнологичнее» деятельность организации, тем выше её неуправляемость и непредсказуемость. Поэтому часто ис-

пользуемая в этом случае декомпозиция деятельности, как реакция на такую растущую сложность, представляется естественной [1-10]. Это оптимальное дробление организационных систем на самостоятельные компании и/или на иерархии управления в пределах единых и автономных структур, сетей - перераспределение, измельчение управленческих «обязанностей». Другая возможная реакция на неуправляемость – создание мощных компьютерных систем для моделирования деятельности, и, в основном, на базе этой «мощности», - конвергенция различных научных и прикладных областей и их возможностей [2-4,8]. И то, и другое, с одной стороны, является реакцией на сложность, а с другой – элементом усложнения деятельности [8,9].

В обоих этих случаях реакции на неуправляемость, и в случае их объединения, логичным представляется построение описаний локального и сетевого поведения организационных систем [2-4,8,9]. С созданием соответствующих новых сетевых и локальных информационных технологий (не старых «первого уровня», а уже адаптированных к такому представлению о сложности). С созданием интегральных представлений и технологий обеспечения управления. С использованием, для описания деятельности сети организационных систем и «элементов сети», «органической» аналогии эволюционной самоорганизации поведения «простых» живых систем, применяя знания о нейронных сетях, о геной системе, о метаболизме [2-4].

Сегодня такое применение «Organic IT» в неок cyberнетике эксплуатирует относительно самостоятельное, «близкодействующее» собственное поведение элементов сети, с обратными связями и возникающими в них «напряжениями» [2-4, 8-10, 22]. И эксплуатирует представления коллективного поведения всей сети с обратными связями и напряжениями. При этом в моделировании используется не только математические аппараты и феноменологии, применяемые при описании поведения нейронных сетей или метаболизма, но и развиваются новые модели, адаптированные уже конкретно к поведению организационных систем [3, 8, 9]. Анализируются и моделируются механизмы, обратные связи и «напряженности», и характер самоорганизации в обществе, в «кланах» и в поведении отдельного человека.

Несмотря на предполагаемый, в основном, «совещательный» характер использования «новых» сетевых и локальных моделей в принятии управленческих решений, тем ни менее, приоритет здесь отдается построению формализованных сложных представлений деятельности [1-18], а не «работе» с не полностью формализованным пониманием руководителя своей деятельности. Совещательный характер технологий «непосредственно для руководителя», как понимание пришел из исследований, проводимых при создании и внедрении СППР, где было установлено, что инструмент для руководителя не должен выдавать «оптимальных, эффективных» решений, а только носить рекомендательный и информационный характер [7].

Иными словами, приоритет в обеспечении управления сложностью сегодня в основном отдается построению интегральных представлений деятельности в концепции систем типа искусственного интеллекта (или концептуально близких к таковому), с включением человека в них, как реагирующего адаптивным образом на «внутренние и внешние возмущения». И с предметным моделированием такой реакции, при этом полагая индивидуальные ментальные возможности руководителя «неприкасаемыми». Другими словами, здесь считается, что искусственный или естественный отбор–подбор или назначение руководителей, как и уровень их индивидуальных возможностей управлять, есть отдельная, субъективная область и активность, не входящая концептуально в предмет неок cyberнетики. Поэтому приоритет в «управлении деятельностью» тут конкретизирован как «поддержание процесса самоорганизации».

Такая (изложенная здесь) концепция «сложности и управления ею» не только логична, но и ее действенность демонстрируется практически. Нобелевская премия по экономике 2007 года была справедливо отдана «модели рынка» в этой концепции. Эта модель рынка была эффективна и практична в течение времени, соответствующего немного более чем одному году после вручения премии. Есть и много других, относительно успешных проектов. Это проекты Microsoft-Dynamic Systems (от *Microsoft System Center IT Infrastructure Server Management Solutions*), HP Utility Controller (UC), проекты Forrester Research Group, проекты Vanderbilt univer-

sity (департамент HSI), финские проекты «нео- био- кибернетики» университета HUT (Helsinki University of Technology, Department of Automation and Systems Technology, Control Engineering Laboratory) и агентства Finnish Artificial Intelligence Society (FAIS). [1-4, 8-10] Эти проекты, однако, пока не «очень долгоживущие» в их действенности, но они совершенствуются.

3 История развития способов и средств обеспечения управления. Смена акцентов между информационным обеспечением управления и методологиями (инструментами) для руководителя. Формальное представление («закрытая» модель) и «понимание руководителя» (как открытое представление)

Изыскания Макса Вебера об иерархии, о теории рационализации и о других концепциях управления, кибернетические учения Норберта Винера и многих их предшественников и последователей были направлены, в большей части, на создание теоретических основ и методологий для регулирования «активности руководителя» [23-25], на построение, в определенном смысле, «инструментария для руководителя».

Развитие компьютерных систем и появление информатики, как деятельности по созданию способов и средств обеспечения управления, сместили акцент в кибернетике (как в науке об общих закономерностях управления объектами различной природы), от построения «инструментов для руководителя» в сторону создания информационного обеспечения управления, - в сторону построения общих формальных представлений деятельности [8-10]. Потому что возможности компьютеров быстро считать и манипулировать массивами информации были выше, чем у человека, и они вселяли надежду на создание универсальных подходов информационного обеспечения управления, увеличивали уверенность в реальности построения искусственного интеллекта. И это развитие отчасти «сняло» принципиальные различия между обеспечением информацией интеллектуальных активностей руководителя и исполнителя.

Рост проблем управления, связанных со сбоями компьютерных систем, с «компьютерным разрушением цивилизации», способствовал развитию новой концепции – системному подходу к обеспечению управления [7-12]. Развитию интегральных представлений деятельности (ERP, Project, PLM, концептуальное проектирование...), и развитию системных интегрированных технологий для руководителя (класса СППР).

Однако интегральные универсальные технологии не получили широкого распространения, в основном по причине своей сложности, даже громоздкости, и из-за не устойчивого адекватного представления ими деятельности организационных систем. Простые программные средства, несложные, но индивидуальные программные продукты в управлении оказались более востребованными, и до сих пор остаются таковыми. Как косвенный пример, - наши наблюдения за тенденциями в интернет-аутсерсинге по созданию программных продуктов, предназначенных для контроля безопасности, учета, планирования продаж и других бизнес процессов, и создаваемых программистами Индии, Тайваня и других стран «массового предоставления таких услуг», показали, что в основном эффективными и востребованными являются простые и конкретные программы, с возможностью корректировки новых инсталляций. Это данные наблюдений последних 6-7 лет. А универсальные программные продукты здесь почти не востребованы. Даже в крупных корпоративных структурах спросом в управлении может пользоваться простой инструментарий, например, в относительно давно разработанных стандартах Excel и Access. И не только потому, что это дешево и быстро считается, а потому что реально более адекватно интерпретируемо и просто в исполнении и использовании.

Необходимость обеспечения управления сложной деятельностью породила неокибернетическую концепцию обеспечения управления, в условиях, когда системная концепция и интегральные технологии перестали эффективно работать [10]. И если период «системных концепций обеспечения управления» характеризуется приблизительно «равными акцентами» в развитии как технологий построения общих формальных моделей деятельности (одинаковых для

руководителя и исполнителя), так и технологий для обеспечения активности только руководителя, то «неокибернетический период предлагает» построение общих для исполнителя и руководителя представлений поведения организационных систем. Как было отмечено в предыдущем разделе, одними из основных положений неокибернетики являются «включение активности руководителей в модель» и «формализация самоорганизационных локальных и сетевых процессов». «Модель ментальной активности» руководителя формализуется в предположении о мышлении, как об адаптивной системе реакции на возмущения [4,9,37]. И неокибернетические модели сегодня активны в описании рыночных экономических процессов [3,10].

То есть, как и в период «кибернетики, как информатики», следующий за «Винеровской кибернетикой», в «неокибернетическом периоде» акцент смещается в сторону построения универсальных представлений деятельности, а не построения инструмента для руководителя.

Такое «чередующееся» развитие технологий обеспечения управления («для руководителя» и «общие модели») подтверждает тот факт, что представление деятельности организационных систем содержит две относительно независимые компоненты – формальное закрытое представление и открытую модель – «понимание руководителя». В отличие от случая детерминированных (полностью определенных) систем, где эти компоненты «должны совпадать».

Поэтому и технологии обеспечения управления организационными системами, соответствующие отдельно этим компонентам представления, тоже должны быть относительно самостоятельными, и могут качественно, даже существенно отличаться друг от друга.

4 Основные «изъяны» неокибернетики. «Критицизм»

Здесь приводятся «недостатки» или «недоработки», которые есть, по нашему мнению, в распространенных подходах к созданию технологий управления сложностью, отраженных в цитируемой нами литературе.

- 1) Нет убедительной количественной оценки категории «сложность организационной системы», и отчасти даже концепций такой оценки.
- 2) Нет единого структурированного понятия «управления», позволяющего выделять основные его составляющие, влияющие на сложность управления.
- 3) Практически не анализируется системно влияние ментальных возможностей и ограничений человека на сложность управления. Есть представление мышления, как адаптивной системы реакции на внутренние и внешние возмущения (как системы мышления простейших живых организмов и животных). И есть учет «адаптивного мышления» в кластерах самоорганизации в организационных системах. Такое представление односторонне отражает мышление человека при управлении.
- 4) Нет разделения сложности управления, на сложность управления формализуемой разнообразной информацией и сложность управление не полностью формализуемыми комплексными технологиями деятельности.
- 5) Не анализируется понимание руководителя, как самостоятельная составляющая в полном представлении деятельности организационных систем.
- 6) Нет разделения технологий для решения задач (для исполнителя) и технологий для руководителя, как прямого пользователя (для постановки задач). Наоборот, есть тенденция «объединения» этих технологий, тенденция построения моделей единого информационного обеспечения. Но известно, что степень открытости представлений руководителя и исполнителя отличаются качественно. Построение единых, «без различия по качеству» технологий и моделей для исполнителя и для руководителя приведет с очевидностью к постепенно растущему несоответствию формальных моделей и технологий представлению (пониманию) руководителя. Для исполнителя важна адекватная, формальная (закрытая) модель деятельности, а для руководителя важно адекватное открытое понимание деятельности в целом.

- 7) Как правило, предполагается построение общих теоретических представлений об управлении сложностью в «системах разной природы», с конвергенцией различных научных и прикладных целостных систем знаний, областей. А потом уже подразумевается создание интегрированных технологий для конкретных систем. В сегодняшнем разнообразии научных и прикладных областей знаний такая общая конвергенция возможна (предположительно возможна) при создании чрезвычайно мощных компьютерных и иных технологических систем, и больших временных и профессиональных ресурсов. Что является очень затратным, долгим и не полностью убедительным (неубедительным в смысле не безупречности утверждения, что только создание «мощных технологий решения задач» сможет решить проблему управления сложностью).
- 8) Одна из основных целей неокибernetики – построение общих методологий создания формальных представлений деятельности, включающих субъекта, как элемента самоорганизующейся системы, реализующего и контролирующего процессы самоорганизации. Это, по сути, есть создание интегральных, но закрытых технологий (и сетевых, и локальных). И нет никакого «инструмента для руководителя, как прямого функционального пользователя этого инструмента». В этом смысле здесь присутствует только формальное информационное обеспечение управления. Достаточно ли оно в решении проблемы управления сложностью? Будут ли общие формализованные представления деятельности устойчиво соответствовать представлению о ней руководителя, обеспечивая «стабильный» инструментарий для управления?
- 9) Иными словами: Приоритетом в «борьбе со сложностью управления» в неокибernetике является построение формальных моделей деятельности, уход от не полностью формализуемого понимания руководителя, а в идеале – построение искусственного интеллекта. Актуальна ли в принципе сама тема построения искусственного интеллекта в организационных системах?
- 10) В реальной деятельности имеют место не только самоорганизационные процессы, но и управляющие воздействия руководителя на самоорганизацию, которые могут её «разрушать» или изменять. В этом смысле те неокибernetические модели, которые эксплуатируют только самоорганизацию, могут не соответствовать представлению руководителя, и опять не будут устойчивым «инструментом для руководителя», и, как в случае с СППР, будет теряться их востребованность в процессе (или по мере) применения в реальном управлении.
- 11) Концепция «управления самоорганизацией», присутствующая в неокибernetике, а не «управления деятельностью» – это тоже уход от принципа «соответствия модели деятельности представлению руководителя». Ведь руководитель «тонко чувствует», что управляет именно деятельностью.

Чтобы «как-то оправдать такой критицизм» приведем возможную действенную альтернативу неокибernetической концепции, предлагаемую нами [26-28]. А именно, нами предлагается построение обеспеченных представлений и технологий – конкретных, интегрированных, открытых, не полностью формализованных, и соответствующих «пониманию тех, кто принимает решения». Технологий, увеличивающих ментальные возможности управления за счет эксплуатации «стороннего ментального ресурса». И предлагается создание соответствующих методологий построения обеспеченных представлений и технологий. Но предлагается не вместо создания информационно-коммуникационного обеспечения управления, а дополнительно к нему, и в тех высокотехнологичных организационных системах, где в них есть реальная потребность. То есть, в сложных в управлении организационных системах, в которых информационно-коммуникационные способы и средства принципиально не обеспечивают устойчивой прогнозируемости и подконтрольности деятельности.

5 Философия и управление второго порядка

Заметное внимание в работах по неокибернетике и по другим направлениям исследований «нового» управления «второго уровня» уделяется философскому анализу [1-4, 22]. И не только потому, что любое новое направление обычно проверяется на корректность с точки зрения соответствия фундаментальным представлениям о мире и о познании, но и потому, что эти неокибернетические технологии существенно касаются когнитивного анализа, анализа поведения человека, его мышления, познания. Познание в управлении является активной предметной составляющей (как, собственно, и в других человеческих активностях).

Древние мыслители, Кант, Гегель и многие их последователи дали нам представление о познании мира, как о построении и сопоставлении ментальных моделей мира [29]. Согласно умозаключениям этих заслуженных натурфилософов, подтверждением *знания практикой*, является *«единогласное представление (мнение, согласие) всех предметно причастных субъектов, сторон»*. То есть единосогласие всех тех, кто «в теме». Мир ими был разделен на «системы мышления», «модели мира», порождаемые системами мышления, и на «остальной мир» (последний - так называемая материя, информация и другое возможное). А «принципиальная непознаваемость» мира состоит, по их заключениям, в том, что невозможно сопоставить мир и его ментальную модель в «достаточном, исчерпывающем, полном, однозначном... объеме».

На сегодня общество «нащупало», дополнительно к знаниям, которыми располагали упомянутые мыслители, элементарный порядок, который определяет деятельность организационных систем (в диапазоне температур от приблизительно -50 до +50 С, и от +35 до +41 С – температура тела, в том числе температура активности мозга, в диапазоне размеров от атомных до Земных масштабов, в соответствующих диапазонах энергий и скоростей..., пространство, время, атомная структура клеток и так далее). Мы даже «забрались глубже», «нащупали» очень высокие энергии, сверхнизкие температуры, субатомные и межгалактические масштабы.... Но никакие гига- и терра- электронвольтовые частицы, бозоны Хиггса, спонтанные нарушения симметрии и т.п. (что происходит на высоких энергиях и в очень малых масштабах, «принципиально неактуальных» для организационных систем), никакие темные энергии, «нулевые массы вакуума» (предположительно проявляющиеся, но в масштабах Вселенной) и никакие нарушения причинности (предположительные в черных дырах) не влияют на существующие возможности и ограничения человеческой системы мышления.

Имея в распоряжение знания об «элементарном порядке, определяющем развитие организационных систем», дополнительные к тем знаниям, которыми располагали Кант и Гегель, нам осталось сделать «один шаг» - утвердиться в том, что *никакого другого понятия познания, кроме того, что было «установлено» еще Кантом-Гегелем, в нашем мире не существует и не может быть, и не нужно*. И что «система мышления», «ментальные модели мира», «остальной мир» состоят из этого познанного элементарного порядка, и не более того, - что есть не «Mind and Nature» а «Mind in Nature» [2, 22].

Относительно развития человеческого мышления. Согласно хорошо известным археологическим, геологическим, палеонтологическим, антропологическим исследованиям и исследованиям психологии животных и человека, система мышления человека эволюционировала от форм, очень близких к формам животной системы мышления, как системы реакции на внешние и внутренние возмущения. Кроме того, мы управляем автомобилем или принимаем многие решения, не формализуя, и не проговаривая при этом. И наоборот, если мысленно что-то проговариваем «формализовано», то невольно, как правило, предполагаем потенциального слушателя. Значит, современная система мышления человека имеет в своем арсенале, по крайней мере, две выделенные технологии мышления, как ментальные способы и ментальные средства мышления, позволяющие человеку получать «продукт» их активности – ментальное представление, модель мира. Одна из них - «животной природы происхождения» технология, не формализующая знания, и по характеру своего происхождения «эгоистичная», технология для себя, как реакция на возмущения. Другая технология возникла и развивалась в результате

появления необходимостей или возможностей передачи или получения понимания, что развило ментальную технологию формализации знаний (знания - как модели практики). Эта технология может формализовать знания для точной и однозначной их передачи, пусть даже исходно не точных знаний. Будем обе эти технологии называть индивидуальная (адаптивно реагирующая на возмущения) и коллективная (формализующая знания), соответственно.

Можно полагать, что такие особенности мышления, как познание и творчество, логика, умение построений «длинных» причинных цепочек умозаключений, развились в большей степени у человека, чем у животного, благодаря именно развитию ментальных способов и средств формализации знаний (по крайней мере, современные животные больше склонны к обмену пониманиями, чем к «созданию орудий труда»).

Индивидуальная технология мышления «строит не доступное для передачи» ментальное представление «мира». Коллективная технология мышления, используя свои возможности и возможности общения, позволяет строить формализуемое представление, принципиально предполагаемое для передачи. Формализованное представление в перспективе активного общения будет представлением «единым для всех» и потенциально воспринимаемым «каждым». О таком «предельном» представлении можно говорить, как о результате неограниченного во времени анализа, например, в процессе коллективного управления.

В этом смысле коллективная технология мышления «принадлежит всем».

Такая наша «формализация системы мышления», такое представление о системе мышления человека, как присутствие двух приведенных выше различающихся способов и средств мышления, обосновывается исторически. А более подробная и полная практическая формализация этого понятия сложна в рамках современных практических знаний о мышлении [31-33], и даже отчасти не принципиальна для анализа современных проблем управления сложностью.

Дополнительно к естественному физическому отбору по Дарвину, коллективная технология мышления («длинное» мышление) дает новое качество – апробацию знаний и отбор лучших из них, относительно независимо от физического отбора. Отбор знаний и определил более прогрессивное развитие общества, чем развитие животных популяций.

Отбор знаний коллективной технологией мышления, в присутствии физического естественного отбора и технологии индивидуальной, определил механизм формирования противоречия между этими металными технологиями. Такое противоречие может формировать своеобразную спираль развития человеческого мышления (в отличие от достаточно «прямого» развития мышления животных). Это может проявляться в смене приоритетов и предметного влияния в жизнедеятельности общества коллективных (моральных) и индивидуальных (клановых) факторов и интересов. С этим могут быть связаны «глобальные» циклы развития общества (как циклы Кондратьева), и следствием этого могут быть «короткие» циклы в развитии, например, отдельных социальных групп, организаций [30-34]. Кондратьев объяснял наблюдаемые и выделенные им циклы ресурсными и социальными интегральными институтами развития общества, их противоречиями. Дарвин эволюционные процессы объяснял естественным физическим отбором. Маркс в качестве механизма развития общества видел конфликты классовых слоев общества, «клановых» интересов. Фрейд уже обратил внимание на присутствие противоречия осознанного и бессознательного (как «механизм развития человека»). [29-32].

И последнее о мышлении в управлении. Познание и творчество по мере получения новых знаний, при «движении человечества от незнания к меньшему незнанию», развивали свои возможности, поэтому про познание и творчество можно говорить, что они относительно неограниченны в возможностях восприятия и запоминания различных знаний [31-34]. Однако одновременное представление комплексных взаимосвязанных знаний, имеющих место, например, при управлении многотехнологичной деятельностью, ограничено количеством (и отчасти качеством) разнородных знаний (количеством технологий деятельности) [35]. И с ростом актуального количества объектов, субъектов и явлений, требующих единого управления ими, развитие мышления пошло не по пути увеличения возможностей оперировать с большими их

количествами, а по более «простому» пути – по пути развития возможностей выделять главные из них. Видимо, с этим и связано устоявшееся заключение о том, что «человек может хорошо разбираться в десятках видах деятельности, технологиях или науках, знать много иностранных языков, но эффективно управлять может не более чем шестью подчиненными, или взаимосвязанными технологиями». И коллектив из нескольких руководителей, способный быстрее и качественнее получать представление о комплексной деятельности («предельное ментальное представление»), чем один руководитель, тем ни менее, может эффективно управлять все теми же почти «шестью подчиненными, или связанными технологиями» [26,27,36].

Неограниченная познаваемость мира, как получение и сравнение его ментальных моделей, наличие двух технологий мышления, создающих формальные и неформальные модели мира, позволяют сделать следующие выводы:

- 1) Представление деятельности организационных систем имеет в управлении две основные, относительно самостоятельные составляющие – формальное представление и не полностью формализуемое понимание деятельности тем, кто принимает решение.
- 2) Технологии обеспечения управления должны также различаться на два вида относительно самостоятельных технологий – системные технологии (институты) адекватных формальных представлений деятельности и инструмент для руководителя.
- 3) Формализовать мышление и учесть его в формальном представлении деятельности, в том числе для формализации процессов самоорганизации, возможно лишь в части формализации «короткого» мышления – как системы реакции на внутренние и внешние возмущения. Формализуемость «длинного» мышления (как ментальной технологии формализации) им же самим является неограниченной (как и познание мира). И в этом смысле «мышление «всегда» слабо формализуемо». Исторически (по происхождению) и «технически» (по активности) ментальная формализация знаний, как представление целого в частном, вторична по отношению к реакции на возмущения (как представления целого в целом). И технологии управления для руководителя (если в таковых «помощниках мышлению человека» возникает потребность) могут быть не полностью формальными технологиями, формализуемыми в конкретных ситуациях и системах. И даже методологии построения таких технологий могут носить конкретный характер (полностью формализоваться только для каждой конкретной системы, как и структура моделирования и выбор программных средств моделирования).

6 Резюмирующая часть

- 1) История развития технологий обеспечения управления, от иерархических воззрений Вебера (легитимность и «преемственность» власти, рациональная бюрократия...) и кибернетики Винера (как науки об общих закономерностях управления) до современных неоклибернетических теорий и технологий управления второго уровня, была историей смены приоритетов между построением методологий управления (инструментов для руководителя) и созданием информационного обеспечения управления (формального представления внешней и внутренней деятельности, как инструмента одновременно для руководителя и исполнителя). Этот факт подтверждает, что в управлении организационными системами представление деятельности содержит две относительно независимые составляющие управления – формальное представление (ИТ-модели, ИТ-планировщики, учет, правила, нормы, приказы и т.п.) и открытое слабо формализуемое представление (понимание) руководителя. Технологиями обеспечения управления для первого представления являются технологии информационного обеспечения, а для второго – технологии моделирования понимания, технологии управления. Ранее исторически (или в случае «простых» организационных систем), когда сложность управления была не столь явной, вторая составляющая представления (представление руководителя) «выпадала» из рассмотрения в техноло-

гиях обеспечения управления, - она оставалась в полном индивидуальном «ведении» самого руководителя и полностью под его ответственностью. На сегодня, из-за качественно возросшей сложности управления, актуальным является формальный учет обоих представлений. Сегодня актуально оперировать формально неформальным пониманием.

- 2) Основная сложность управления организационными системами определяется ограниченными индивидуальными ментальными возможностями человека управлять многотехнологичной деятельностью. Поскольку природная ментальная возможность человека управлять (например, строить представление и варианты его развития) организационными системами, состоящими из многих взаимосвязанных и не полностью определенных технологий, ограничена их количеством. В отличие от, например, познания, творчества, запоминания, или управления полностью определенными системами. Никакие технологии коллективного управления, информационно-коммуникационного обеспечения, согласования интересов и иные формальные локальные и сетевые технологии, и даже никакие возможности человеческой интуиции и психологические методы не способны принципиально снимать эти ограничения, принципиально улучшать в этом смысле управление сложностью.
- 3) Сегодня актуально разделять организационные системы на относительно простые и сложные в управлении системы. Разделять сложность управления на сложность управления формализуемой разнообразной информацией и на сложность управление не полностью формализуемыми комплексными технологиями деятельности. Для первого управления сложностью сегодня достаточно развиты технологии решения задач, которые продолжают уверенно развиваться (сегодня правильная постановка задачи уже не половина ее решения, что имело место еще лет 20 назад, а почти 100%).
- 4) Для обеспечения управления современными наиболее сложными организационными системами необходимо, кроме построения интегральных формальных моделей деятельности и соответствующих им технологий обеспечения управления, построение инструмента непосредственно для руководителя.

Заключение

Современные развитые технологии решения задач, в большей части это IT-технологии, позволяют эффективно оперировать с разнообразием формализованной «сложной» информацией, – управлять сложной формализованной информацией. Сложность управления организационными системами обусловлена сегодня, в основном, ментальными ограничениями индивидуального управления многообразием технологий деятельности, которые являются принципиально не полностью формализованными категориями деятельности организационных систем.

Для действенного управления современной сложностью организационных систем необходимо развивать два относительно самостоятельных, относительно независимых вида технологий и соответствующих институтов. Первые технологии – это технологии построения и использования формальных представлений деятельности сетевых и локальных систем (мульти-модельных – с сетевыми и локальными моделями). И вторые - это не полностью формализованные открытые конкретные технологий управления, с моделями, соответствующими представлению руководителя, и которые увеличивают его ментальные возможности. В качестве одного из вариантов таких технологий, можно рассматривать технологию со-управления.

Управлять не самоорганизацией, а деятельностью – это потребность для современных способов и средств, предполагающих решение сегодняшних проблем управления сложностью.

Понятие самоорганизации, с ее общими феноменологическими, ботаническими, по сути, закономерностями, существует до тех пор, пока не понятны фундаментные механизмы деятельности системы (ботанические знания в образном понимании – это обобщения практиче-

ских знаний, аналогии и общие суждения). Когда механизмы активности системы становятся понятными, то на смену самоорганизации приходит понятие управляемой деятельности.

Благодарности

Выражаем признательность руководителю и сотрудникам Института проблем управления сложными системами РАН, высказавшим замечания и давшим полезные советы по теме данной статьи. И благодарность за внимание к материалу, выделенное время и терпение.

Список литературы

- [1] Князева Е.Н. Как возможно мышление о сложном и управление сложностью? Вопросы философии. 19.10.2010 г. http://vphil.ru/index.php?option=com_content&task=view&id=216.
- [2] Майнцер К. Вызовы сложности в XXI веке. Вопросы философии. 19.10.2010 г. http://vphil.ru/index.php?option=com_content&task=view&id=217.
- [3] Heikki Hyötyniemi. Neocybernetics. A New Kind of Natural Philosophy. Tutorial presentation at CIRA'05, June 27, 2005. <http://autsys.tkk.fi/en/attach/Cybernetics/TutorialCIRA.pdf>
- [4] Heikki Hyötyniemi. Neocybernetics in biological systems/ Helsinki University of Technology Control Engineering Laboratory, Espoo 2006; SAMPO Mills: Neocybernetic Grounding of Ontogenesis, 2010, <http://neocybernetics.com/publications/pdf/STeP2010-HN1.pdf>.
- [5] Прангишвили И.В. Системный подход, системное мышление и энтропизация фундаментальных знаний // Проблемы управления. №1. 2003.
- [6] В. А. Виттих. Проблемы управления и моделирования в сложных искусственных системах. "Мехатроника, автоматизация, управление" №12, 2010, Стр. 17 – 23; Организация сложных систем. – Самара: Самарский научный центр РАН. 2010. – 66 с., ил.
- [7] Power D.J. A Brief History of Decision Support Systems. DSSResources.COM, World Wide Web, version 2.8, May 31, 2003. <http://DSSResources.COM/history/dsshistory.html>
- [8] Сешнс Роджер. Оптимальный путь к корпоративным архитектурам (Части 1 и 2). Microsoft Team. 25.02.2010. http://softwarepeople.ru/blog/2010/02/25/optimal_way_to_architecture2
- [9] Л. Черняк. От адаптивной инфраструктуры — к адаптивному предприятию. Открытые системы, НР на пути к Organic IT, С.32-39, 04.08.2003. http://www.osp.ru/os/2003/10/183497/_p3.html,
- [10] Б. В. Соколов, Е. Г. Цивирко, Р. М. Юсупов. Анализ влияния информатики и информационных технологий на развитие теории и систем управления сложными объектами. Тр. СПИИРАН, 2009, выпуск 11, страницы 11–51
- [11] Никаноров С.П. Системный анализ: этап развития методологии решения проблем. В кн.: Оптнер Ст. Системный анализ для решения деловых и промышленных проблем. М., Советское радио, 1969.
- [12] Никаноров С. П., Никитина Н. К., Теслинов А. Г. Введение в концептуальное проектирование АСУ: анализ и синтез структур. М., 1995. 234 с.
- [13] Хищенко В.Е. Модель жизнеспособной фирмы Стаффорда Бира. Корпоративный менеджмент. 07.10.2008. <http://www.cfin.ru/press/management/1999-3/14.shtml?printversion>
- [14] Ю.М. Осипов. К вопросу о развитии понятия «мехатроника» Доклады ТУСУРа, № 1 (21), часть 2, июнь 2010 <http://www.tusur.ru/filearchive/reports-magazine/2010-1-2/193-198.pdf>
- [15] Авдеева З.К., Коврига С.В., Макаренко Д.И., Максимов В.И.. Когнитивный подход в управлении. Обзор. //Проблемы управления. 2007, №3, с 2-8.
- [16] Е. Д. Теряев, К. В. Петрин, А. Б. Филимонов, Н. Б. Филимонов, Агентные технологии в автоматизированных информационно-управляющих системах. "Мехатроника, автоматизация, управление", № 10, 2010.Стр. 11 – 21(№6, 2010, Стр. 11 – 20).
- [17] Теряев Е.Д., Шамриков Б.М. Цифровые системы и поэтапное адаптивное управление. М.: Наука. 1999. - 330 с.
- [18] Филимонов Н. Б. Полиэдральная оптимизация дискретных процессов управления: теория и применение/ диссертация доктора технических наук: 05.13.01 / ГОУВПО "МИРЭА (технический университет)".- Москва, 2009.- 378 с.: ил. <http://www.disserr.ru/contents/357971.html>
- [19] Рубини Нуриэль. /Рубини: мировая экономика беззащитна перед повторной рецессией // NEWSru.com // Экономика // 6 сентября 2010 г. <http://www.newsru.com/finance/06sep2010/rubini.html>.

- [20] Валлерстайн Иммануил: Динамика глобального кризиса: тридцать лет спустя/ 18 сентября 2009 | Новость дня, Аналитика мирового кризиса | автор: Редакция ОКО ПЛАНЕТЫ | <http://www.oko-planet.su/finances/financesday/19197-immanuil-vallerstajn-dinamika-globalnogo-krizisa.html>
- [21] Стиглиц Дж. Юдж. "Куда ведут реформы? (К десятилетию начала переходных процессов)" Вопросы экономики № 7 (1999). <http://www.74rif.ru/Stigliz.html>
- [22] Nagarjuna G. Tracing the Biological Roots of Knowledge. (2006) <http://cogprints.org/4896/>
- [23] Шелдрейк Дж. Теория менеджмента: от тейлоризма до японизации / Пер. с англ. под ред. В.А.Спивака. - СПб: Питер, 2001, с. 107-117
- [24] Вебер М. Избранное. Образ общества / Пер. с нем. — М.: Юрист, 1994.
- [25] Н. Винер. Кибернетика, или Управление и связь в животном и машине. 2-е изд. М.: Советское радио, 1968
- [26] Пунда Д.И. Когнитивная технология управления. Технология со-управления, модель для управления. – Проблемы управления и моделирования в сложных системах: Труды XII Международной конференции. – Самара, Самарский научный центр РАН, 2010, с. 146-157.
- [27] Пунда Д.И. «Инструмент для руководителя» и современная потребность в обеспеченных представлениях деятельности организационных систем. - Проблемы управления и моделирования в сложных системах: Труды XIII Международной конференции. Самара, Самарский научный центр РАН, 2011.
- [28] Пунда Д.И. Технология со-управления. Труды 3-ей Мультиконференции по проблемам управления. Санкт-Петербург, 12-14 октября 2010. С.313-316.
- [29] Рассел Б. История западной философии. М., 1993. – 540 с.:ил.
- [30] Кондратьев Н. Д. Большие циклы конъюнктуры. Доклады и их обсуждение в Институте экономики/ Издательство: Директмедиа Паблишинг, 2007 г.- <http://www.ozon.ru/context/detail/id/4002249/>
- [31] Аллахвердов В.М. и др. Экспериментальная психология познания: когнитивная логика сознательно-го и бессознательного. СПб., СПбГУ, 2006.Ананьев Б.Г. Избранные психологические труды: В 2-х т. Т.1. - М.: Педагогика, 1980. -232 с., Т.2. - М.: Педагогика, 1980. -372 с
- [32] Аллахвердов В.М. Опыт теоретической психологии (в жанре научной революции). СПб., Печатный двор,1993. –325с. <http://www.koob.ru/allahverdov/>
- [33] Величковский Б.М. Когнитивная наука: Основы психологии познания: В 2 т. Т. 1. - М.:Издательский центр «Академия», 2006. - С. 298.
- [34] Щедровицкий Г.П. Мышление. Понимание. Рефлексия. М., 2005. 800с.
- [35] Георг Миллер (George Miller), 1956 год, «волшебное правило» "семь плюс минус два (7±2)".
- [36] Ostrom, Governing the Commons: The Evolution of Institutions for Collective Action, 1990 год, Монография 1991 года.
- [37] Редько В.Г. Моделирование когнитивной эволюции – перспективное направление исследований на стыке биологии и математики. Математическая биология и биоинформатика. 2010. Т. 5. № 2. С. 215-229.

Biography

Background – the physicist. Formation - the Moscow Physical Technical Institute. Ten years (since 1981) scientific work at the P.N. Lebedev Physical Institute ANSSSR, the Samara branch and the Moscow office (investigation of a complicity of layered semi-conductor structures, interaction with radiation). Ten years (since 1991) enterprises work in trading and industrial business (the director and the owner of the company "Naucomp"). Ten years (since 2001) of scientific and commercial activities on a creation of actual technologies of a complicity management by difficult organizational systems and on business construction on their basis.

Образование – физик, Московский Физико-Технический Институт. Десять лет, с 1981 года, научной работы в Физическом Институте АНСССР им. П.Н. Лебедева, Самарский филиал и Москва (сложные слоистые полупроводниковые структуры, взаимодействие с излучением). Десять лет, с 1991 года, предпринимательской работы в торговом и производственном бизнесе (директор и владелец компании «Наукомп»). Десять лет, с 2001 года, научной и коммерческой деятельности по созданию актуальных технологий управления сложными организационными системами и по построению бизнеса на их основе.

«ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ РУКОВОДИТЕЛЯ» И СОВРЕМЕННАЯ ПОТРЕБНОСТЬ В ОБЕСПЕЧЕННЫХ ПРЕДСТАВЛЕНИЯХ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ОРГАНИЗАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Д.И. Пунда

ООО «НАУКОМП – Технологии Моделирования»

443010, Самара, ул. Самарская, 146, Россия

poundadi@yandex.ru

тел: +7 (846) 246-40-30, +7 (916) 571-63-17 (Москва), тел/факс: +7 (846) 221-19-13

Ключевые слова: технологии управления, технологии информационного обеспечения управления, модель для управления, модель управления для организационных систем, сложная организационная система, интеграция знаний, формализация знаний, открытые технологии, открытые модели, закрытые технологии, закрытые модели, обеспеченность, системность, интегрированность, адекватность

Abstract

The analysis of modern technologies of control and management, as "tool for the CEO" is presented. It is shown that for the decision of modern problems of "management of complexity" creation of integrated representations of activity (activity models) with adequate degrees of formalization and values is necessary. For construction of such models the increase individual cognitive management possibilities now is required.

Введение

В данной работе предпринята попытка проанализировать все те основные и присутствующие сегодня на рынке интеллектуальные технологии обеспечения управления, которые в той или иной степени можно отнести к «инструменту для руководителя». Анализируются их возможности и недостатки в решении современных проблем управления сложностью, и объективные тенденции развития технологий обеспечения управления современными сложными организационными системами. Рассмотрены современные возможности и потребности в построении обеспеченных представлений деятельности (в тех формах и содержании, которые сформировались и доступны сегодня, «как результат длительного развития человеческого мышления от незнания к меньшему незнанию»).

В части анализа интеллектуальных технологий обеспечения управления речь идет об интегральных IT-технологиях информационно-коммуникационного обеспечения, в частности, о концептуальном проектировании и IT-инженерии, о сетевых технологиях, об интегральном моделировании и СППР (системах поддержки принятия решений). И об оптимизационных и адаптивных технологиях, о коллективных и психологических методах управления, об управленческом консалтинге. Смотри, например, [1-20].

1 О кризисах свободного рынка. Кризис управления

Экономические кризисные процессы, начавшие практически с середины 19-го столетия, всегда протекали приблизительно по одному и тому же сценарию. Сначала возникало заметное падение возможностей приобретать необходимое (и результат - падение спроса). На всех уровнях - на частном, корпоративном, государственном. При этом предпосылки и причины могли быть разными – перепроизводство, финансовые или иные необеспеченные реальными активами «пузыри», засуха, увод финансов, воровство имущества, и другие. Падение возмож-

ностей приобретать необходимое порождало сокращение объемов получения этого необходимого, - падали торговля и производство. Все это, как тенденция, приводило к дальнейшему сокращению «необходимого» - к растущей экономии «во всем», и также на всех уровнях, и к внедрению более эффективных передовых технологий деятельности. А после достижения балансового дна «обновленная» экономика начинала расти, тем самым выходя из кризиса.

Можно отметить некоторое развитие во времени «жанровых» особенностей кризисных процессов. Например, экономические кризисы, которые происходили до 60-70-ых годов прошлого века, имели относительно общий характер – они протекали на государственном уровне, но при достаточно управляемой деятельности даже крупных предприятий. А в последние десятилетия все более вероятными становятся локальные кризисные процессы (как, например, кризис компании GM в 90-е годы на фоне относительно спокойного общего рынка). Другая особенность - рынки рискованных операций (необеспеченное ипотечное кредитование, фондовый рынок, «финансовые пирамиды» и ряд других рынков) росли по объемам, и даже в процентном отношении, особенно в последние десятилетия. Эти и другие развивающиеся особенности, тем не менее, не нарушали общего сценария, - основными глобальными путями (технологиями) выхода из кризиса были все те же две: экономия и внедрение эффективных инноваций.

Кризис же начавшийся в 2008, после логически и исторически ожидаемого начала подъема экономики, получил свое качественно новое продолжение. Бюджеты основных государств – операторов рынка, в основном Европейских (Греция, Ирландия...) становятся критичными. Растут проблемы занятости и иные социально-экономические проблемы, неустойчиво ведут себя экономики отдельных стран, и секторов рынка, и рынка в целом. Усиливается концентрация капитала и паразитирование на общественной значимости банковской системы... [21-24].

В решении проблем выхода из кризиса здесь к двум основным «технологиям выхода» добавилась в выраженном виде еще одна. А именно, - это явная и массовая «технология перераспределения благ», - сворачиваются социальные программы, казавшиеся ранее обеспеченными экономическим развитием стран, реализуется уверенная политика увеличения пенсионного возраста.... Кроме этого вводятся дополнительные налоги или ограничения на банковскую деятельность в Европе и Америке. Затем обостряются финансовые войны, искусственная инфляция и необеспеченная реальными активами инъекция мировых денежных масс. Даже символичным представляется призыв американских бизнесменов поделиться с согражданами «половиной своих личных активов».

Появление, точнее явно выраженное проявление этой третьей технологии предполагаемого выхода из сегодняшнего кризиса (перераспределения благ) говорит о существенной экономической или иной необеспеченности принимаемых ранее решений, как об одной из основных причин сложности этого кризиса. Например, решений в области формирования норм регулирования рынка и в предметном государственном управлении-регулировании экономики в целом (как, к примеру, рост отставания объективных норм регулирования в банковской, монопольной инфраструктурной, ресурсной добывающей и иной сверхприбыльной деятельности).

Такие ошибочные решения могут приниматься, как правило, по «недомыслию» или из-за присутствия клановых интересов. Но если бы причины усложнения кризисных процессов заключались лишь в частных интересах или в результате явной некомпетентности принимаемых решений, то в Европе и Америке, где наиболее развиты контролирующие и публичные оппозиционные технологии, данные «пробелы управления» были бы менее вероятны, чем в «остальном мире». По крайней мере, они бы тогда не доминировали, или приводили только к «стандартным» вариантам возникновения кризиса и выхода из него. Реально на практике все происходит иначе. Объяснения, что в этих странах высокий уровень их развития сам по себе может допускать подобные сбои в экономике – не выдерживает критики. Значит, недомыслие здесь это не просто некомпетентность, и мы вправе говорить о *проявлении влияния природных ментальных ограничений возможностей управлять*. Потому что к таким нашим условиям современной высокой информационной насыщенности, когда число технологий различной дея-

тельности в обществе удваивается ежегодно, система мышления человека не готова адаптироваться, не приспособлена «успевать за ними» развиваться.

Не сложно привести и другие цепочки связанных практических знаний о социально-экономических процессах, протекающих за последние несколько лет, которые подтверждают существенное влияние ментальных ограничений на управление в современных организационных системах [21-24,29]. Например, косвенным симптомом этого влияния можно считать признание не эффективности экономического анализа, основанного на ВВП и других сегодняшних интегральных показателях, и попытку разработать в настоящее время новую систему более структурированных и «более действенных» параметров экономики рынка, государств и отраслей, как объективной потребности более детального управления экономикой [21,22].

И чем организационные системы более сложные в части производственных, проектных, организационных, финансовых, информационных и иных предметных технологий деятельности, тем больше такое влияние ментальных ограничений управления, тем чаще оно будет приводить к кризисным процессам, и ко многим этапам в осознании и апробации правильных управленческих решений. И это подтверждает излагаемый ниже материал.

Ясно, что в развитии общества могут быть значимыми политизированные, конъюнктурные, клановые и иные субъективные и объективные факторы-ценности, равно как и конкретные исторические события и личности, и приоритет власти, и «интерес и возможности нации» и многое другое. Но сегодня на все это накладывается выход на предел наших возможностей, данных нам природой, по управлению всем тем, что мы создали и продолжаем создавать.

Если под таким углом посмотреть на современное требование интеграции-конвергенции современных наук, высказываемое сегодня в различных областях деятельности, например, в области современной кибернетики, как науки о закономерностях управления, то интеграция полагает включение в кибернетику анализа возможностей мышления человека. С целью понимания этих возможностей и «управления» ими. То есть конвергенция наук в кибернетике, и вообще в науках, связанных с управлением, предполагает сегодня когнитивные исследования.

Причем анализ ментальных возможностей должен различать два вида сложности. Сложность деятельности, связанную с разнообразием формализуемой информации. Под формализуемой информацией понимаются знания, которые могут быть выражены в однозначном формальном виде, то есть принципиально определенные (детерминированные). Например, это системный перечень операций и процессов технологической линии, свод правил поведения в клубе, энергетические и фазовые функции (зависимости) распространения электромагнитных волн в среде (последние подчиняются точной, хоть и сложной, но считаемой, например, численными методами, системе дифференциальных уравнений). Эта сложность, принципиально определенной информации, «критичной» не является – ею можно удовлетворительно управлять в условиях современных мощных технологий решения задач. Таких, как практические методологии, теории, модели, IT-технологии.... И другая сложность, состоящая в разнообразии современных технологий деятельности общества, которых не только много, но и которые в современных условиях имеют не «высокую степень определенности». Значительная неопределенность современных деятельных технологий имеет место не только по причине «непредсказуемости поведения субъектов в организации», но и благодаря объективным приоритетам свободного рынка, среди которых системность (изученность) новых технологий не является первой. Управление большим количеством взаимосвязанных «неопределенных» технологий деятельности не достаточно обеспечено сегодня технологиями управления. Это подтверждают слабоуправляемые современные кризисные процессы (общие и локальные), и то, что создаваемые на сегодня формальные теории и модели для контроля и прогнозирования поведения сложных организационных систем либо не работают вообще, либо перестают быть адекватными очень быстро. Даже теории, экономические и управленческие модели, отмеченные высокими премиями и иными признаниями, в настоящее время могут потерять свою адекватность и актуальность уже менее чем через год после их внедрения [26].

Все вышеизложенное указывает на то, что за последние 15-20 лет общество подошло к качественно новому кризису управления – к «существенной потере возможностей» управлять сложными организационными системами. И сегодня экономические кризисы, которые всегда интегрировали в себе и политические, и социальные, и «клановые» и другие общественные механизмы, становятся в большей степени кризисами управления. И решать их проблемы нужно не только нормативными и исполнительскими экономическими, социальными, или политическими технологиями, но и технологиями управления. В комплексе, гармонично, понимание приоритет проблем управления.

2 О технологиях обеспечения управления, «обзор»

Пожалуй, основным качественным отличием руководителя от «остальных» причастных субъектов является не то, что на его место, как тенденция, привлекаются самые «продвинутые», опытные (или «просто надежные») кандидаты, а то, что руководитель вынужден интегрировать знания о своей деятельности в большей степени, чем кто-либо другой. Пусть даже не так подробно разбираясь в конкретных знаниях, как могут разбираться специалисты.

Реальные организационные системы полностью определенными системами не являются. *Кроме формализованного представления деятельности* (то есть ее «обобщенной формальной модели») - специальных и интегральных ИТ-моделей, приказов, планов, правил, норм...) *есть понимание деятельности*. Еще Кантом и древними мыслителями замечено, что «в представлении мира есть формальные знания и понимание» [25]. Понимание, в общем случае, не является полностью формализуемым представлением. Понимание руководителя - наиболее интегрированное представление. Понимание формализуется, как правило, в конкретных ситуациях.

Исторически сложилось так, что для эффективного управления требуются советники, опытные, «мудрецы» или «институты профессиональных экспертов». Замы, помощники, специалисты, сторонние эксперты формируют информационное обеспечение для руководителя, обеспечивают коммуникацию с «институтами» и другими управленцами, решают поставленные руководителем для этого обеспечения задачи.... Но предлагаемые ими решения и модели, как объективная особенность при управлении, как правило, менее открытые, чем понимания, которые «строит» для своей деятельности сам руководитель.

Так же сложилось, что на начальных этапах своего развития передовые ИТ-технологии (информационного обеспечения), как тенденция, ориентировались на специалистов и экспертов. Во второй половине прошлого столетия проблема «роста сложности управления знаниями в условиях роста информационного разнообразия» сначала породила приоритет «глубоких специалистов». Особенно в США культ узкой специализации был высок. Например, даже зарекомендовавшие себя врачи отоларингологи могли вообще не представлять, что такое урология и как устроена пищеварительная и очистительная система в организме человека. И предпримчивость и интуиция в бизнесе были более востребованы, чем системность мышления.

Теперь несколько слов о влиянии потребностей управления на развитие ИТ-технологий в середине 20-го столетия и в начале его второй половины. С одной стороны, управление, по своей природе индивидуалистично (например, руководитель далеко не всегда приемлет сторонние готовые управленческие решения), а с другой - человеческих ментальных возможностей управлять было достаточно в целом, в существовавшем тогда информационном поле. И руководитель, в среднем, сам мог формулировать задачи для однозначного их восприятия исполнителями и для понятного предполагаемого их решения, практически на любом уровне управления. Поэтому на приоритетное развитие узкоспециализированных ИТ-технологий потребности обеспечения управления напрямую почти не повлияли. Не смотря на то, что именно в это время кибернетика, как наука о закономерностях управления, «наполнялась» интенсивно развиваемой тогда информатикой (а может быть и благодаря этому) [1,3,4].

И лишь к концу 20-го века приоритет в развитии IT-технологий сместился к интегральным информационным технологиям. И не только в решении проблем сквозного учета и эффективного планирования в деятельности сложных организационных систем, но и в решении различных вопросов управления. Интегральные технологии стали не только необходимы в условиях постоянного усложнения деятельности общества, но и возможны при развитом к концу века высоком уровне технологий решения задач (IT-средств, математики...).

В это время вслед за специальными IT-технологиями появились технологии «управления проектами типа Project», реализующие интеграцию знаний для планирования, и инструменты «сквозного и полного учета» (интегрального контроля над ресурсами типа ERP, PLM и т.п.).

Тогда же начали интенсивно развиваться технологии решения задачи оптимизации и гибкого планирования деятельности организационных систем. Такие задачи всегда в той или иной степени были актуальны, а за последние два десятилетия стали наиболее востребованы и, также как и интегральные системы учета, стали реально возможны благодаря созданию к этому времени мощных расчетных и моделирующих способов и средств [1-5].

И тогда же развился еще один класс интеллектуальных технологий, которые можно было отнести к инструменту для руководителя, таких как СППР. Однако доля этих технологий на протяжении почти двух десятилетий, включая сегодня, была и остается очень низкой в общем рынке технологий информационного и иного интеллектуального обеспечения (менее 1%). У мировых лидеров рынка высокоинтеллектуальных систем, таких как SAS Tech, Mackenzie, SAP, АЦ Концепт, DLV-consult, Cognitive Tech и ряда других компаний и институтов, продукция лишь в малой части (менее 5-7 % от общего объема услуг этих компаний) может подходить под понятие инструмента для руководителя, как прямого его пользователя. Низкая востребованность данного продукта во многом объясняется субъективными и техническими сложностями восприятия такого инструмента самими руководителями-пользователями.

Существующие на рынке такие «Системы поддержки решений» в основной своей массе или создают «удобное место руководителя» - для его информационного и коммуникационного обеспечения, или строят считаемые модели, которые суть ситуационные и требуют постоянного сопровождения, и устойчиво эффективны только для детерминированной части деятельности организационных систем [6,7]. И часто сам подход к созданию такого информационно-коммуникационного обеспечения полагает, что «управление есть совокупность принимаемых решений», и/или управление есть «согласование ценностей всех сторон к моменту необходимости или возможности принятия решений». Эти положения ограничивают восприятие таких инструментов самими руководителями, поскольку не всегда в представлении управленца его деятельность есть только согласование ценностей и акты принятия решений [26].

Но именно появление этих Систем (Project, ERP, PLM, СППР...) способствовало развитию гибкого стратегического планирования, и развитию в корпоративном управлении считаемых интеллектуальных технологий «наиболее продуктивного разрешения тактических проблемных ситуаций с позиции анализа и модернизации стратегических планов» (особенно в США и Европе, в основном в корпоративном управлении) [8,9].

Еще одно активное направление в области обеспечения управления, которое начало развиваться и в СССР, и за рубежом почти с середины прошлого столетия. Это построение комплексных концептуальных моделей управления [10,11], которое и сегодня является достаточно востребованным направлением, использующим передовые интегральные и специальные информационные технологии. Одними из лидеров, в этом направлении концептуального проектирования деятельности являются такие известные нам компании, как АЦ Концепт, SAS Tech, Mackenzie. Концептуальное моделирование «строит» организационные и функциональные архитектуры управления. Индивидуально для конкретной деятельности, для конкретных организаций. С логично вытекающим из архитектуры наполнением информационными и иными способами и средствами, с построением структуры организации самой деятельности в целом. Иногда это реализуется по образцу жесткой идеологии ERP – «детерминировать структуру и

функции работы руководителей и исполнителей до считаемого и подконтрольного уровня». Этот подход также может «со временем отталкивать понимание руководителя».

Достаточно самостоятельное направление, зачастую не контактирующее с «наукой управления» и информатикой – это построение технологий управления с использованием возможностей психологических методов [12-14]. Отдельные школы психологов даже рассматривают психику познания, как принятие решения об «осознанном и неосознанном». Сюда входят такие категории и понятия, как организационно-деятельностные игры, средства и способы коммуникации, психология коллективного управления. И не только как технологии обмена информацией, а и как способы достижения взаимопонимания. И не только для формального регламентирования деятельности, но и для моделирования понимания. Построение таких технологий управления, феноменологических по своей сути, ориентировано на создание методологий психического воздействия «на познание и на регулирование поведения», а в итоге оно направлено на создание «методологий эффективного принятия эффективных решений». Такие психологические методологии относят к «ассоциативным методологиям». И они ориентированы на управление, как на «совокупность принимаемых решений». Эти «эффективность принятия эффективных решений» и «управление, как совокупность принимаемых решений» концептуально не всегда соответствует пониманию управления теми, кто принимает решения.

Данные технологии (психологического происхождения) привлекают знания из философии, гносеологии, из области когнитивных исследований.... Но далеко не как интеграцию знаний всех данных видов исследований, а больше как поверхностная проверка (или обоснование) психологических технологий на соответствие фундаментальным знаниям [12-14]. И вообще деятельность в области управления слабо использует интеграцию «причастных» прикладных наук, как психология, экономика, политика..., и тем более биология, физика. Экономика, как наука, «зависает» в выделенном собственном плавании, кибернетика и другие управленческие науки – в своем, и тому подобная не интегрированная научная активность. Хотя в последнее время такая интеграция (конвергенция наук и приложений), в том числе и в управлении сложными системами, декларируется достаточно серьезными зарубежными и Российскими «институтами». И в том числе научными организациями. И как очевидная и необходимая. Но только декларируется. Общая конвергенция наук требует чрезвычайно мощных вычислительных средств, профессиональных знаний и времени, затратна, и не убедительна.

«Выжимкой» из технологий обеспечения управления, иногда даже на них паразитирующей, но все-таки чаще полезной практически, как правило, дорогой и «не всегда надолго», являются технологии, точнее услуги, консалтинга вообще и управленческого консалтинга в частности. Системное или просто структурное представление видов консалтинговых технологий сделать сложно, поскольку они непрерывно меняются и дополняются как в части контента (содержания), так и в части идеологической направленности, в зависимости от развития приведенных выше технологий обеспечения управления и от развития технологий деятельности вообще. И от проблем, этим развитием порождаемых. Возможно, по этой причине перманентности наполнения услуг консалтинга, их структурирование не имеет большого смысла. Консалтинг – это действенный способ передачи опыта и части передовых, но не успевших сформироваться (достаточно неопределенных и, поэтому, очень личностных и ситуационных) предметных технологий обеспечения управления. А лидеры рынка технологий обеспечения управления в том или ином объеме интегрируют в свою деятельность консалтинговые услуги.

Таким образом, на сегодня для нужд управления организационными системами зачастую привлекаются развитые универсальные технологии информационного и коммуникационного обеспечения. Рынок таких технологий постоянно растет, в основном благодаря развитию общего рынка IT-технологий. И благодаря тому, что IT-технологии принципиально решают проблему управления сложной, но формализуемой информацией, оставляя не совсем решенной проблему управления разнообразием не формализуемых полностью современных технологий деятельности сложных организационных систем. Технологии из разряда «инструмент для ру-

ководителя» занимают малую часть на IT- рынке, на общем рынке интеллектуальных технологий. То есть существующие на сегодня такие «технологии управления» в среднем пока мало востребованы. Они либо моделируют для руководителя детерминированную часть деятельности, становясь, по сути, «индивидуальными» IT-технологиями, решая в итоге конкретный спектр задач и «превращаясь» из технологий управления в технологии решения задач (в технологии для исполнителя или в технологии управления детерминированными системами). Либо предназначены для «части» управления или его отдельных направлений, – создаются в таких концепциях управления, которые далеко не всегда соответствуют реально существующему процессу управлению. Это и влияет на их слабую привлекательность и на их неустойчивость при использовании. Поэтому современные технологии обеспечения управления, которые относятся к понятию «инструменты для руководителя», увеличивающие его возможности управления сложными современными организационными системами, и потребность в которых сегодня явно есть и растет, требуют разработки концепций и технологий, обеспечивающих наибольшее их соответствие пониманию деятельности теми, кто принимает решения.

3 Примеры из нашей практики

В процессе выполнения заказов на «построения моделей деятельности для руководителя», реализуемых нами в частных компаниях [26], мы наблюдали следующие, относительно понятные тенденции в их деятельности. А именно, руководители и владельцы неохотно идут на создание или поддержку многотехнологичной деятельности в своем бизнесе. Объясняют они это тем, что «не полная подконтрольность основных видов своей деятельности самому руководителю создает такую неуправляемость предприятия, которая постепенно может приводить к потерям и просто психологическим проблемам, что в реальном исполнении финансовый результат «от риска перераспределения полномочий управления при расширении деятельности», себя мало оправдывает. Даже если изначально он представляется и хорошим, и возможным». Есть конкретные примеры компаний, которым «в наследство» досталось производство, включающее много видов деятельности (как пример это приватизированные комплексы советских предприятий с актуальной сегодня продукцией). Например, производственные и проектировочные компании с более чем 10-ю самостоятельными отраслевыми цехами-отделами. Такие предприятия, как правило, рано или поздно сокращаются технологически, как бы ни были высоки их доходы в несокращенном состоянии. Сокращаются в основном под угрозой банкротства от нарастающего со временем влияния неуправляемости.

В тоже время, нефтяные, металлургические, газовые и многие другие сырьевые компании реализуют, как правило, и по сути, малотехнологичный бизнес. По крайней мере, они не испытывают внутренних проблем управления. Даже очень крупные компании. Это показала наша практика предметного и договорного взаимодействия с руководителями таких организаций по вопросам управления [26].

В успешных частных фирмах обычно руководитель в состоянии сам строить и формализовать модели своего бизнеса, – адекватные, считаемые и понятные. Даже с помощью калькулятора и построения схем, с помощью подчиненных, которым руководитель может однозначно ставить задачи на проведение понятных ему расчетов. Иногда руководители таких компаний сами с желанием и без особого труда осваивают Excel-таблицы, даже простые программы в качестве сложных, но понятных руководителю «калькуляторов». Но как только бизнес технологически расширяется, то на определенном этапе «расширения» наступает момент, когда времени на такое моделирование просто нет. Их объяснения – «строить самому считаемое представление бизнеса становится сложнее. И также сложно давать понятные для подчиненного задания на расчет отдельных входящих в модель процессов. Причем задания, понятные для себя в смысле понимаемого предполагаемого решения, для его осмысления. Еще сложнее

при этом конструировать варианты решений, что тоже требует и усилий, и времени. А кроме этого нужно еще время и силы осуществлять управление и во всем остальном».

То есть при увеличении количества технологий (производственных, организационных, финансовых ...), *при усложнении деятельности, начиная с определенного момента, существенно затрудняется построение руководителем интегрального представления деятельности и вариантов развития этого представления*. «Резко» падает возможность моделирования руководителем понимания деятельности и ее развития. В том числе и потому, что управление не ограничивается формированием этого понимания. Появляется необходимость делегирования части своих полномочий управления, создания новых уровней управления, создания «самостоятельных уровней моделирования понимания», которыми тоже нужно управлять. Нами, как правило, наблюдалось такое *«затруднение управления с ростом сложности» сначала в построении вариантов развития интегрального представления, а потом в построении его самого*. Что само по себе представляется логичным и не только в управлении [12,14,25,30].

Существование такого «когнитивного порога сложности управления» или «порога управляемости», проявляющегося в резком спаде эффективности управления при достижении определенного числа технологий деятельности, нами наблюдалось не только в частных компаниях, но и в смешанных и государственных корпорациях, в структурах управления экономикой.

Общезвестен качественный практический факт, который, тем ни менее, формулируется количественно [26,27] – человек не в состоянии эффективно управлять более, чем 6-ю подчиненными (плюс/минус). *Не только потому, что если больше «шести», то их уже сложно (или не возможно) представлять в единой связанной системе, а потому, что в данном представлении нужно, кроме этого, конструировать развитие, сопоставлять и выбирать его варианты*.

Обучение руководителей, их дополнительное образование в новых технологиях деятельности или в так называемых «общих методах и теориях управления» здесь (при «приближении к порогу управляемости») дает малый положительный эффект, как показывает наша практика.

Что касается методов коллективного управления (психологических и иных), мировая практика говорит – управление, осуществляемое коллективом равноправных директоров, не является устойчивым и практически не увеличивает число эффективно управляемых технологий (образно говоря, такой коллектив, например, из 10-ти руководителей эффективно будет управлять не «60-ю» Замами, а все «теми же почти 6-ю») [26,28]. Но коллективное управление, при этом, позволяет ускорить получение качественных представлений, моделей деятельности («предельных» представлений деятельности), хоть и ограниченных «этими почти 6-ю».

Практически допустимо полагать, что никто лучше руководителя не должен моделировать понимание своей деятельности (в противовес коллективного моделирования «формальной обобщенной модели» экспертами и исполнителями, с возможным участием руководителей). Значит, в сложных организационных системах, например, в государственных структурах управления экономикой, в корпорациях, где технологическое «упрощение» деятельности не всегда возможно, для того, чтобы руководитель мог сам моделировать свою деятельность, *необходимы технологии, увеличивающие его индивидуальные возможности управлять*.

Иными словами – для создания обеспеченного управления сложными организационными системами *необходимы технологии управления, позволяющие руководителю использовать «сторонний» ментальный ресурс для увеличения его индивидуальных управленческих возможностей*, а не только получать информационное обеспечение знаниями.

4 Исторические «обычай» в управлении. Приоритет обеспеченных представлений

При развитии человеческой системы мышления «от простого к сложному», человек научился выделять главное, – те самые «не более шести» технологий, которые в конкретной ситуации являются определяющими. Мы исторически были вынуждены научиться выделять

главное, надеяться на интуицию «мудрых» или на исправление ошибок со временем, а не строить системные интегральные представления, потому что «двигались» в своем развитии от незнания к меньшему незнанию. Со временем появились возможности строить все более определенные интегральные представления (в прошлом столетии степень определенности дошла до понимания элементарного практического порядка, влияющего на деятельность организационных систем). А с быстрым ростом разнообразия видов деятельности, что мы особенно сегодня и испытываем, возникли явные потребности в таких интегральных и системных представлениях. Приоритет в управлении объективно смещается от «интуитивного» к так называемому «системному подходу». Кроме того, уже надежда на интуицию, на исправление ошибок и на «мудрых» может вылиться в то, что «осознание правильного решения» просто опоздает, «ошибка будет уже не исправить», а возникшие осложнения будут еще более неуправляемыми. Поэтому упование на угадывание, полуинтуитивное выделение главного в противовес усилиям построения обеспеченных представлений может быть критичным. Что отчасти мы и наблюдаем сегодня в некоторых крупных компаниях (GM, BP и других), в экономиках многих стран [21-24,29]. Как было сказано выше – *в настоящее время невыход из кризиса повлек перераспределение благ, это сопровождалось социальными проблемами. «Пошли» финансовые войны... Следующим шагом может стать кризис ценностей (падение возможностей согласовывать интересы), который уже имеет оттенок чего-то разрушительного, революционного.*

Поэтому технологии обеспечения управления должны быть, видимо, направлены на *построение обеспеченных представлений, позволяющих из них системно выводить правильные варианты развития.* По крайней мере, что бы решения принимались при наличии таких представлений, а не только в надежде на угадывание правильных вариантов, поскольку, как сказано выше, неосознаваемая необеспеченная деятельность может приводить к необратимым и неуправляемым последствиям. То есть не нужно стремиться создавать только такие технологии обеспечения управления, которые «рассчитывают и предлагают, даже навязывают правильные решения» (так называемые «технологии эффективного управления»), но и создавать технологии построения обеспеченных представлений. Тем самым обеспеченно отдавая акт принятия решений на ответственности тех, кто их принимает в обеспеченных условиях.

Понятие «обеспеченный», так же как и понятия «порядок» и «определение», относится к основополагающим понятиям, а поэтому оно не формализуемо в простой и краткой форме. Как и в случае «порядок-определение» для понятия обеспеченности приемлемы характеристики: однозначность, не избыточность, всеобъемлющее, соответствие практике, возможность....

Обеспеченность представлений предполагает *построение содержательно адекватных интегральных представлений знаний (в «пространстве и времени»).* С адекватно расставленными приоритетами. И не на основе предположений и обобщений точных теорий, а с адекватной степенью формализации, так как «недостаточная формализация» приводит к многовариантности (неопределенности) там, где ее не должно быть, а «излишняя формализация» дает единственное определенное развитие там, где возможны многие варианты, то есть там, где развитие не определено полностью.

Обеспеченные представления должны *соответствовать возможностям их восприятия.*

Построение обеспеченных представлений, как открытых и интегральных, *требует высокой образованности,* причем и в фундаментальных знаниях. *Требует интеграции научных и прикладных возможностей и знаний.* Но не простого их суммирования, конвергенции и согласования, а построения конкретных *интегральных технологий.*

В случае детерминированных систем обеспеченное представление есть полная модель. А именно, системное (учет всех «влиятельных» взаимодействий, связей), максимально интегрированное (учет всех «влияющих» технологий и понятий), открытое (учет всех внешних «влиятельных» взаимодействий), адекватное представление. В этом «определенном» случае все возможные варианты представления инвариантны, не зависят от выбора базовых элементов представления. В случае не полностью определенных систем, которыми и являются организа-

ционные системы, появляются дополнительные понятия – степень формализации и ценности. И варианты представлений, моделей таких недетерминированных систем зависят от выбора базовых элементов моделирования. То есть в этом случае все представления уже не будут инвариантными (если можно ввести такое обобщенное определение инвариантности). В соответствии с вышеизложенным, обеспеченным будет такой вариант представления, в котором будут минимально учитываться ценности (в идеале – будут полностью отсутствовать). То есть, в котором ценности будут исключены (заменены) подбором адекватной степени формализации.

Тогда можно сформулировать следующее формальное определение. *Обеспеченное представление – это системное, максимально интегрированное, открытое, адекватное представление, построенное в таких параметрах (элементах, базовых представлениях), которые исключают субъективные интересы-ценности (или почти исключают), заменяя их адекватными степенями формализации представления в целом и его элементов.*

Сегодня для построения обеспеченного представления нужны такие технологии, которые увеличивают индивидуальные возможности управления, снимают или уменьшают ментальные ограничения. Уже многие психологи, политики и экономисты (ученые и практики) указывают на реально испытываемую потребность в увеличении индивидуальных возможностей управления, в том числе и управления информационными потоками [11,12,14,28,29,31]. Конкретно указывается на неустойчивость и ограниченную эффективность коллективного управления («коллектив равноправных директоров может построить и быстро, и качественно понимание деятельности, но не большее, чем может воспринять один любой из них»). Обращается внимание и на недостаточность технологий коммуникации, призванных добиваться лучшего обмена знаниями, взаимопонимания и моделирования понимания (такое моделирование тоже ограничено индивидуальными возможностями).

Технологии информационного и коммуникационного обеспечения всегда будут необходимыми и в решении специальных задач исполнителей, и в управлении. Сегодня особенно актуальны в сложных системах технологии оптимизации деятельности и методы эффективного управления, которые наиболее действенны там, где деятельность можно детерминировать, или приблизить ее к таковой в части. Но сегодня в сложных организационных системах становятся актуальными и технологии, которые, кроме этого, позволяют увеличивать индивидуальные возможности управления и строить обеспеченные представления, обеспеченно моделировать понимание. Оперировать с пониманием. «Инструмент для исполнителя» может, даже должен быть определенным, закрытым, «теоретическим». А «инструмент для руководителя» – обеспеченным, открытым. В том числе при обеспечении эффективного государственного управления-регулирования в экономике. И даже если предположить, что сегодняшние сложности кризиса есть следствие банальной некомпетентности или клановых интересов («теория» мелких и больших заговоров), или следствие того, что современная экономическая модель свободного рынка «просто себя исчерпала», то это все равно не умаляет актуальности обеспеченных представлений при сегодняшнем уровне сложности.

Небольшой исторический экскурс: При развитии общества от незнания к меньшему незнанию, от непонимания к меньшему непониманию, в управлении сложился подход «поиска-угадывания правильных решений», в рамках которого построение интегрированного представления деятельности происходит в основном на неформализованном, интуитивном уровне. Эйнштейн об этом факте говорил «Я сначала формирую мысль, а потом прилагаю много усилий для того, чтобы облечь мысль в формальную словесную форму и объяснить результат. И зачастую объяснения ущербнее мысли». И при коммуникации-общении участников акта управления, обычно, высказываются и обсуждаются уже готовые варианты решений. Часто построению формальных интегральных представлений, их обоснованию уделяется мало внимания. На сегодня ментальные возможности «интуитивной интеграции» не всегда удовлетворительно учитывают все то, что может быть существенно в деятельности организационных

систем (ментальное «ограничение интуитивного мышления»). Это еще одно подтверждение сегодняшнего приоритета технологий построения обеспеченных представлений в управлении.

Подход «выделения главного», поиска наиболее эффективного решения, в самоорганизующейся деятельности сложных организационных систем, без построения обеспеченных представлений, возможно, мобилен, доступен, не требует глубоких знаний. И зачастую такой «интуитивный» подход (в противовес так называемому «системному») наиболее действенен при управлении разрешением уже возникших проблемных ситуаций и при управлении детерминруемой частью деятельности организационных систем. Но *для управления возникновением проблемных ситуаций сегодня* действенным является, согласно изложенному выше анализу, не столько выделение главного, сколько построение обеспеченных представлений.

Можно надеяться на загадочные самоорганизационные процессы и на их силу саморегулирования (полностью подтвержденную в активности клеток, растений и животных). Но при этом нужно понимать, что самоорганизация в организационных системах может иметь ограничения, даже в отлаженной конкурентной среде развитого рынка при внесении в неё, например, сложных банковских технологий, или такого «продукта», как наука. И «положительные» эффекты самоорганизации могут во времени и процессе смениться на растущие «негативные» проявления. Таких примеров в истории, даже ближайшей, можно найти множество. Это относится и к современной форме слабоуправляемого свободного рынка, и к социально-экономической активности в целом [29,31]. Общие «закономерности» и «теории» самоорганизации можно изучать и развивать, пока не до конца понятны ее механизмы, пока есть существенные неопределенности. Но *как только такие механизмы становятся понятными, то понятие самоорганизации исчезает, а на смену самоорганизации приходит управляемая деятельность*.

5 Что предлагается конкретно?

Сегодня подготовка принятия решений требует отдельного и более основательного, из разряда так называемых системных подходов, - подхода к построению обеспеченных представлений деятельности. Требуется учета большего числа предметных технологий деятельности в представлениях руководителя, чем это требовалось еще недавно, 15-20 лет назад (тогда, когда еще только появлялись мощные системные и интегральные ИТ). И в некотором смысле даже 2-3 года назад (до кризиса). Поэтому, как сказано выше, актуальными становятся такие интеллектуальные технологии, которые искусственно смогут увеличивать естественные индивидуальные ментальные возможности управления, и позволят строить обеспеченные представления современной сложной деятельности.

В качестве одной из таких технологий может выступить разработанная нами технология со-управления [26]. Она использует разделение управления на две ответственности – за обеспеченность представлений и за эффективность принимаемых решений, оставляя все функции и предмет управления обоим сторонам со-управления, реализуя индивидуальное управление.

То есть, технология со-управления, осуществляемая двумя сторонами управления – основным руководителем и со-управленцем (со-руководителем), не есть коллективное управление равноправных директоров и не есть разделение функций управления. Здесь руководитель и со-руководитель выполняют одни и те же функции – моделируют понимание «мира» и конкретной открытой деятельности, формируют задания, формулируют планы, приказы-правила, расставляют приоритеты и определяют степени формализации параметров и факторов деятельности, реализуют коммуникацию, генерируют варианты решений, проигрывают их, выбирают варианты, и управляют во всем остальном. Но со-руководитель подробнее и более экспертно в отдельных технологиях, чем руководитель формализует понимание и делает его считаемой моделью, согласовывает со всеми причастными, доводит задания до однозначного понимания их подчиненными (до двустороннего понимания). Основной руководитель выполняет

все эти функции с использованием ресурса со-руководителя. С другой стороны, руководитель «глубже» анализирует развитие и генерирует варианты управленческих решений. И *это качество со-управления не есть формальное разделение функций, это разделение ответственностей в одном поле предметных функций, - в интегральном открытом управлении*. В «простых» организациях такое разделение принципиально не является востребованным. Для большинства частных предприятий малого, среднего и крупного бизнеса, как показала наша практика [26], деятельность по внедрению технологии со-управления остается заинтересованной для руководителя предприятия до момента построения структуры конкретной модели деятельности его предприятия (до «расстановки всего по местам», см. ниже), и даже не «доходя» до программной версии модели. То есть, по сути, до конца консалтинговой части из всего объема работ по внедрению технологии со-управления.

Отчасти, некоторым прототипом такой технологии со-управления, точнее симптомом ее актуальности, можно рассматривать сегодняшнее предлагаемое двустороннее управление и регулирование экономики с привлечением экспертного коллективного органа (не просто совета экспертов, а именно как руководящего субъекта), так называемого «теневое правительство» [31]. Это есть и у нас, но в качестве публичного предложения, и в передовых Западных странах, как пробные варианты реализации единого двустороннего управления. К симптомам современной актуальности технологий со-управления можно отнести группы поддержки управления при первых руководителях крупных компаний, которые в последнее время часто практикуются и в России и за рубежом, как тенденция, и которые состоят их экспертов, опытных управленцев – «мудрецов», даже иногда политиков. Однако, как правило, пока такие группы поддержки руководителя, реально является образцами коллективного управления или экспертных служб.

6 Понимание и технология со-управления. Принципы и методология её построения

Для методологии построения технологий управления, снижающих влияние ментальных ограничений на управление, нами были обобщены и сформулированы *основные когнитивные особенности управления*:

- 1) *«Эгоистичность» индивидуального управления*. Управление по своей природе индивидуалистично, даже эгоистично, аналогично познанию [12-14,30], и отчасти творчеству. Особенно в той его части, которая касается авторитета руководителя или неявных ценностей (неявные ценности это те, которые невозможно или нежелательно формализовать).
- 2) *Высокая чувствительность к предлагаемым «кем-то» моделям и суждениям*. Управление сверхчувствительно к соответствию предлагаемых представлений деятельности (моделей, суждений) представлению руководителя. И любое, даже малое несоответствие ментальному представлению руководителя является поводом для отторжения предлагаемых моделей. Как правило, руководитель воспринимает, или корректирует предлагаемое ему понимание деятельности, если оно, хотя бы в части совпадает с его личным пониманием, либо явно улучшает таковое. Если такого соответствия нет, то любое стороннее представление для руководителя будет просто знанием. А «знания без понимания есть ничто» (И. Кант [25]).
- 3) *Ментальное ограничение управления количеством подконтрольных технологий*. Возможности эффективного индивидуального управления организационной системой ограничены количеством видов деятельности этой системы (количеством технологий, количеством объектов, субъектов, явлений). Как проявление природных ограничений мышления в управлении.
- 4) *Мышление, как реакция на внутренние и внешние возмущения*, предполагает «быстро» чередующуюся смену построений представления и конструирований вариантов его развития.

- 5) *Сложное управление, возникающее с ростом количества подконтрольных технологий, проявляется в резком падении возможностей руководителя моделировать представления и варианты их развития. Оно в первую очередь снижает ментальную возможность построения вариантов развития, а затем возможность моделирования представлений деятельности управляемой организационной системы.*

*Понимание руководителя, то есть субъекта, принимающего решения, как и понимание любого человека, - понятие не устойчивое, неопределенное, и «у каждого свое». Понимание, как философское понятие и определение – это ментальная модель, ментальное представление, отражение-модель «мира». Соответствие понимания любому представлению – это «совпадение или улучшение понимания», как это уже было сказано. И если обратиться к сформулированному выше определению «обеспеченного представления», то можно сделать следующее очевидное утверждение (сформулировать практический вывод). **Обеспеченное представление деятельности организационной системы соответствует пониманию ее руководителем, - то есть тем, кто принимает решения по поводу этой деятельности.***

Согласно приведенным когнитивным особенностям можно сформулировать следующие принципы построения такой технологии управления:

- *Технология управления может и должна формально «моделировать понимание мира и конкретной деятельности».*
- *Для выполнения требования максимального соответствия представления руководителя и используемых им моделей - моделировать понимание должен сам руководитель.*
- *Для уменьшения влияния ментальных ограничений на управление нужно создать такое устойчивое коллективное управление, которое реализует режим «использования стороннего ментального ресурса».*
- *Все это требует построения руководителем обеспеченных представлений, как результата создания интегрированных «картин» деятельности с адекватными приоритетами и степенями формализации. В этом случае анализ вариантов развития - управленческих решений, может происходить после относительно «полного» построения обеспеченных представлений.*

В качестве одной из технологий управления, соответствующих данным, на первый взгляд одновременно не выполнимым, принципам, нами предложена технология со-управления. Она основана на разделении ответственности управления на две части - за обеспеченность представлений и за эффективность принимаемых решений, при сохранении всех функций управления для «со-руководителя» и основного руководителя. Индивидуальное управление реализуется двумя сторонами субъектов.

Методология построения такой технологии (основные этапы):

- 1) *Построение формальной модели деятельности предприятия - Заказчика такой технологии, на базе существующих на предприятии формализованных представлений и с нашей (Исполнителя) предметной доработкой.*
- 2) *Построение «модели мира». Учет внешних связей, моделирование рынка и всех аспектов, касающихся деятельности предприятия. Выбор и укрупнение активных параметров деятельности.*
- 3) *Построение структуры конкретной модели деятельности для руководителя. Выделение главного (расстановка приоритетов) и определение степени формализации активных параметров деятельности.*
- 4) *Инженерия. Построение методологии для IT-версий модели и выбор программных средств. Построение пробной модели, согласования.*
- 5) *Построение IT-версии модели для первого руководителя.*
- 6) *Составление регламентов работы и оперативной модернизации модели для руководителя и «модели мира», передача технологии подразделению со-управления предприятия Заказчика.*

Программная версия модели деятельности «для первого руководителя» может существенно отличаться от таковой для другого, пусть даже очень похожего предприятия. И отличаться от модели для «вторых» руководителей и замов на предприятии (это в том случае, если деятельность замов настолько «сложна», что требует создания технологии со-управления не только для первого, но и для второго уровня управления организацией). В первую очередь отличаться из-за различия для этих управленцев приоритетов и степеней адекватной (не полной) формализации представлений одной и той же деятельности. По аналогии с тем, о чем говорит арабская мудрость «У погонщика верблюдов свои планы, а у верблюда – свои».

Согласно нашей практике – *предлагаемая технология со-управления лучше воспринимается первым руководителем, чем его заместителями или специалистами по информатике* (в отличие от того, что имеет место при внедрении традиционных ИТ-технологий). То есть *эффективная «экспертиза» профессионально проводится тем, кто в своей деятельности строит открытые представления*. И согласно практике – такой инструмент является не только понятным, но и заинтересованно востребованным самим руководителем сложных организаций (в отличие от универсальных ИТ и даже от традиционных СППР) [26].

Технология со-управления, как это следует из изложенного выше, может *практически вдвое увеличить ментальные возможности управления* [26].

Заключение

Современное качество проблем управления в организационных системах – это существенное влияние на управление индивидуальных ментальных ограничений человеческой системы мышления.

Современные организационные системы актуально делить на относительно простые и сложные в управлении организационные системы, в зависимости от степени влияния на индивидуальное управление ментальных ограничений.

В сложных в управлении организационных системах наличие только информационно-коммуникационного обеспечения управления не позволяет устойчиво и адекватно прогнозировать и контролировать деятельность.

Влияние на управление ментальных ограничений делает приоритетным построение обеспеченных открытых представлений конкретной деятельности, которые реально не полностью формализуемы.

Сегодня построение обеспеченных представлений деятельности сложных в управлении организационных систем требует создания технологий увеличения индивидуальных ментальных возможностей управления (технологий использования «стороннего» ментального ресурса в индивидуальном управлении).

В качестве одной из таких технологий может выступить технология со-управления, с разделением ответственности за обеспеченность представлений и за эффективность принимаемых решений.

Список литературы

- [1] Васильев С. Н., Теория и применение логико-управляемых систем, Труды 2-ой Международной конференции "Идентификация систем и задачи управления" (SICPRO'03), с. 23–52, 2003.
- [2] Е. Д. Теряев, К. В. Петрин, А. Б. Филимонов, Н. Б. Филимонов, Агентные технологии в автоматизированных информационно-управляющих системах. "Мехатроника, автоматизация, управление", № 10, 2010. Стр. 11 – 21 (№6, 2010, Стр. 11 – 20).
- [3] Б. В. Соколов, Е. Г. Цивирко, Р. М. Юсупов. Анализ влияния информатики и информационных технологий на развитие теории и систем управления сложными объектами. Тр. СПИИРАН, 2009, выпуск 11, страницы 11–51
- [4] Ю.М. Осипов. К вопросу о развитии понятия «мехатроника» Доклады ТУСУРа, № 1 (21), часть 2, июнь 2010 <http://www.tusur.ru/filearchive/reports-magazine/2010-1-2/193-198.pdf>

- [5] А.М. Жемчугов, к.т.н. М.К. Жемчугов. "Инновационный подход к сбалансированной системе показателей" <http://www.corportal.ru/Articles/DataTech/DSS/DSS3.aspx>, "Российское предпринимательство", Вып.2 05.07.2010
- [6] Power D.J. A Brief History of Decision Support Systems. DSSResources.COM, World Wide Web, version 2.8, May 31, 2003. <http://DSSResources.COM/history/dsshistory.html>
- [7] DSS системы поддержки принятия решений, <http://corpsys.ru/ToOrder/DSS.aspx>
- [8] Kaplan R.S., Norton D.P. The Strategy-Focused Organization: How Balanced Scorecard Companies Thrive in the New Business Environment. – Boston (Ma., USA): Harvard Business School Press, 2001. Переведенное издание: Каплан Роберт С., Нортон Дейвид П.. Организация, ориентированная на стратегию./ Пер. с англ. - М.: ЗАО <Олимп-Бизнес>, 2003, 416 с.: ил. <http://www.scorecard.ru/asp/article/16>
- [9] Каплан Роберт С., Нортон Дейвид П.. Осваиваем систему управления. // Harvard Business Review-Россия, hbr- Russia // май 2008.
- [10] Кононенко А.А., Кучкаров З.А. Никаноров С.П. Никитина Н.К. Технология концептуального проектирования / Под ред. и с предисл. С.П. Никанорова. 2-е стереотип. изд., – М.: Концепт, 2008. – 580 с.
- [11] Клейнер Г.Б. "Стратегия предприятия", М.: Издательство "Дело", 2008. – 568 с.
- [12] Сергеев С.Ф. Эргономика иммерсивных сред: методология, теория, практика: диссертация доктора психологических наук: 19.00.03/ СПбГУ. – Санкт Петербург, 2010. – 42 с.: ил. http://dibase.ru/article/11012010_sergeevsf
- [13] Щедровицкий Г. П. Философия. Наука. Методология. М. 1996 - 641 с.
- [14] Обознов А.А. Психическая регуляция операторской деятельности в особых условиях : Дис. д-ра психол. наук : 19.00.03 : М, 2003, 283 с. РГБ ОД, 71:04-19/22. <http://www.lib.ua-ru.net/diss/cont/123133.html>
- [15] В. А. Виттих. Проблемы управления и моделирования в сложных искусственных системах. "Мехатроника, автоматизация, управление" №12, 2010, Стр. 17 – 23; Организация сложных систем. – Самара: Самарский научный центр РАН. 2010. – 66 с., ил.
- [16] Томас Давенпорт. Эволюция решения. Директор информационной службы №02, 2005
- [17] Хиценко В.Е. Модель жизнеспособной фирмы Стаффорда Бира. Корпоративный менеджмент. 07.10.2008. <http://www.cfin.ru/press/management/1999-3/14.shtml?printversion>
- [18] Сешнс Роджер. Оптимальный путь к корпоративным архитектурам (Части 1 и 2). Microsoft Team. 25.02.2010. http://softwarepeople.ru/blog/2010/02/25/optimal_way_to_architecture2
- [19] Microsoft System Center IT Infrastructure Server Management Solutions. <http://www.microsoft.com/systemcenter/en/us/default.aspx>
- [20] Черняк Л. От адаптивной инфраструктуры к адаптивному предприятию // Открытие системы, 2003, С.32-39. http://www.osp.ru/os/2003/10/183497/_p3.html
- [21] Рубини Нуриэль. /Рубини: мировая экономика беззащитна перед повторной рецессией // NEWSru.com // Экономика // 6 сентября 2010 г. <http://www.newsru.com/finance/06sep2010/rubini.html>.
- [22] Валлерстайн Иммануил: Динамика глобального кризиса: тридцать лет спустя/ 18 сентября 2009 | Новость дня, Аналитика мирового кризиса | автор: Редакция ОКО ПЛАНЕТЫ | <http://www.oko-planet.ru/finances/financesday/19197-immanuil-vallerstajn-dinamika-globalnogo-krizisa.html>
- [23] Стиглиц Дж. Юдж. "Куда ведут реформы? (К десятилетию начала переходных процессов)" Вопросы экономики № 7 (1999). <http://www.74rif.ru/Stigliz.html>
- [24] Стиглиц Дж. Юдж. "Человеческое лицо глобализации" 1 марта 2004 г./ МИНСКАЯ КОЛЛЕКЦИЯ рефератов/ http://library.by/portalus/modules/ruseconomics/referat_readme.php?subaction=showfull&id=1130509724&archive=&start_from=&ucat=12&
- [25] Рассел Б. История западной философии. М, 1993. – 540 с.:ил.
- [26] Пунда Д.И. Когнитивная технология управления. Технология со-управления, модель для управления. – Проблемы управления и моделирования в сложных системах: Труды XII Международной конференции. – Самара, Самарский научный центр РАН, 2010, с. 146-157.
- [27] Георг Миллер (George Miller), 1956 год, «волшебное правило» "семь плюс минус два (7±2)".
- [28] Ostrom, Governing the Commons: The Evolution of Institutions for Collective Action, 1990 год, Монография 1991 года,
- [29] Злобин Н.В. Второй новый миропорядок. Эксмо, 2009. -352.
- [30] Величковский Б.М. Когнитивная наука: Основы психологии познания: В 2 т. Т. 1. - М.: Издательский центр «Академия», 2006. - С. 298.
- [31] Е.Г. Ясин. Важная тема, теневое правительство. / <http://www.liberal.ru/cat/> - Либеральная миссия/ Е. Ясин/, <http://www.liberal.ru/articles/cat/5139>, и <http://www.hse.ru/news/recent/27534931.html>, 2011.

АНАЛИЗ ЗАЩИЩЕННОСТИ ОБЪЕКТА С ПОМОЩЬЮ ЛИНГВИСТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

А.Д. Тарасов

Оренбургский государственный аграрный университет
460795, Оренбург, ул. Челюскинцев, 18, Россия
adtarasov@mail.ru
тел/факс: +8 (3532) 77-52-30

Ключевые слова: система физической защиты, логико-вероятностный метод, нечеткая переменная, лингвистическая переменная, нечеткая система первого типа, дедуктивная схема вывода, нечеткое правило *modus ponens*

Abstract

It is described linguistic model of decision making for object protection analysis with fuzzy expert information. For decision making process automation in fuzzy conditions is offered to use deductive conclusion scheme, based on “modus ponens” rule.

Введение

Эффективность проектирования систем физической защиты (СФЗ) объектов зависит от качества экспертных знаний и методики их обработки. Задача принятия решения о составе СФЗ является важнейшей для обеспечения безопасности объекта. При этом самым сложным и плохо формализуемым этапом, требующим применения процедур, которые используют знания экспертов, является концептуальное проектирование, под которым понимается анализ защищенности объекта, разработка принципов и структуры СФЗ, выбор варианта и состава инженерно – технических средств охраны (ИТСО).

Под защищенностью понимается совокупность организационно технических мероприятий направленных на обеспечение охраны объекта [1]. Оценка защищенности необходима для выработки наилучшей стратегии защиты и последующей оценки эффективности проектируемой СФЗ.

В настоящее время не существует единых подходов к решению данной проблемы. Например, в статье [2] за оценку защищенности принимается показатель, характеризующий степень оснащенности объекта техническими средствами по отношению к требуемой оснащенности. Однако не рассматривается структура объекта, и не определяются его уязвимые места.

В статье [3] анализ уровня защищенности проводится с помощью логико-вероятностного метода. В основе метода лежит составление булевой функции опасности системы и переход к вероятностной функции. Булева функция ставит в соответствие логическим аргументам логическое значение и представляет собой набор логических операций. Вероятностная функция есть вероятность того, что булева функция истинна. Метод позволяет определить защищенность в виде численного значения вероятности проникновения нарушителя на объект.

Эффективность логико-вероятностного метода зависит от точности исходных данных. Как сказано в [3] проблема исходных данных является ключевой для любого аналитического метода. Невозможность получения достоверных данных может снизить и даже свести на нет практическую ценность самого хорошего метода. Для логико-вероятностного анализа исходными данными являются вероятности совершения нарушителем каких-либо противоправных действий.

Знания подобного рода являются слишком сложными для анализа с помощью общепринятых количественных методов, а доступные источники информации могут интерпретироваться качественно, неточно или неопределенно. Отсюда следует неточность и неоднозначность толкования экспертами содержания вопросов при проведении анализа защищенности объекта.

В статье представлен метод, позволяющий провести оценку уровня защищенности объекта с использованием экспертной информации в нечеткой форме. Для принятия решения в нечетких условиях применяется дедуктивная схема вывода из систем нечетких высказываний, основанная на правиле *modus ponens*.

1 Представление экспертной информации в виде систем нечетких высказываний

Информация, получаемая от эксперта, может быть представлена системой условных высказываний в терминах нечетких и лингвистических переменных, устанавливающих связь между входными и выходными параметрами. В общем виде система высказываний описывается следующим образом:

Обозначим через $X, Y, Z, \dots$ множество значений входных параметров процесса проектирования, существенно влияющих на выбор выходного параметра V .

Введем лингвистические переменные $(B_X, T_X, X, G_X, M_X), (B_Y, T_Y, Y, G_Y, M_Y), (B_Z, T_Z, Z, G_Z, M_Z), \dots$ и (B_V, T_V, V, G_V, M_V) , определенные на множествах $X, Y, Z, \dots$ и V .

Системы эталонных логических высказываний, отражающие опыт эксперта в типовых ситуациях, представим в виде:

$$\left\{ \begin{array}{l} L_1^{(1)} : (\text{Если } E_{11} \text{ или } E_{12} \text{ или } \dots \text{ или } E_{1n1} \text{ то } \beta_v \text{ есть } \alpha_{v1}); \\ L_2^{(1)} : (\text{Если } E_{21} \text{ или } E_{22} \text{ или } \dots \text{ или } E_{2n2} \text{ то } \beta_v \text{ есть } \alpha_{v2}); \\ \dots \dots \dots \\ L_m^{(1)} : (\text{Если } E_{m1} \text{ или } E_{m2} \text{ или } \dots \text{ или } E_{mnm} \text{ то } \beta_v \text{ есть } \alpha_{vm}) \end{array} \right.$$

Здесь m – число базовых значений лингвистической переменной β_v ;

$E_{ji}, i = 1, n_j, j = 1, m$ – высказывания вида $(\beta_X \text{ есть } \alpha_{Xji} \text{ и } \beta_Y \text{ есть } \alpha_{Yji} \text{ и } \dots \text{ и } \beta_Z \text{ есть } \alpha_{Zji})$.

Высказывание E_{ji} представляет собой i -ю входную эталонную нечеткую ситуацию, которая может иметь место, если лингвистическая переменная β_v примет значение α_{vj} . Значения $\alpha_{Xji}, \alpha_{Yji}, \alpha_{Zji}, \dots, \alpha_{vji}$ – переменные с функциями принадлежности соответственно: $\mu_{Xji}(x), \mu_{Yji}(y), \mu_{Zji}(z), \dots, \mu_{vji}(v), x \in X, y \in Y, z \in Z, \dots$ и $v \in V$ [4].

В данной системе в зависимости от возможных нечетких значений входных параметров делается вывод о значениях выходного параметра. Такая система экспертных высказываний называется нечеткой системой первого типа.

2 Дедуктивная схема вывода

В случае, когда экспертная информация представлена нечеткой системой первого типа, предлагается использовать дедуктивную схему вывода, основанную на нечетком правиле *modus ponens*:

$$\left\{ \begin{array}{l} L_1^{(1)} : (\text{Если } A_1, \text{ то } B_1); \\ L_2^{(1)} : (\text{Если } A_2, \text{ то } B_2); \\ \dots \dots \dots \\ L_m^{(1)} : (\text{Если } A_m, \text{ то } B_m); \\ A' - \text{истинно}; \\ \text{следовательно} \\ B' - \text{истинно.} \end{array} \right.$$

где $L_1^{(1)}, L_2^{(1)} \dots L_m^{(1)}$ нечеткая система первого типа.

Истинностью нечеткого правила *modus ponens* назовем нечеткое множество $T_{mp}(L_j^{(1)}, A', B')$, определяемое выражением $T(A'/A_j) \rightarrow T(B'/B_j)$. Здесь $T(A'/A_j)$ – истинность высказывания A' относительно A_j ; $T(B'/B_j)$ – истинность высказывания B' относительно B_j , вычисляемые согласно следующему определению:

Истинность высказывания D относительно C есть значение функции $T(D/C)$, определяемое степенью соответствия высказываний D и C .

В формальной записи

$$T(D/C) = \{(\mu T(\tau)/\tau)\}, \text{ где } (\forall u \in U) (\tau = \mu D(u));$$

$$\mu_T(\tau) = \max_{u \in U'} \mu_C(u), U' = \{u \in U \mid \mu_D(u) = \tau\},$$

при этом μ_C и μ_D – функции принадлежности нечетких переменных a_C и a_D ; $\mu_T(\tau)$ – функция принадлежности значения истинности; $\tau \in [0, 1]$ – область ее определения.

Иными словами, истинностью нечеткого высказывания D относительно нечеткого высказывания C является нечеткое множество $T(D/C)$, определенное на интервале $[0, 1]$, такое, что для любого $\tau \in [0, 1]$ значение ее функции принадлежности равно наибольшему значению $\mu_C(u)$ по всем u , при которых $\mu_D(u) = \tau$ [4].

Чтобы оценить истинность сложных высказываний типа (β_X есть α_{X1} и β_Y есть α_{Y1}) необходимо использовать правила преобразования нечетких высказываний.

Приведем правило преобразования конъюнктивной формы. Справедливо выражение:

$$\langle \beta_X \text{ есть } \alpha_{X1} \text{ и } \beta_Y \text{ есть } \alpha_{Y1} \rangle \rightarrow \langle (\beta_X, \beta_Y) \text{ есть } \alpha_{X1} \cap \alpha_{Y1} \rangle.$$

Здесь $\rightarrow$ есть знак подстановки. Выражение $\alpha_{X1} \cap \alpha_{Y1}$ можно рассматривать как значение лингвистической переменной (β_X, β_Y) с соответствующим нечетким множеством $C_\cap = C_{X1} \cap C_{Y1}$; C_{X1} и C_{Y1} – цилиндрические продолжения нечетких множеств определяемые как нечеткие множества вида

$$C_{X1} = \{(\mu_{X1}(x, y)/x)\}; C_{Y1} = \{(\mu_{Y1}(x, y)/y)\},$$

где $(x, y) \in X \times Y$,

причем $(\forall x \in X) (\forall y \in Y) [\mu_{X1}(x, y) = \mu_{X1}(x); \mu_{Y1}(x, y) = \mu_{Y1}(y)]$ [4].

По аналогичному правилу преобразования высказываний импликативной формы рассчитаем истинность нечеткого правила *modus ponens*:

$$T_{mp}(L_j^{(1)}, A', B') = \{(\mu_j^{(1)}(\tau)/\tau)\}, \text{ где}$$

$$(\forall \tau \in [0, 1]) [\mu_j^{(1)}(\tau) = 1 \& (1 - \mu T(A'/A_j)(\tau) + \mu T(B'/B_j)(\tau))].$$

Введение понятия степени истинности нечеткого правила *modus ponens* позволяет сформулировать постановку задачи выбора выходного параметра: найти такие значения выходного параметра, для которых степень истинности схемы вывода на основе нечеткого правила *modus ponens* будет максимальной [5].

3 Оценка уровня защищенности

3.1 Сценарий развития опасности

При проведении анализа уровня защищенности охраняемого объекта составляется сценарий развития опасности. Сценарий описывает различные пути и способы скрытного проникновения нарушителя на охраняемую территорию. Сценарий представляется в виде графа и содержит события описывающие воздействия нарушителя на объект. Некоторые события получаются путем логического объединения двух или более исходных событий. Возможные логические операции это конъюнкция событий и дизъюнкция событий. Используем условный пример из статьи [3] (рисунок 1).

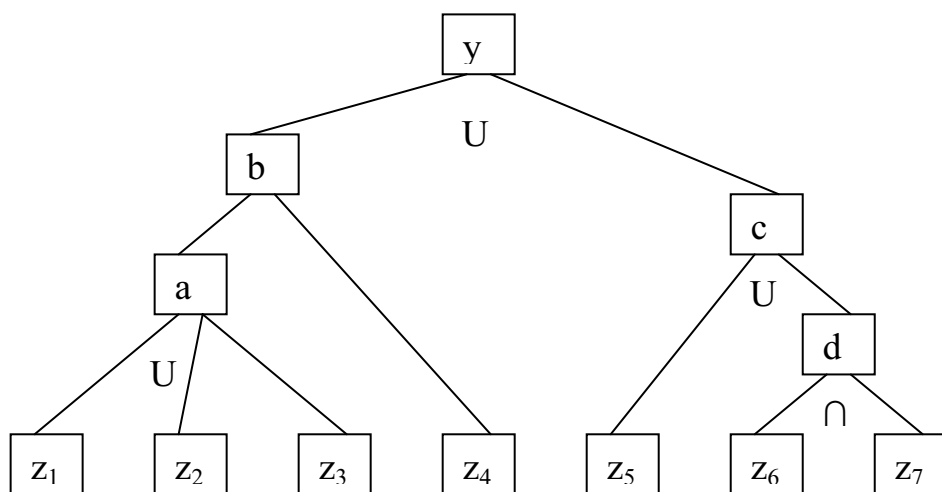


Рисунок 1 – Граф сценария развития опасности

На графе отображены следующие события:

- z1 – перелаз периметра
- z2 – пролом периметра
- z3 – подкоп периметра
- z4 – необнаружение системой теленаблюдения
- z5 – неправильная идентификация на ЛКПП
- z6 – подбор ПИН-кода на ЛКПП
- z7 – подделка проксимити-карты на ЛКПП

a – преодоление периметра

b – проникновение на объект через периметр

c – проникновение на объект через ЛКПП

d – проход через ЛКПП по поддельной проксимити-карте

y – проникновение на объект

Комбинация всех событий приводит к итоговому событию - проникновению нарушителя на охраняемый объект. Чтобы оценить уровень защищенности объекта необходимо определить вероятность осуществления итогового события. Для этого составляется функция опасности системы $y(z_1...z_n)$, ее аргументами являются события, а значением – итоговое событие. Каждый кратчайший путь опасного функционирования (КПОФ) представляет собой минимальный набор событий, конъюнкция которых приводит к итоговому событию. Функция опасности системы представляет собой дизъюнкцию КПОФ.

Составим функцию опасности по графу на рисунке 1:

$$y(z \dots z_7) = z_4 \wedge (z_1 \vee z_2 \vee z_3) \vee (z_5 \vee z_6 \wedge z_7)$$

Если представить функцию в дизъюнктивной нормальной форме:

$y(z \dots z_7) = z_1 \wedge z_4 \vee z_2 \wedge z_4 \vee z_3 \wedge z_4 \vee z_5 \vee z_6 \wedge z_7$, то из этого выражения можно определить все пути развития опасности: КПОФ₁ = $z_1 \wedge z_4$, КПОФ₂ = $z_2 \wedge z_4$, КПОФ₃ = $z_3 \wedge z_4$, КПОФ₄ = z_5 , КПОФ₅ = $z_6 \wedge z_7$. Определение вероятности проникновения нарушителя по каждому из определенных путей покажет не только общий уровень защищенности объекта, но и укажет уязвимые участки, на которые необходимо обратить особое внимание при дальнейшем определении состава СФЗ.

Согласно логико-вероятностному методу булева функция опасности преобразуется в вероятностную функцию. Далее в полученную формулу подставляются экспертные знания, за-

данные четкими числами – вероятности вышеуказанных событий [3]. В итоге будет получено значение защищенности в виде вероятности проникновения на объект. Также для определения уязвимых участков определяется вероятность проникновения по каждому КПОФ.

3.2 Экспертная информация в нечеткой форме

При использовании экспертных знаний в нечеткой форме логико-вероятностный метод неприменим т. к. вероятностная функция оперирует только четкими числами. Для дальнейшего решения задачи составим нечеткую систему высказываний первого типа, основываясь на полученной булевой функции опасности.

В высказываниях экспертов будут присутствовать нечеткие переменные. Кроме их словесных описаний переменных вида “малая”, “очень низкая” необходимо задавать соответствующие функции принадлежности. Применяемые в условном примере нечеткие переменные и их функции принадлежности приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Нечеткие переменные

Нечеткая переменная	Словесное описание	Функция принадлежности
a1	“очень высокая”	{(0,1/0,7) (0,2/0,75) (0,5/0,8) (1/0,9) (1/1)}
a2	“высокая”	{(0,2/0,6) (0,5/0,7) (1/0,8) (0,5/0,9) (0,2/1)}
a3	“средняя”	{(0,1/0,3) (0,5/0,4) (1/0,5) (0,5/0,6) (0,1/0,7)}
a4	“ниже среднего”	{(0,1/0,1) (0,5/0,2) (1/0,3) (0,5/0,4) (0,1/0,5)}
a5	“низкая”	{(0,2/0) (0,5/0,1) (1/0,2) (0,5/0,3) (0,2/0,4)}
a6	“очень низкая”	{(0,5/0) (1/0,1) (0,5/0,2) (0,2/0,25) (0,1/0,3)}
a7	“почти 0”	{(1/0) (0,7/0,05) (0,5/0,1) (0,2/0,15) (0,1/0,2)}

При построении высказываний используем информацию о кратчайших путях опасного функционирования.

Экспертные высказывания о вероятности проникновения на объект при различных вероятностях событий в составе одного КПОФ представим в виде нечетких высказываний первого типа, например:

“Если вероятность перелазы периметра низкая и вероятность необнаружения системой теленаблюдения низкая, то вероятность проникновения на объект - очень низкая”

Опишем приведенное высказывание через имена нечетких переменных. Для обозначения событий используем наименования рисунка 1, а для значений переменные таблицы 1: Если z1 есть a5 и z4 есть a5 то y есть a6.

Мнения экспертов обо всех КПОФ составят систему нечетких высказываний. Далее приведен пример части системы содержащий правила для всех КПОФ условного примера при значении выходной переменной (вероятности проникновения на объект) “очень низкая”.

- Если z1 есть a5 и z4 есть a5 то y есть a6

Если z2 есть a5 и z4 есть a5 то y есть a6

Если z3 есть a5 и z4 есть a5 то y есть a6

Если z5 есть a7 то y есть a6

Если z6 есть a6 и z7 есть a5 то y есть a6

Также эксперты должны высказаться о других возможных ситуациях на каждом КПОФ. Желательно охватить все возможные варианты наборов нечетких значений для всех входных переменных. Приведем пример части системы со всеми высказываниями о возможных состояниях КПОФ₄.

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Если } z5 \text{ есть } a1 \text{ то } y \text{ есть } a1 \\ \text{Если } z5 \text{ есть } a2 \text{ то } y \text{ есть } a1 \\ \text{Если } z5 \text{ есть } a3 \text{ то } y \text{ есть } a2 \\ \text{Если } z5 \text{ есть } a4 \text{ то } y \text{ есть } a2 \\ \text{Если } z5 \text{ есть } a5 \text{ то } y \text{ есть } a3 \\ \text{Если } z5 \text{ есть } a6 \text{ то } y \text{ есть } a5 \\ \text{Если } z5 \text{ есть } a7 \text{ то } y \text{ есть } a6 \end{array} \right.$$

Для сокращения размеров системы можно не использовать высказывания, в которых описывается невозможная или маловероятная для данного объекта ситуация, например:

вероятность подбора ПИН-кода высока.

Однако при компьютерной обработке экспертных данных можно заполнять базу знаний всеми возможными вариантами для увеличения надежности и точности процесса автоматизированного принятия решения.

Далее экспертами делается вывод о реальном состоянии уязвимых зон объекта, т. е. определяются вероятности реализации нарушителем каждого события из сценария опасности при текущих условиях на объекте. Например:

вероятность перелазы периметра средняя,

вероятность необнаружения системой теленаблюдения низкая.

Также экспертами указывается требуемый уровень защищенности объекта (в зависимости от его категории) в виде нечеткого значения допустимой вероятности проникновения:

вероятность проникновения на объект - очень низкая

Вывод, записанный через имена переменных:

$z1$ есть $a3$

$z4$ есть $a5$

...

y есть $a6$

Система экспертных высказываний вместе с экспертным выводом образуют схему вывода на основе нечеткого правила *modus ponens*.

3.3 Пример использования схемы вывода

В общем случае при работе с нечеткими экспертными знаниями этап нечеткого вывода включает в себя следующие действия:

- 1) На основании набора правил - нечеткой базы знаний - вычисляется значение истинности для предпосылки каждого правила.
- 2) Используется один из способов построения нечеткой импликации, при котором определяется нечеткая переменная, соответствующая вычисленному значению степени уверенности в левой части правила и нечеткой переменной в правой части правила.

Обычно в качестве вывода используется минимизация или правила продукции. При минимизирующем логическом выводе выходная функция принадлежности ограничена сверху в соответствии с вычисленной степенью истинности посылки правила (нечеткое логическое И). В логическом выводе с использованием продукции выходная функция принадлежности масштабируется с помощью вычисленной степени истинности предпосылки правила [5].

Приведем пример использования дедуктивной схемы вывода с минимизирующим логическим выводом.

Для определения вероятности проникновения нарушителя через каждый КПОФ необходимо найти значение истинности каждого правила из системы экспертных высказываний. Также необходимо вычислить значение истинности для предпосылки каждого правила.

Рассмотрим процесс нахождения истинности двух правил для КПОФ₄:

- 1) Если z5 есть a4 то у есть a2
 - 2) Если z5 есть a6 то у есть a5
- при выводе
z5 есть a6
у есть a6

Для первого правила определим истинность высказывания “z5 есть a6” относительно “z5 есть a4” и истинность высказывания “у есть a6” относительно “у есть a2”:

$$T(z5 \text{ есть } a6 / z5 \text{ есть } a4) = \{(0,1/1) (0,5/0,5) (1/0,1) (0,5/0)\}$$

$$T(y \text{ есть } a6 / y \text{ есть } a2) = \{(1/0)\}$$

Истинность нечеткого правила modus ponens

$$T_{mp}(L_1^{(1)}, z5 \text{ есть } a6, y \text{ есть } a6) = \{(0,9/1) (0,5/0,5) (1/0)\}$$

Выбирая из набора нечетких чисел вероятность значения 1, определяем:

Истинность левой части правила (предпосылки) равна 0,1.

Истинность правой части правила равна 0.

Истинность правила составляет 0,9

Свойство импликации таково, что при малой истинности посылки истинность самой импликации высока независимо от уровня истинности следствия. В итоге истинность первого правила равна 0,9. Применяя минимизирующий логический вывод, получаем ограничение для истинности правила равное истинности предпосылки – 0,1. По правилу конъюнкции 0,9 и 0,1 получаем истинность первого правила равной 0,1.

Проведем аналогичные вычисления для второго правила:

$$T(z5 \text{ есть } a6 / z5 \text{ есть } a6) = \{(0,5/0,5) (1/1) (0,2/0,2) (0,1/0,1)\}$$

$$T(y \text{ есть } a6 / y \text{ есть } a5) = \{(1/0,5) (0,5/1) (0,5/0,1) (0,2/0)\}$$

$$T_{mp}(L_2^{(1)}, z5 \text{ есть } a6, y \text{ есть } a6) = \{(1/0,5) (0,5/1) (0,8/0,2) (1/0,1) (1/0)\}$$

Истинность левой части правила равна 1.

Истинность правой части правила равна 0,5.

Истинность правила составляет 0,5

В итоге истинность второго правила равна 0,5.

Далее из всех правил касающихся КПОФ₄ необходимо выбрать те, истинность которых на основе нечеткого правила modus ponens будет максимальной. Предположим, что таковым стало второе правило из вышеописанных.

Следовательно значение выходного параметра, для этого правила и есть вероятность проникновения на объект через КПОФ₄. “у есть a5” - *вероятность проникновения на объект – низкая*.

В итоге при требуемом уровне защищенности “вероятность проникновения очень низкая” получаем значение “низкая” на кратчайшем пути опасного функционирования №4. Необходимо обратить внимание на события, составляющие данный КПОФ и снизить их вероятность путем внедрения (улучшения) средств защиты на данном участке объекта.

При сравнении истинностей всех правил в базе знаний можно определить КПОФ с самым высоким уровнем вероятности проникновения на объект. Отсюда будет получен текущий уровень защищенности всего объекта и определен самый уязвимый участок, требующий внимания проектировщиков СФЗ в первую очередь.

Расчеты по данной модели принятия решений проводились с помощью программы написанной на языке Visual Basic for Applications.

Заключение

Экспертные знания, используемые в различных процессах принятия решений, требуют наличия математических методов для их автоматизированной обработки. Большинство методов могут быть применены только при наличии четких числовых значений исследуемых параметров. Отсюда следует необходимость определения экспертами четких чисел даже в областях, где получения достоверных данных затруднено или невозможно.

Применение нечетких экспертных знаний позволяет качественно оценить информацию содержащую неточность или неопределенность. Использование нечетких высказываний является для эксперта более естественной формой отражения знаний.

Таким образом, при наличии в исследуемой системе данных, сложных для анализа с помощью общепринятых количественных методов, необходимо применение нечетких экспертных знаний, и следовательно нужно использовать для принятия решения математические методы обработки нечеткой информации. Например, схему вывода из систем нечетких высказываний, основанную на правиле *modus ponens*.

Список литературы

- [1] Бояринцев А.В., Бражник А.Н., Зуев А.Г. Проблемы антитерроризма: Категорирование и анализ уязвимости объектов. – СПб.: ЗАО “НПП “ИСТА-Системс”, 2006. – 252 с.
- [2] Н. Радаев Приближенные оценки защищенности объектов от террористических действий/ БДИ, №3(72) май-июнь 2007 г.
- [3] О. А. Панин Анализ безопасности интегрированных систем защиты: логико-вероятностный подход / Специальная техника, №5, 2004 г.
- [4] Малышев Н.Г. и др. Нечеткие модели для экспертных систем в САПР / Н.Г. Малышев, Л.С. Берштейн, А.В. Боженюк. - М.: Энергоатомиздат, 1991.-136 с: ил.
- [5] Коробова И.Л. Методы представления знаний: Учеб. пособие / И.Л.Коробова, Г.В.Артемов. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2005. 80 с.

XML-ОРИЕНТИРОВАННЫЙ ДОКУМЕНТООБОРОТ

И.Н. Мараканов, А.Д. Козлов

Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН
117997, Москва, ул. Профсоюзная, 65, Россия
inm@ipu.ru
тел/факс: +7 (495) 334-75-90

Ключевые слова: *распределенная информационная система, электронный документооборот, технологии XML, центры обмена данными, базы данных XML, гарантированная доставка информации*

Abstract

Principles of construction and software of the corporate automated docflow system which is based on use of XML-technology are developed. The developed methods and software are intended for use in the distributed systems with the hierarchical structure including the main office and its branches. As the standard by preparation, processing and information interchange it is offered to use a XML-format. The special structure of relational tables is developed for storage of XML-documents using Document Object Model. The developed system of tables allows to provide storage and search of XML-documents of any structure and doesn't demand reprogramming at occurrence of new documents. The architecture of the automated system and the basic functions of its subsystems are considered.

Введение

В последние годы все большее распространение приобретает использование XML-технологий при создании распределенных автоматизированных информационных систем.

Технология XML представляет собой универсальный способ обмена документами на основе единого стандарта их формирования, а также позволяющая разрабатывать эффективные средства подготовки, контроля и представления данных.

Многие информационные системы используют формат XML при обмене электронными документами и между различными подразделениями и организациями. Построение таких систем требует решения ряда задач и разработки специального программного обеспечения. В настоящей статье рассмотрены вопросы построения программно-технологических средств, обеспечивающих XML-ориентированный документооборот, который предполагает использование XML-документов на всех стадиях обработки информации: при подготовке, передаче, приеме и хранении текстовых и графических данных.

1 Основные задачи, решаемые системой

В процессе документооборота с XML-документами выполняется ряд операций, связанных с их подготовкой, обработкой, отправкой и приемом. Отправитель с помощью соответствующего программного обеспечения выполняет поиск необходимой информации в базе данных, формирует и просматривает на экране монитора компьютера содержимое отправляемого получателю XML-документа. После просмотра, корректировки и контроля корректности XML-документ отправляется средствами подсистемы доставки информации получателю.

Получатель XML-документа (обычно это сотрудник канцелярии или отдела документационного обеспечения организации) должен просмотреть полученную информацию и в общем

случае должен выполнить организационно-технологические операции, зависящие от содержания документа. Например, определить степень срочности документа, список исполнителей, определить шаблон, в соответствии с которым следует осуществлять просмотр и печать полученных XML-документов. Кроме того выполняется контроль, корректировка, дополнение и ввод полученной информации в базу данных организации-получателя.

Для реализации рассмотренной схемы работы необходимо наличие распределенной автоматизированной информационной системы (РАИС). Основными подсистемами такой РАИС являются:

- обработка и хранение XML-документов;
- представление данных с использованием шаблонов документов;
- подготовка и корректировка данных;
- контроль и диспетчеризация XML-документов;
- гарантированная доставка информации;
- обеспечение многопользовательской обработки данных.

Рассмотрим подробнее основные задачи построения данной РАИС и предлагаемые подходы, а также программно-технологические решения указанных задач.

2 Структура системы

На рисунке 1 показана схема функционирования разработанной автоматизированной системы, основой которой являются Центры обмена электронными документами (ЦОЭД). Основное назначение ЦОЭД – программно-техническое обеспечение распределенной автоматизированной информационной системы документооборота. Среди функций ЦОЭД можно выделить следующие: обеспечение обмена информацией в рамках локальной сети организации и между пользователями разных организаций; ведение базы данных XML-документов; контроль входящих и исходящих документов; поиск документов в базе данных; ведение электронной библиотеки XSL-шаблонов и XSD-схем документов; синхронизация справочников и версии программного обеспечения.



Рисунок 1 – Схема функционирования системы

Другой важной составляющей рассматриваемой системы являются автоматизированные рабочие места пользователей. В их функции входит: подготовка и контроль электронных документов; управление XML-документами; обмен данными между пользователями организации; обмен данными с ЦОЭД и с пользователями других организаций; контроль доставки и регистрации XML-документов; обеспечение совместной работы пользователей.

3 Использование единого XML-формата и организация базы данных XML-документов

XML-ориентированный документооборот предполагает использование единого корпоративного стандарта. Электронные документы в системе образуют совокупность трех составляющих: XML-документов, содержащих данные (переменную часть исходных документов), XSL-документов, содержащих шаблоны документов и XSD –документов, содержащих описание структуры исходных документов. Представление данных пользователю выполняется с помощью технологии XSLT. Пользователи системы обмениваются XML-документами, а шаблоны и схемы документов хранятся на серверах организаций.

Каждому элементу исходного документа с переменной информацией соответствует определенный элемент XML-документа. При этом рисункам, фрагментам в формате MS Word и т.п. соответствуют элементы, содержащие двоичные данные в кодировке base64.

Для хранения XML-документов предлагается использовать реляционную структуру данных, ориентированную на использование объектной модели документа (DOM – Document Object Model). Реляционное представление модели DOM XML-документа можно представить в виде двух отношений. Первое отношение включает следующие домены: идентификатор документа, номер строки, тип узла, имя узла, узел-предок, содержание узла. Второе отношение включает домены, описывающие атрибуты элементов: идентификатор документа, номер строки, номер атрибута, имя атрибута, содержание атрибута. С учетом объемно-временной оптимизации структура таблиц базы данных, обеспечивающих хранение и поиск XML-документов, имеет следующий вид:

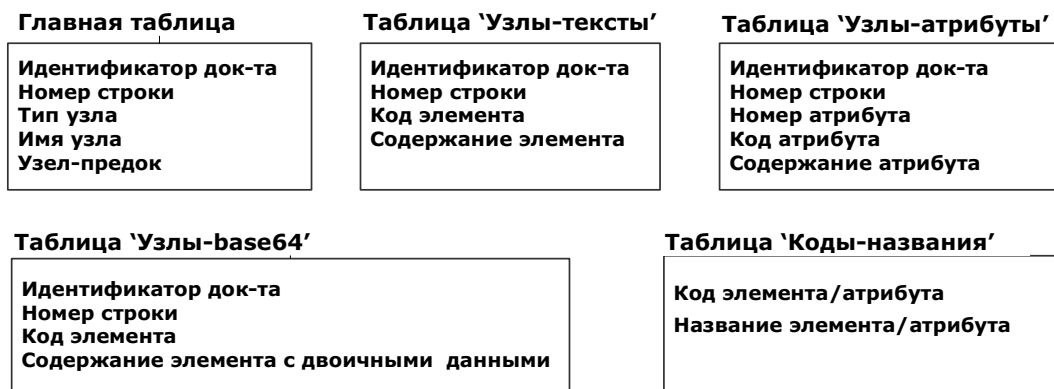


Рисунок 2 – Структура таблиц базы данных

Главная таблица содержит все записи модели DOM, исключая поле 'Содержание элемента' и данные, содержащиеся в атрибутах элементов. В свою очередь, таблица 'Узлы-тексты' содержит значения только текстовых узлов, а также идентификатор документа и номер строки в реляционном представлении документа. Аналогичную организацию имеет таблица 'Узлы-base64'. Таблица 'Узлы-атрибуты' содержит данные атрибутов соответствующих элементов XML-документов. Первичным ключом в этих таблицах является совокупность двух полей: 'Идентификатор документа' и 'Номер строки'. Таблица 'Коды-названия' содержит наименования элементов и атрибутов XML-документов. Такая организация таблиц обеспечивает минимизацию объема хранения и времени поиска указанных данных.

Для формирования соответствующих записей в рассмотренных таблицах БД по заданному XML-документу в разработанной системе имеются программные средства, обеспечивающие решение прямой задачи: формирование по XML-документу его реляционного представления. Разработаны также программные средства, обеспечивающие решение обратной задачи:

формирование исходного XML-документа по его реляционному представлению. Данную операцию необходимо выполнять при представлении найденной в БД информации. Отметим, что получаемый в этом случае XML-документ полностью идентичен исходному XML-документу и имеет ту же последовательность элементов и атрибутов.

Следует отметить, что для обеспечения быстрого поиска данных в информационных системах XML-документы могут храниться в виде файлов на специальных серверах, а содержимое элементов и атрибутов XML-документов может дополнительно храниться в виде записей реляционной таблицы. При этом каждая запись содержит набор полей, соответствующих элементам и атрибутам XML-документа.

По сравнению с этим вторым вариантом организации данных рассмотренная выше структура хранения обеспечивает меньшее быстродействие при поиске информации. Для сглаживания данного недостатка и ускорения поиска в базе данных с предлагаемой структурой могут использоваться *представления (view)*, которые содержат SQL-запросы, уменьшающие объем просматриваемых данных, и которые хранятся в базе данных в откомпилированном виде и позволяют ускорить процесс поиска. Кроме того, обычно поиск XML-документов выполняется с целью дальнейшего представления пользователю. Для этого во втором варианте после поиска необходимо прочитать содержимое XML-документа с сервера, на котором хранится соответствующий XML-файл. В этом случае общее время поиска и представления данных пользователю в первом и во-втором варианте может отличаться незначительно.

В то же время, предлагаемая выше структура хранения имеет два важных преимущества, обеспечивающих гибкость и надежность системы. Во-первых, при появлении XML-документов с новой структурой не требуется перепрограммирование. Во-вторых, хранение XML-документов в виде совокупности записей БД, а не в виде файлов, позволяет использовать средства СУБД для обеспечения высокой степени надежности хранения данных.

4 Представление данных

Для представления конечному пользователю информации используется технология XSLT (eXtensible Stylesheet Language for Transformations). В общем случае XML-документ, а также шаблон документа в виде XSL-документа, полученные из базы данных, поступают на вход XSLT-процессора (программного компонента, обеспечивающего XSLT-преобразование). В результате работы XSLT-процессора формируется документ, для просмотра которого используется Web-браузер (например, Internet Explorer). Для работы с документом, включающим как текстовые, так и двоичные данные (например, рисунок или фрагмент документа в формате MS Word), обычно используют специальные элементы, содержащие двоичные данные в кодировке base64.

Следует отметить, что технология XSLT не предусматривает визуализацию двоичных данных. Поэтому для использования данной технологии и для XML-документов, содержащих двоичные данные, предлагается использовать следующую схему. В XSL-шаблон добавляется специальный элемент, который не влияет на работу программного обеспечения, осуществляющего XSL-преобразование (XSLT-процессора). Для обработки этого дополнительного элемента разработана специальная динамическая библиотека, которая преобразует двоичные данные в HTML-формат и размещает полученный фрагмент в соответствующее место выходного документа.

Основным элементом рассмотренной технологии являются XSL-шаблоны. Разработка таких шаблонов требует знания языка XSL и для некоторых документов может потребовать значительное время. Поэтому в разработанной системе для автоматизированного формирования шаблонов документов предлагаются специальные программные средства. Они обеспечивают работу по схеме: “документ в формате MS Word” – “HTML-документ” - “XHTML-документ” - “XSL-документ” и не требуют знания языка XSL.

5 Идентификация XML-документов

Входящие электронные документы, поступающие в организацию, должны сначала попадать в соответствующую службу документационного обеспечения, где осуществляется их диспетчеризация, то есть определение их срочности, исполнителей и путей прохождения документов. С ростом объема и количества XML-документов, поступающих в организацию, увеличивается трудоемкость и сложность процесса их диспетчеризации. Создание средств идентификации XML-документов позволяет решить как задачу их диспетчеризации, так и задачу определения шаблонов визуализации XML-документов.

Простейшим способом идентификации является проверка значения определенных тэгов или атрибутов XML-документов. Но нередко возникает ситуация, когда в полученных XML-документах такие тэги отсутствуют или их значения могут отличаться у отправителя и получателя (например, в случае определения срочности документа). Кроме того, при появлении новых тэгов в этом случае может потребоваться перепрограммирование.

В [1] предложен подход к решению данной задачи, базирующийся на использовании XML-схем. Суть предлагаемого метода заключается в следующем. В специальной дисковой директории размещаются XSD-файлы, содержащие схемы XML-документов. Имена XSD-файлов не должны повторяться и должны соответствовать группам документов, к одной из которых должен быть отнесен каждый из документов. Группы могут содержать как несколько, так и только один документ. Каждый документ может входить как в одну, так и в несколько групп. Каждый идентифицируемый XML-документ последовательно проверяется на соответствие схемам XSD (XSD-файлам) из указанной выше дисковой директории. При найденном соответствии идентификатором XML-документа считается имя найденного XSD-файла. Если в результате последовательной проверки найдено несколько соответствующих XSD-файлов, идентификатором XML-документа считается совокупность имен найденных XSD-файлов. Если в результате последовательной проверки не найден ни один XSD-файл, считается, что у XML-документа отсутствует идентификатор. Таким образом, идентификатор документа может соответствовать одной, нескольким группам или не соответствовать ни одной группе документов.

Предлагаемый метод позволяет разработать эффективное и удобное в использовании программное обеспечение. Так, например, для включения нового документа в систему достаточно поместить XSD-файл со схемой нового XML-документа в определенную дисковую директорию компьютера, обеспечивающего прием и диспетчеризацию документов. При необходимости изменения алгоритма идентификации конкретного документа достаточно заменить в этой директории старый XSD-файл на новый.

6 Обеспечение многопользовательской обработки данных

При подготовке XML-документов группой пользователей возникает необходимость управления доступом к общей базе данных. В [2] предложен подход к решению данной задачи. Суть предлагаемого подхода заключается в следующем. Все пользовательские приложения обращаются к специально разработанной библиотечной функции с запросом на редактирование конкретной записи базы данных. Указанная библиотечная функция сначала осуществляет проверку: заблокирована ли нужная запись. Если запись не заблокирована, то осуществляется ее блокировка. После окончания операций первого уровня управления блокировками выполняются операции второго уровня, которые включают чтение с диска, анализ метаданных и определение состояния записи: редактируется она в данный момент или – нет. Если запись кем-то редактируется, то выдается запрет на редактирование, осуществляется разблокирование записи и пользователю выдается сообщение о времени начала редактирования записи другим пользователем, а также возможное время окончания редактирования записи этим пользователем при условии, что последнему не понадобится продолжить процесс редактирования.

Если запись никем не редактируется, то выдается разрешение на редактирование и также выполняется разблокирование записи.

Аналогичная задача управления доступом к общему информационному ресурсу возникает и при отправке XML-документов. Таким ресурсом в данном случае является общий дисковый каталог, в котором хранятся перед отправкой электронные документы. Рассмотренный выше подход к управлению блокировками может быть использован и в этом случае [3].

7 Гарантированная доставка информации

Цель создания системы гарантированной доставки заключается в обеспечении защищенного и оперативного процесса обмена данными между корпоративными пользователями и приложениями с использованием специализированных Web-служб, которые входят в состав разработанного программного обеспечения рассмотренных выше ЦОЭД. Данные Web-службы позволяют обеспечить надежный и контролируемый обмен данными, обеспечить автоматический процесс регистрации электронных документов, передаваемых в другие организации, исключить дублирование сообщений и др. [3].

В головном ЦОЭД имеется Web-служба, которая выполняет функции “Электронного почтамта”, т.е. принимает от ЦОЭД филиалов сообщения и размещает полученные файлы в соответствующих дисковых директориях, а также осуществляет отбор файлов, предназначенных для обратившегося филиала, и передачу их в ЦОЭД этого филиала. Использование такой сервис-ориентированной архитектуры позволяет обеспечить оперативный обмен данными между указанной Web-службой головного ЦОЭД и обратившимся к ней клиентским приложением, а также реализовать доставку информации в режиме ‘on-line’.

Основные функции системы: шифрование информации, доставка сообщений группе пользователей, уведомление о доставке, ведение журнала входящих и исходящих сообщений, архивирование передаваемых сообщений, поиск информации в архивах, антивирусная защита, автопроцессинг отправляемых сообщений (циклический процесс обмена файлами из специальных дисковых директорий).

Одной из важных задач, которая эффективно решается с помощью рассматриваемой системы, является регистрация исходящих из филиалов сообщений в системе головного офиса. Пользователи в филиалах в режиме реального времени получают информацию о факте регистрации в головном офисе и входящем регистрационном номере сообщения (электронного документа), направленного в адрес головного офиса. При этом система позволяет вести оперативный контроль и учет зарегистрированных сообщений и исключить ошибочные действия, связанные, например, с повторной регистрацией или потерей передаваемых сообщений. Аналогично решается и обратная задача регистрации исходящих из головного офиса сообщений, направленных в адрес филиалов.

Заключение

Разработаны принципы построения и программное обеспечение корпоративной автоматизированной системы документооборота, базирующейся на использовании XML-технологий. Разработанные методы и средства предназначены для использования в распределенных системах с иерархической структурой, включающей головной офис и его филиалы. Рассмотрены основные задачи построения системы XML-ориентированного документооборота, основные функции ее подсистем и вопросы создания программно-технологического обеспечения. Предлагаемые подходы позволяют обеспечить эффективное хранение и обмен электронными документами.

Список литературы

- [1] Козлов А.Д., Мараканов И.Н., Степанов В.В. Решение задач управления электронным документооборотом на основе структурной идентификации XML-документов. // Управление развитием крупномасштабных систем: Труды II международной конференции (Москва, 1-3 октября 2008г.). – Москва: ИПУ РАН, 2008. - С. 250-258.
- [2] Лебедев В.Н., Мараканов И.Н., Орлов В.Л. Метод двухуровневой блокировки для управления информационными ресурсами в разьединенном окружении. // Управление развитием крупномасштабных систем: Тезисы докладов I международной конференции (Москва, 1-3 октября 2007г.). – Москва: ИПУ РАН, 2007. - С. 172-173.
- [3] Мараканов И.Н. Корпоративная автоматизированная система оперативного обмена информацией на основе сервисиориентированного подхода. // Проблемы управления и моделирования в сложных системах: Труды XII международной конференции (21-23 июня 2010г., Самара, Россия). – Самара: Самарский научный центр РАН, 2010. - С. 570-5767.

ВЫЯВЛЕНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ КРИТЕРИЕВ ЭФФЕКТИВНОГО ТРУДОУСТРОЙСТВА ВЫПУСКНИКОВ ВУЗОВ

И.П. Болодурина, Н.В. Ханжина, Ю.И. Ахмайязнова

Оренбургский государственный университет
460018, Оренбург, пр. Победы, 13, Россия
prmat@mail.osu.ru
тел: +7 (3532) 37-25-36, факс: +7 (3532) 72-37-01

***Ключевые слова:** эффективное трудоустройство выпускников, взаимодействие критериев*

Abstract

Having analyzed questionnaires of university graduates, the authors defined the factors that produce an effect on the graduates' employment. The article presents the models that have qualitative variables and describes the interaction of criteria.

Введение

В период экономического кризиса в стране все чаще стали проводиться мероприятия, направленные на анализ эффективности трудоустройства выпускников вузов страны. Так, на региональных уровнях принимаются различные программы, направленные на повышение трудоустройства выпускников, например, стажировка на предприятиях региона с оплатой за счет средств регионального бюджета, предоставление ссуд для открытия малого бизнеса, обсуждение научного опыта на многочисленных научно-практических конференциях. Российский Союз ректоров с 2009 года проводит системное всероссийское исследование взаимодействия вузов и коммерческих организаций – ежегодный мониторинг «Бизнес и образование» в рамках соглашения о стратегическом партнерстве с ведущими объединениями бизнес-сообщества.

Такое серьезное отношение всех уровней власти к эффективному трудоустройству выпускников вузов объясняется необходимостью сокращения неоправданных расходов средств федерального бюджета на образование, неравномерным составом трудовых кадров страны, перенасыщением рынка труда конкретными специалистами и дефицитом других специалистов, отсутствием планирования использованных ресурсов на перспективу, заботой государства о каждой личности страны и т.д. Тем не менее результаты трудоустройства выпускников не достигают желаемого уровня.

В этой связи выявление факторов, влияющих на эффективное трудоустройство выпускников, является актуальной задачей, и этой проблеме посвящена настоящая работа.

В Оренбургском государственном университете с 2007 года функционирует отдел содействия трудоустройству выпускников и маркетинга образовательных услуг, в функции которого входит:

- изучение спроса на образовательные услуги в регионе;
- формирование информационной базы предприятий, на которых возможно прохождение всех видов практик в разрезе специальностей;
- сотрудничество с предприятиями и организациями, выступающими в качестве работодателей для студентов и выпускников университета;
- организация временной занятости студентов университета;
- создание банка данных о выпускниках университета, а также банка вакансий, предлагаемых работодателями по соответствующим специальностям;

- предоставление на договорной основе потенциальным работодателям информационных услуг по организации прохождения практики и подбору необходимых сотрудников из числа студентов и выпускников университета;
- взаимодействие с Центрами содействия занятости обучающихся и трудоустройства выпускников других высших учебных заведений;
- проведение организационных мероприятий (семинаров–тренингов, ярмарок вакансий, дней карьеры, презентаций предприятий и организаций работодателей и т.п.), способствующих успешному трудоустройству студентов и выпускников университета;
- привлечение предприятий различных форм собственности к участию в подготовке специалистов (целевая подготовка, курсы, учреждение стипендии и др.);
- ведение информационной и рекламной деятельности, направленной на профориентацию и содействие трудоустройству выпускников университета;
- сбор, обобщение, анализ и предоставление студентам информации о кадровых предпочтениях и требованиях, предъявляемых к соискателю рабочего места;
- мониторинг рынка труда и анализ трудоустройства выпускников.

Для выполнения поставленных задач отдел содействия трудоустройству выпускников и маркетинга образовательных услуг каждый год проводит анкетирование выпускников. Ежегодно в анкетировании принимают участие более 90 % выпускников очной формы обучения головного вуза:

- 2007 год – 2045 человек, что составляет 97 %;
- 2008 год – 2068 человек, что составляет 92,4 %;
- 2009 год – 2168 человек, что составляет 98,5 %;
- 2010 год – 2107 человек, что составляет 98,6 %.

На основе проведенного анализа анкет выпускников выявлены следующие закономерности.

Выбор выпускниками полученной специальности обусловлен в основном возможностью получения интересной (62,1 %, 63,4 %, 66,8 %, 68,3 %) и высокооплачиваемой (49,1 %, 49,6 %, 53,9 %, 51,3 %) работы. В целом выпускникам нравится полученная специальность (87,8 %, 88,0 %, 94,6 %, 93,9 %) и они не жалеют о поступлении в данный вуз, более половины респондентов считают, что полученная специальность востребована на рынке труда. В ходе опроса выяснилось, что 62,8 %, 63,3 %, 67,1 %, 65,6% планируют продолжить свое образование (второе высшее образование, аспирантура, стажировки, специальные курсы), не планируют дальнейшее обучение 32,1 %, 25,6 %, 28,2 %, 29,2 % респондентов. Большинство студентов понимает, что непрерывное образование обеспечивает конкурентоспособность на рынке труда. Кроме того, в анкетах большинство выпускников отметили, что им приходилось подрабатывать во внеучебное время (61,6 %, 68,8 %, 74,6 %, 73,7 %), но только 23,2 %, 29,8 %, 29,2 %, 27,3 % из них работало по специальности, причем из мотивов внеучебной работы основными названы получение трудового опыта (33,8 %–22,2 %) и потребность в финансовых средствах (26,8 % – 30,5 %). Как показывают результаты опроса, большинство выпускников уверены, что могут работать по полученной специальности (50,9 %, 71,9 %, 73,1 %, 73,0 %) и четко осознают, какими компетенциями должен обладать молодой специалист. Наиболее важным при выборе работы выпускники считают достойный уровень заработной платы (86,4 % – 92,3 %), возможность карьерного роста (72,0 % – 80,6 %) и возможность профессионального роста (71,7 % – 76,8 %). Производственная практика, предусмотренная учебным процессом ряда специальностей, стала полезной для большинства студентов. Кроме того, часть студентов по завершению практики была приглашена на работу, что можно рассматривать как потенциальную стартовую площадку для карьеры.

Согласно информации из обработанных анкет поиск работы выпускники осуществляют самостоятельно через средства массовой информации. Кроме того, немалую помощь в

вопросах трудоустройства оказывают родители, родственники, друзья, знакомые. Около четверти студентов прибегают к услугам вспомогательных структур – отделов по трудоустройству, бирж труда, кадровых агентства.

Проблемы трудоустройства выпускников возможно связаны с несколькими причинами: это и неоправданный выбор специальности выпускниками школ или техникумов (слабая профориентационная работа, высокий проходной балл при поступлении, советы друзей или родственников и т.д.), и перенасыщенность рынка труда конкретными специалистами, и низкий уровень подготовки выпускника с позиций требований работодателя, и завышенные зарплатные ожидания молодых специалистов и, возможно, низкая профориентационная работа вуза в течение всего срока обучения.

Анализ частотных рядов одномерных признаков позволил выявить некоторые закономерности, однако при таком анализе значительный объем полезной информации, содержащейся в данных, фактически не используется.

Для выделения в анализируемых анкетах факторов, влияющих на эффективность трудоустройства выпускников, а также установления приоритетности выбранных критериев в настоящей работе использованы методы дисперсионного и логлинейного анализа.

В ходе исследования рассматривался ряд моделей. На основе сопряженной таблицы для трех качественных переменных построена ненасыщенная модель, реализующая положительную взаимосвязь между перспективами трудоустройства, формой обучения и причиной выбора специальности, а также содержащая три главных эффекта и тройное их взаимодействие. Значение двустороннего критерия χ^2 –максимального правдоподобия этой модели удовлетворяет уровню значимости, следовательно, фактические частоты отличаются от ожидаемых при условии случайной реализации.

Далее рассматривалась модель, состоящая из следующих трех качественных переменных: перспективы трудоустройства, форма обучения, подработка во внеучебное время. Критерий χ^2 –максимального правдоподобия равен 60,204, что больше чем 35,172, т.е. значимо для уровня 0,05. Следовательно, фактические частоты отличаются от ожидаемых при условии случайной реализации, и можно определить, какие эффекты объясняют это различие. В результате получена ненасыщенная модель, которая реализует взаимосвязь между перспективами трудоустройства, формой обучения, подработкой во внеучебное время и содержит два главных эффекта и одно двойное взаимодействие.

Критерий χ^2 –максимального правдоподобия для модели, состоящей из перспектив трудоустройства, подработки во внеучебное время и заработной платы, равен 65,096 и удовлетворяет уровню значимости 0,05. Следовательно, фактические частоты отличаются от ожидаемых при условии случайной реализации, и можно определить эффекты, объясняющие это различие. В результате получена ненасыщенная модель, реализующая взаимосвязь между перспективами трудоустройства, подработкой во внеучебное время и заработной платой, содержащая два главных эффекта и одно двойное взаимодействие.

По результатам дисперсионного анализа установлено, что большинство выпускников, работающих по специальности во внеучебное время, рассчитывают на самую высокую заработную плату, работающих не по специальности – на среднюю, неработающих – на меньшую заработную плату. Логлинейный анализ подтвердил выводы дисперсионного анализа о взаимодействии между перспективами трудоустройства, подработкой во внеучебное время и заработной платой в перспективе.

На основе проведенных исследований можно утверждать, что перспективы трудоустройства выпускников находятся в тесной зависимости от:

- формы обучения (бюджетная или платная);
- работы во внеучебное время;
- причин выбора специальности;
- наличия дополнительного образования;

- владения иностранным языком;
- уровня владения компьютерной техникой.

На основе полученной информации в 2009 году на ряде факультетов проведены встречи со студентами младших курсов для ознакомления их с результатами исследований, в следствии этого увеличился набор на дополнительные квалификации по программам «Иностранный язык» и «Web-дизайн». Судить о положительном или отрицательном опыте этого мероприятия на данный момент времени не представляется возможным, так как обучение по этим программам длится 3–4 года и соответственно выпуска таких специалистов пока не было.

Кроме того в 2009 году на нескольких факультетах спланированы и проведены обучающие семинары–тренинги для студентов по написанию резюме, умению вести диалог на собеседовании при трудоустройстве. В 2010 году данное мероприятие проведено на каждой специальности каждого факультета.

По результатам мониторинга Российского Союза ректоров, проведенного в мае 2010 года, выяснилось, что вопреки общепринятому мнению о перепроизводстве экономистов на первом месте среди направлений развития бизнеса, требующих привлечения молодых специалистов, по–прежнему «Экономика и финансы» и «Бухгалтерия», также высоко востребованы выпускники производственных специальностей, факультетов ИТ и связи.

При добавлении к результатам анализа анкет выпускников фактора «средний балл за период обучения» получаем следующее:

- респонденты с более высоким средним баллом довольны выбранной специальностью, тогда как с низким баллом высок процент ответивших «Не нравится выбранная специальность совсем» или «Вообще не стали бы получать высшее образование»;
- чем выше средний балл у выпускников, тем больше процент уверенных в способности работать по своей специальности;
- связь вторичной занятости и снижение успеваемости у работавших студентов не очевидна;
- более амбициозны в вопросе о желаемом уровне заработной платы респонденты с низким средним баллом, тогда как «отличники» наоборот более реально оценивают ситуацию на рынке труда.

Наиболее тесная связь между средним баллом и трудоустройством установлена на специальностях гуманитарного и экономического направлений (это факультеты гуманитарных и социальных наук, филологии, экономики и управления, финансово–экономический, юридический), то есть с ростом среднего балла растет успешность трудоустройства. Из технических специальностей такая закономерность наблюдается только на архитектурно–строительном факультете и факультете информационных технологий. Данная зависимость возможно связана с мотивацией при выборе специальностей, на эти специальности пришли студенты имеющие более высокие баллы ЕГЭ при поступлении, а значит весь период обучения внутри групп была высокая конкуренция, стимулирующая к высокому уровню успеваемости. Кроме того миф о перепроизводстве специалистов данных направлений (гуманитарного и экономического) побуждает студентов получать дополнительные квалификации, находить работу и стажировки во время обучения, что обеспечивает им конкурентные преимущества. Строительная отрасль и ИТ отрасль в настоящее время бурно развиваются, что обуславливает наличие вакансий и при хорошей вузовской подготовке и трудовой практики во время учебы обеспечивает выпускникам гарантированное трудоустройство не только в компаниях региона, но и в столичных организациях.

В результате анализа анкет выявлено, что больший процент трудоустроенных выпускников имеет средний балл в диапазоне от 3,5 – 4,5, что возможно является следствием всестороннего развития личности (спорт, работа, культурное просвещение и т.п.), тогда как лица с более низкими баллами не только не приобрели необходимый багаж знаний, но и не

научились осваивать необходимую литературу и документацию, общаться, а лица с более высокими баллами ориентированы на продолжение учебы в магистратуре, аспирантуре или не приобрели личностных навыков (закрытость личности, стеснительность и т.д.).

Заключение

На основании проведенных исследований мы можем предложить следующий механизм трудоустройства выпускника вуза. Абитуриент → студент младших курсов (которому предлагается получение дополнительной квалификации, прохождение практик на предприятии) → студент старших курсов (которому предлагается получение второго высшего образования на базе неполного высшего, стажировка и практика на предприятии, тренинги по трудоустройству) → выпускник → работодатель (на основе отзывов работодателей корректируется программа спецкурсов, изменяются дополнительные квалификации, знакомятся с отзывами студенты младших курсов).

Необходимость ознакомления студентов с отзывами работодателей подтверждается ответами на вопрос выпускниками и работодателями о компетенциях выпускников. Если в разрезе персональных компетенций у выпускников и работодателей совпали такие приоритеты, как

- проявление ответственности за выполняемую работу;
- готовность к постоянному профессиональному росту;
- широкий кругозор и способность приобретать новые знания;
- проявление инициативы в работе и творческая самореализация;
- самостоятельность принятия решения в нетипичных ситуациях,
- то в разрезе специальных компетенций нет (таблица 1).

Таблица 1 – Приоритеты выпускников и работодателей в разрезе специальных компетенций

Специальные компетенции	Приоритет выпускников	Приоритет работодателей
Способность к освоению новой техники	1	4
Навыки поиска и обработки информации	2	3
Умение планировать и оценивать деятельность	3	5
Умение приспосабливаться к изменению условий производства	4	2
Навыки работы с компьютерными программами	5	1

На основе полученной информации можно предложить следующие меры по улучшению ситуации, связанной с трудоустройством выпускников вузов:

- организовать практику студентов на предприятии по специальности, начиная с младших курсов, а также рекомендовать студентам подработку на предприятиях соответствующего профиля в каникулярное и внеучебное время;
- предлагать студентам во время обучения в вузе дополнительные услуги по изучению иностранных языков;
- открывать на специальностях дополнительные квалификации;
- наличие у вуза обширных международных связей позволяет рекомендовать студенту стажировку в вузах–партнерах, что обеспечит языковую практику и улучшит адаптацию выпускников в новом коллективе;
- предлагать получение второго высшего образования на базе незаконченного первого высшего образования;
- регулярно проводить в вузе мероприятия с привлечением работодателей;
- проводить тренинги с соответствующими специалистами.

Благодарности

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 11-07-00046-а

Список использованных источников:

- [1] Новиков, Д.А. Модели и механизмы управления развитием региональных образовательных систем (концептуальные положения) / Д.А. Новиков. – М.: ИПУ РАН, 2001. – 83 с.
- [2] Разумова, Т.О. Нужна ли профессиональная ориентация в вузе? / Т.О. Разумова // Журн. Ректор вуза. – 2009. - №3. – С. 23-29.
- [3] Еремкин, А.И., Худяков, В.А., Савенкова Ю.С., Петренко, В.О. Система содействия трудоустройству выпускников вуза в современных условиях / А.И. Еремкин, В.А. Худяков, Ю.С. Савенкова, В.О. Петренко // Журн. Университетское управление: практика и анализ. – 2009. - №3. – С. 54-58.
- [4] Ендовицкий, Д.А. Востребованность выпускников вузов на рынке труда / Д.А. Ендовицкий // Журн. Высшее образование в России. – 2010. - №2. – С. 46-69.
- [5] Ефимова, Е.А. Безработица среди выпускников вузов: региональный аспект / Е.А. Ефимова // Журн. Ректор вуза. – 2010. - №8. – С. 58-65.
- [6] Меренков, А.В. Особенности и проблемы формирования профессиональных ориентаций учащейся молодежи / А.В. Меренков // Журн. Университетское управление: практика и анализ. – 2009. - №6. – С. 31-37.
- [7] ИА «Альянс Медиа». Вузы компании расширяют сотрудничество // Журн. Ректор вуза. – 2010. - №9. – С.26-32.
- [8] Аналитические отчеты по данным маркетингового исследования «Выпускник ОГУ – 2007», «Выпускник ОГУ – 2008», «Выпускник ОГУ – 2009», «Выпускник ОГУ – 2010».

МОДЕЛИРОВАНИЕ И УПРАВЛЕНИЕ ВОСТРЕБОВАННОСТЬЮ ВЫПУСКНИКОВ ВУЗА НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКИХ КОГНИТИВНЫХ КАРТ

А.З. Асанов, И.Ю. Мышкина

Казанский (Приволжский) федеральный университет
423812, Набережные Челны, пр. Суюмбике, 10А, Россия
mirinau@mail.ru
тел: +7 (8552) 38-34-05, факс: +7 (8552) 58-88-94

Ключевые слова: *востребованность выпускников, качество образования, когнитивная карта*

Abstract

In the article construction of fuzzy cognitive map used for modeling and control of the University's graduate's relevance is described. Evaluations of the offered cognitive model's adequacy were formulated. Investigation of the fuzzy cognitive map's behavior dynamics is based on the impulse model of the process.

Введение

Основным критерием успешной деятельности любого вуза является подготовка специалистов, востребованных на рынке труда, поэтому и в настоящее время не теряет актуальности задача моделирования и управления этой востребованностью в условиях непрерывно меняющихся требований работодателей и других заинтересованных сторон в процессе подготовки специалистов с высшим образованием.

Для вуза как сложной социально-экономической системы характерно [1,2]:

- 1) Наличие большого числа разнородных факторов, влияющих на востребованность выпускников, сложность и динамический характер процессов функционирования вуза, изменчивость внешних факторов (социальных, экономических, политических, демографических).
- 2) Отсутствие достаточной статистической (количественной) информации о протекающих в системах процессах и их изменениях.
- 3) Принятие решений при управлении процессами функционирования вуза в условиях неопределенности и нечеткой информации.

В этих условиях актуальной становится задача разработки моделей, позволяющих проводить качественный анализ протекающих в рассматриваемой системе процессов, определять динамику процессов, качественно оценивать их динамику и выбирать мероприятия, способствующие их развитию в нужном направлении.

Подобные задачи могут быть успешно решены путем использования когнитивного моделирования.

1 Постановка задачи

Задача проводимого исследования заключается в разработке на основе экспертных опросов нечеткой когнитивной карты, позволяющей моделировать востребованность выпускников на основе учета влияний наиболее значимых факторов, определяющих успешное функционирование вуза. Следующим этапом является проведение исследования динамики поведения системы выбранных факторов во времени на основе построенной когнитивной карты, когда в качестве способа описания динамики системы выбрана импульсная модель процесса.

Под востребованностью выпускников в данной работе понимается некоторая качественная оценка соответствия выпускаемых специалистов требованиям всех заинтересованных в процессе обучения сторон, в том числе потенциальных работодателей.

2 Вариант решения задачи

Большинство исследователей, занимающихся вопросами оценки востребованности выпускников, полагают, что основным критерием востребованности специалиста на рынке труда является качество его подготовки, т.е. качество образования [3,4,5,6].

Приведем некоторые определения понятия качество образования.

Качество в образовании – это не только результаты учебы, но и система, модель, организация и процедуры, которые гарантируют, что студенты получают комплексное личное и общественное развитие, дающее им возможность удовлетворить свои потребности и позволяющее им внести вклад в прогресс и улучшение общества в целом. [В.В. Швец], [7]

Качество образования – результат двух составляющих: качество результата образовательного процесса и качество системы ее обеспечивающей. [7]

Качество образования как системно-социальное качество есть сбалансированное соответствие образования многообразным потребностям, целям, требованиям, нормам, эталонам. Различают две категории качества образования: качество образовательного процесса и качество образованности (как результат). [4]

В материалах Минобразования России 2002г. представлено понятие «качество образования», которое рассматривается в двух аспектах [7]:

- 4) Качество результата образовательного процесса: соответствие уровня знаний студентов и выпускников требованиям стандартов.
- 5) Характеристики системы обеспечения этого качества: содержания образования; уровня подготовки абитуриентов; преподавательских кадров; информационно-методического обеспечения; материально-технического обеспечения качества подготовки; используемых образовательных технологий; научной деятельности.

Как показывает анализ показателей аттестационной экспертизы и государственной аккредитации и сравнительное исследование различных моделей систем менеджмента качества в вузах, все они основываются на следующих моделях (или их комбинациях):

- 1) Модель Европейской ассоциации по обеспечению качества высшего образования (ENQA) [3,5,7,8,9];
- 2) Модель системы менеджмента качества по международному стандарту ISO 9000:2001, 9000:2004 (ГОСТ Р ИСО 9000-2001, ГОСТ Р ИСО 9000-2004) [3,5,7,8,9];
- 3) Модель Европейского фонда по менеджменту качества (EFQM) и ее модификации для высшего образования [3,5,7,8,9];

На основе этих моделей формируются критерии оценки качества образования.

Исходя из этого, было определено основное концептуальное положение, лежащее в основе разрабатываемой модели: основным критерием востребованности специалиста на рынке труда является качество его подготовки, т.е. качество образования.

Группой экспертов был сформирован набор факторов (концептов), влияющих на востребованность выпускников вуза, определены отношения причинности (влияния) между каждой парой факторов (концептов) и веса влияния между каждой парой концептов, связанных отношением причинности.

Стандартными методами оценки адекватности когнитивных карт являются статистические методы. В условиях поставленной задачи необходимый объем однородной статистики отсутствует, что потребовало разработки критериев оценки адекватности предлагаемой когнитивной модели.

Поэтому были введены в рассмотрение следующие оценки адекватности предлагаемой когнитивной модели:

- 1) Модель должна учитывать большинство критериев оценки качества образования (качество образовательного процесса + качество образовательной программы + качество выпускника), работающие на всех уровнях (групп критериев и стандартов) регламентируемых основными построенными на данный момент моделями качества образования, прошедшими успешную проверку на практике. Указанные модели были перечислены выше.
- 2) Модель должна учитывать внешние социально-экономические факторы и адекватно на них реагировать. Так следует учитывать тот факт, что востребованность выпускников следует рассматривать на двух уровнях: соответствие профессиональной подготовки требованиям государственных образовательных стандартов (в частности, соответствие учебного плана профессиональным компетенциям специалиста) и потребность в специалистах рынка труда. То есть, в случае «идеальной» образовательной программы, но в условиях отсутствия спроса на специальность, востребованность выпускника (качество выпускника) близка к нулю.
- 3) Обеспечение устойчивости модели по значению и по возмущению [10]. Незначительные изменения влияющих факторов должны вести к незначительным изменениям целевых факторов.
- 4) В процессе моделирования должен сохраняться характер связей между факторами. Так в случае положительной связи между управляемым и целевым фактором увеличение/уменьшение управляемого фактора должно вести к увеличению/уменьшению целевого.

В случае накопления достаточного объема статистических данных возможно обучение нечеткой когнитивной карты с помощью методов обучения нейронных сетей на основе алгоритмов обучения с учителем (например, метода обратного распространения ошибки).

На основе опроса экспертов была построена когнитивная карта, представленная на рисунке 1. Как показали проведенные вычислительные эксперименты, построенная когнитивная карта удовлетворяет всем сформулированным критериям адекватности.

Исследование динамики поведения нечеткой когнитивной карты проводилось на основе следующей импульсной модели процесса [11]:

$$X_i(t+1) = f\left(X_i(t) + U_i(t) + \sum_{j=1}^N W(j,i) \times P_j(t)\right),$$

где $X_i(t+1)$ – состояние i -го концепта (фактора) в момент времени $t+1$, $X_i(t)$ – состояние i -го концепта (фактора) в момент времени t , $U_i(t)$ – управляющее воздействие на i -ый концепт в момент времени t , $P_j(t)$ – изменение состояния j -го концепта в момент времени t (импульс) ($P_j(t) = X_j(t) - X_j(t-1)$), $W(j,i)$ – вес, характеризующий влияние j -го концепта на i -ый концепт; f – функция, переводящая значения входного аргумента в интервал $[0;1]$ (гиперболический тангенс, полулинейная с насыщением). При моделировании динамики выделенных концептов (факторов) параметр t не имеет смысла времени, а отражает только последовательность изменения состояний концептов; достижение системой стабильного состояния ($|X(t+1) - X(t)| < 0.01$) означает конечные значения факторов, характеризующие результат влияния управляющих воздействий.

Импульсная модель процесса позволяет оценить изменения целевых концептов при различных значениях управляющих факторов (прямая задача когнитивного моделирования).

Решение обратной задачи когнитивного моделирования заключается в выборе управляющих воздействий, обеспечивающих максимальную востребованность выпускников при наличии ограничений на затраты. В силу того, что все управляемые факторы имеют «положи-

3 Методический пример

Пусть начальные состояния концептов описывает следующий вектор

$X(0)=[0.1 \ 0.3 \ 0.7 \ 0.7 \ 0.5 \ 0.3 \ 0.7 \ 0.8 \ 0.2 \ 0.8 \ 0.3 \ 0.6 \ 0.1 \ 0.1 \ 0.6 \ 0.5 \ 0.6 \ 0.1 \ 0.3 \ 0.6 \ 0.6 \ 0.7 \ 0.1 \ 0.4 \ 0.6 \ 0.5 \ 0.5]$.

Рассмотрим простые импульсные процессы и изменения целевого концепта «Востребованность» в случае максимальных значений импульсов, подаваемых на некоторые управляемые концепты. Результаты моделирования представлены на рисунках 2-5.

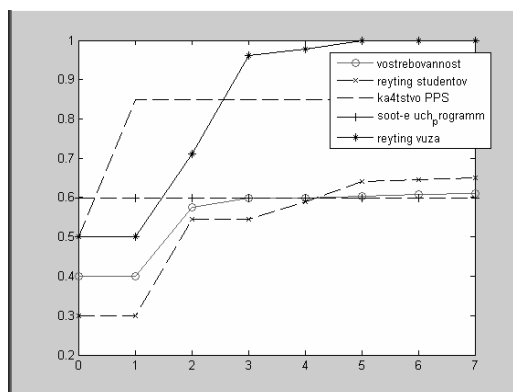


Рисунок 2 – Максимальный импульс «Контроль работы преподавателей»

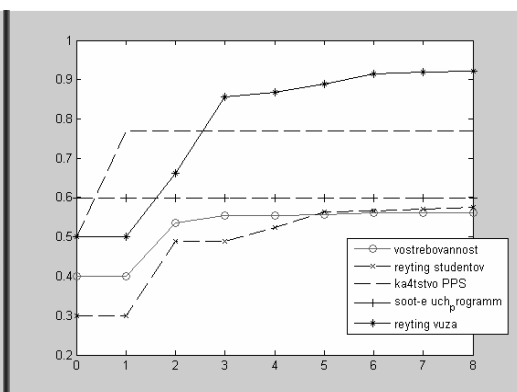


Рисунок 3 – Максимальный импульс «Финансирование НИР»

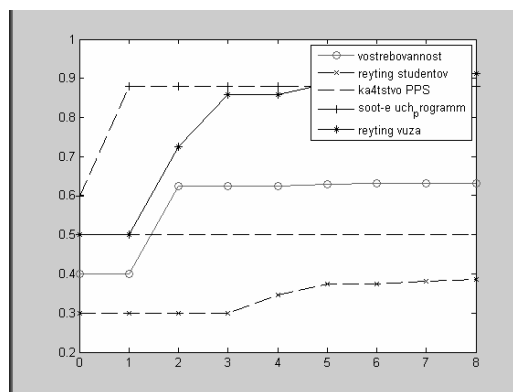


Рисунок 4 – Максимальный импульс «Состояние материально-технической базы»

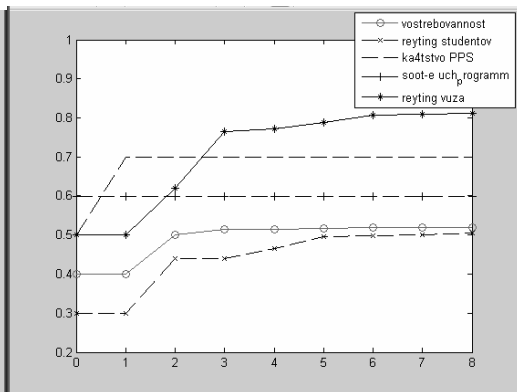


Рисунок 5 – Максимальный импульс «Процент остоепененных преподавателей»

Таким образом, максимальное значение концепт «Востребованность» имеет в случае увеличения значения концепта «Состояние материально-технической базы» (в случае рассмотренных четырех управляемых концептов).

Заключение

Проведенные вычислительные эксперименты показали, что применение когнитивных моделей для моделирования и управления востребованностью выпускников в вузе представляется перспективным. Построение когнитивных карт и имитация на их основе различных управляющих воздействий на причинные факторы, позволяет вырабатывать близкие к оптимальным

стратегии организации процессов обучения в вузе, повышающие эффективность функционирования вуза.

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант 11-08-00311).

Список литературы

- [1] Асанов А.З. Методика корректировки учебного плана профессиональной подготовки с учетом требований заинтересованных сторон / А.З. Асанов, И.Ю. Мышкина // Проблемы управления и моделирования в сложных системах: труды XII международной конференции (2010г., Самара). – Самара: Самарский НЦ РАН, 2010. – С. 232–239.
- [2] Асанов А.З. Алгоритм оценки объемов дополнительного обучения сотрудников на основе аппарата нечеткой логики / А.З. Асанов, И.Ю. Мышкина // Качество. Инновации. Образование. – М., 2010. – №12. – С. 43-50.
- [3] Соболев В.С. Концепция, модель и критерии эффективности внутривузовской системы управления качеством высшего профессионального образования / В.С. Соболев, С.А. Степанов // Университетское управление: практика и анализ. – 2004, №2(31). – С.102-110.
- [4] Васильченко Н.Г. Востребованность специалиста на рынке труда как интегрированный критерий качества образовательной программы / Н.Г. Васильченко, Е.В. Бурлюкина // Инженерное образование. – 2005, №3. – С.116-123.
- [5] Королева Н.А. Разработка модели документов системы менеджмента качества высшего учебного заведения / Н.А. Королева // Научный журнал КубГАУ. –2010. №60(06).
- [6] Субетто А. И. Государственная политика качества высшего образования: концепция, механизмы, перспективы // "Академия Тринитаризма", М., Эл N 77-6567, публ.11620, 02.11.2004 г.
- [7] Управление качеством образования: монография / Т.П.Костюкова [и др.] ; Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т. – Уфа : УГАТУ, 2008. – 304 с.
- [8] Методические рекомендации по разработке и внедрению системы оценки качества обучения по инновационным образовательным программам / А.Г. Шмелев, А.А. Чумаков, А.Г. Ларионов, А.Г. Серебряков. – М. : Изд-во МГУ, 2007. – 64с.
- [9] Болонский процесс: глоссарий (на основе опыта мониторингового исследования) / Авт. сост.: В.И. Байденко, О.Л. Ворожейкина, Е.Н. Карачарова, Н.А. Селезнева, Л.Н. Тарасюк / Под науч. ред. д-ра пед. наук, профессора В.И. Байденко и д-ра тех. наук, профессора Н.А. Селезневой. – М.: Исследовательский центр проблем качества подготовки специалистов, 2009. – 148 с.
- [10] Касти Дж. Большие системы. Связность, сложность и катастрофы: Пер. с англ / Дж. Касти. – М.: Мир, 1982. – 216 с.
- [11] Авдеева З.К. Когнитивный подход в управлении / З.К. Авдеева, С.В. Коврига, Д.И. Макаренко, В.И. Максимов // Проблемы управления. – 2007, №3. – С.2-8.

ПОДХОД К РАЗРАБОТКЕ СИСТЕМЫ ДЛЯ WEB-ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ОНТОЛОГИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ

А.А. Антропов¹, С.В. Смирнов²

¹Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики» – Нижний Новгород
603155, Нижний Новгород, ул. Б. Печерская, 25/12, Россия
antropov@sandy.ru
тел: +7 (910) 387-93-37

²Институт проблем управления сложными системами РАН
443020, Самара, ул. Садовая, 61, Россия
smirnov@iccs.ru
тел: +7 (846) 332-39-27, факс: +7 (846) 333-27-70

Ключевые слова: онтологии, сетевые модели, графический web-интерфейс

Abstract

This article describes ontological approach in connection with semantic network visualization. It lays emphasis on data modeling problems and software requirements. It also presents web-application based on National research university “Higher school of economics” application domain.

Введение

Последние десятилетие активно развивается концепция представления данных и знаний в виде онтологий - явных формальных описаний понятий предметной области и отношений между ними. Онтология - общий термин, включающий в себя многие разновидности представления понятийных структур: тезаурусы, иерархии классов в объектно-ориентированном программировании, концептуальные карты, семантические сети и т.п. [1-3].

Интуитивной сферой приложения подобного подхода к описанию действительности является создание сетевых объектных инфологических моделей. Такие *онтологические модели* позволяют зафиксировать набор концептов заданной предметной области и связей между ними, создать при помощи современных интерактивных технологий удобное представление-визуализацию предметной области с навигацией по сети, с отображением скрытых параметров объектов и связей, с возможностью организации изолированного информационного поиска и т.п.

В данной работе конструируется архитектура программной системы, обеспечивающей web-представление онтологических моделей, выбираются инструменты (программные средства, библиотеки) для такого представления и на конкретном примере апробируются принятые решения.

1 Архитектура приложения

Предлагается выделить в разрабатываемой системе две архитектурные составляющие (рисунок 1):

- 1) Редактор данных, при помощи которого инженер по знаниям способен осуществлять доступ к модели, обновлять, изменять и удалять данные. Необходимость в подобном редакторе обусловлена с одной стороны неудобством работы с «чистыми» данными, сохраняемыми согласно большинству интероперабельных форматов в текстовом файле, объем которого может достигать многих тысяч строк, а с другой – сложностью и неочевидностью пользы создания графических средств редактирования.

- 2) Web-приложение, которое обеспечивает пользователю быстрый, удобный и интерактивный доступ к данным, возможность интуитивно понятной навигации по модели.

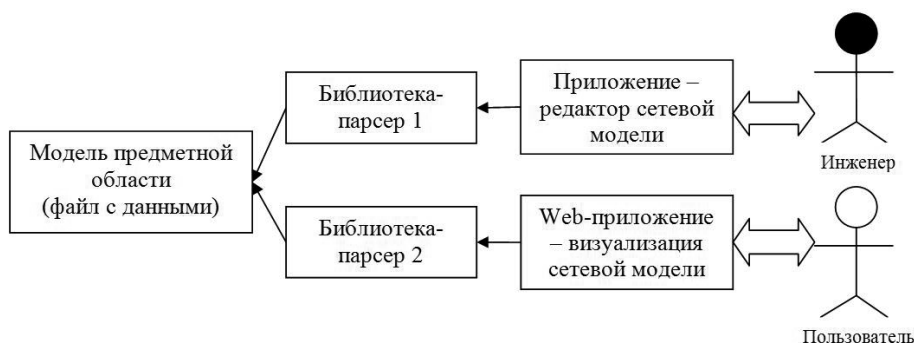


Рисунок 1 – Архитектура сетевой модели

2 Выбор программных средств

В перечне средств реализации системы следует определиться, в первую очередь, с инструментом, ответственным за хранение модели предметной области. Очевидно (см. рисунок 1), что файл со специфицирующими модель данными является той базой, в соответствии с которой могут подбираться семантические анализаторы для всех иных приложений.

В качестве такого инструмента был выбран формат *GraphML* [4] - средство, предназначенное для хранения информации о произвольных графах. В его пользу говорит возможность простого описания и использования данных, обширная функциональность и возможности для расширения. Немаловажно то, что данный формат основан на XML, а это означает минимизацию конфликтов при интеграции с другими программными средствами в силу большого количества готовых парсеров. Таким образом, *GraphML* не только потенциально пригоден для спецификации достаточно сложных онтологических моделей (например, для легких онтологий и соответствующих денотативных моделей [1, 2]), но и делает доступным предельно широкий спектр инструментальных средств создания приложений.

В рассматриваемой экспериментальной реализации системы приложение-редактор было создано при помощи широко известной и хорошо себя зарекомендовавшей графической библиотеки *Qt*. Логика приложения была реализована на скриптовом языке *Python*, который одновременно является мощным высокоуровневым средством, ориентированным на производительность разработчика и обладает широкой распространенностью в программистском сообществе. Таким образом, реализуется возможность привлечения в процессе разработки многофункциональных сторонних библиотек, как например, *NetworkX* [5], предназначенную для работы с графами и форматами хранения данных сетевых моделей, такими как *GraphML*.

Реализация графического представления сетевой модели была выполнена с помощью *Adobe Flash*. Выбор этой технологии был обусловлен двумя обстоятельствами:

- требованием создания дружественного пользователю интерактивного интерфейса;
- необходимостью размещения моделей в Интернете.

При реализации системы следовало определиться со связкой «web-ориентированная технология»-«мощная библиотека визуализации данных сетевой модели». *Adobe Flash* в полной мере соответствует таким требованиям, как по возможностям работы в Интернет, так и по интерактивности создаваемых с его помощью приложений. Кроме того, для *Adobe Flash* существует и развивается библиотека *Flare* [6], которая в полной мере предоставляет требуемый функционал по работе с форматами данных сетевых моделей, таких как *GraphML*.

С учетом сказанного общую схему использования программных средств для реализации архитектурных компонентов системы можно очертить в виде, представленном на рисунке 2.

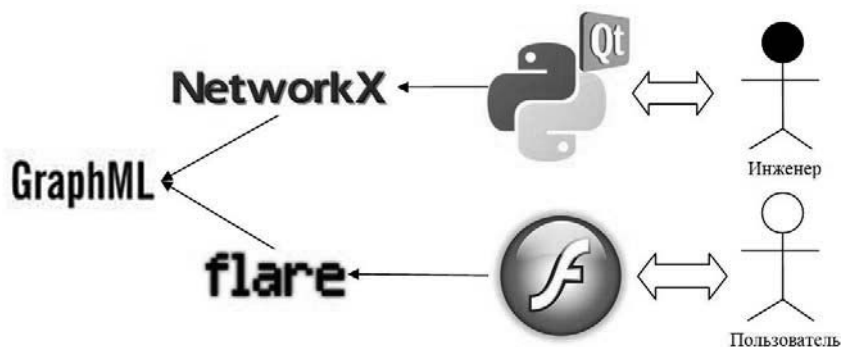


Рисунок 2 – Программные средства, использованные при реализации архитектурных компонентов системы

3 Апробация методов на конкретной предметной области

Разработанный прототип системы реализует представление онтологической модели Интернет-браузером в стиле «фокус-контекст» [7].

Предметной областью для апробации прототипа системы для web-представления онтологических моделей была выбрана организационная структура нижегородского филиала НИУ ВШЭ (нижегородский филиал) [8].

«Центральным» объектом построенной модели является «НИУ ВШЭ», в качестве параметра у каждого узла указывается класс объекта («НИУ ВШЭ» - это «университет»). В отношении партнерии с «НИУ ВШЭ» находятся класс «факультет», аналогично «факультеты» включают «кафедры», «кафедры» - «группы». Кроме этого в модели представлены курсы, читаемые в вузе. Они представляют собой объекты классов «предмет», каждый из этих объектов находится в отношении «читается на» с кафедрами и «читается у» с группами.

Навигация в модели осуществляется при помощи выпадающего списка. Также при нажатии на какой-либо из узлов мышью, данный узел помещается в центр отображения, а окружают его все узлы, имеющиеся какие-либо с ним связи. На рисунке 3 приведен пример отображение объекта «НИУ ВШЭ», с ним связаны объекты-«факультеты» и «кафедры».

«Двигаясь от университета» с помощью кликов мыши по смежникам объектов, последовательно помещаемых в фокус обозрения, можно достигнуть, например, объекта «Моделирование бизнес-процессов», т.е. дисциплины, читаемой для различных специальностей кафедрами информационных систем и технологий (рисунок 4).

4 Заключение

В сообщении рассмотрены вопросы реализации программной системы для web-представления онтологических моделей.

Основными результатами работы, имеющими научное и практическое значение, являются:

- разработка архитектуры системы;
- определение требований к формату данных для хранения онтологических моделей, программным средствам для реализации компонент-приложений системы;
- создание демонстрационного прототипа системы web-представления онтологических моделей и его апробация для представления модели значительного объема.

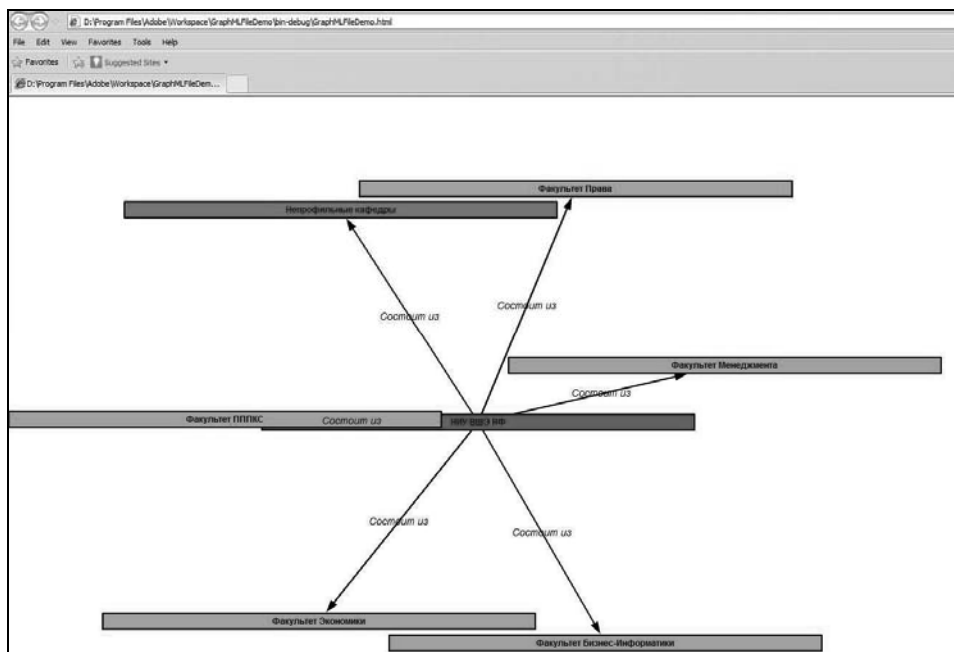


Рисунок 3 – Web-интерфейс сетевой модели предметной области: в фокусе объект «НИУ ВШЭ»

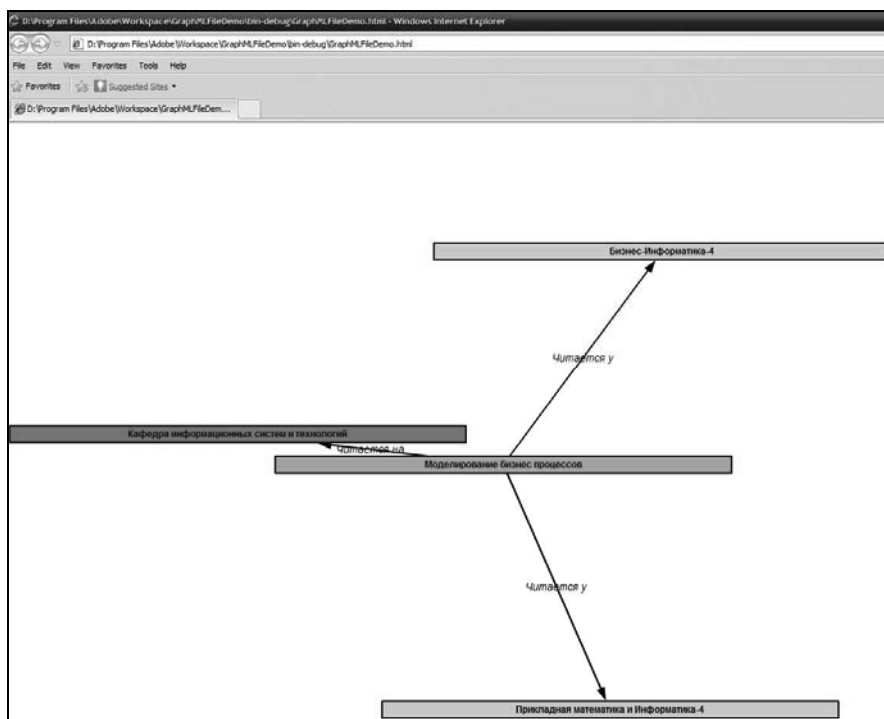


Рисунок 4 – Web-интерфейс сетевой модели предметной области: в фокусе дисциплина «Моделирование бизнес-процессов»

Список литературы

- [1] Гаврилова Т.А., Муромцев Д.И. Интеллектуальные технологии в менеджменте. – СПб.: Изд-во «Высшая школа менеджмента»; Издательский дом СПбГУ, 2008.
- [2] Лукашевич Н.В. Тезаурусы в задачах информационного поиска. – М.: Изд-во Московского университета, 2011.
- [3] Смирнов С.В. Прагматика онтологий: объектно-ориентированная модель знаний о предметной области // Одиннадцатая Национальная конф. по искусственному интеллекту с международным участием КИИ-2008 (28 сентября-03 октября 2008 г., Дубна, Россия): Труды конф. Т. 3. – М.: ЛЕНАНД, 2008. – С. 208-216.
- [4] <http://graphml.graphdrawing.org>
- [5] <http://networkx.lanl.gov>
- [6] <http://flare.prefuse.org>
- [7] Апанович З.В. Методы интерактивной визуализации информации // Проблемы управления и моделирования в сложных системах: Труды X международной конф. (23-25 июня 2008 г., Самара, Россия). – Самара: СамНЦ РАН, 2008. – С. 478-489.
- [8] <http://hse.nnov.ru/about/podraz/index.html>

Author index

Индекс авторов

А

Абдрафиков М.А., 153
Андреев М.В., 451
Антропов А.А., 566
Аншаков Г.П., 241
Апанович З.В., 499
Асанов А.З., 171, 177, 183, 560
Ахмайзянова Ю.И., 554

Б

Бабанин И.О., 451
Баранов Е.Б., 269
Батищев В.И., 159
Батышкина В.В., 415
Беленький Л.Б., 294, 300
Белоконь С.А., 217
Белопухов В.Н., 311
Бессонов К.К., 332
Богомолова М.А., 477
Болодурина И.П., 263, 554
Боргест Н.М., 391
Боровик С.Ю., 305
Боровикова О.И., 403
Бреер В.В., 385
Быков С.А., 421
Быченков К.В., 464

В

Васин Н.Н., 282
Виноградов И.Д., 409
Виттих В.А., 10, 365, 369
Волков В.Ю., 415
Вылегжанин А.С., 451

Г

Габидулин М.А., 346
Гвоздев В.Е., 147, 153
Герасимова Е.К., 339
Голиков В.П., 327, 332
Горемыкина Г.И., 339
Гриценко Е.А., 464
Губанов Н.Г., 159
Гумерова Л.З., 183

Д

Давыдов А.Н., 95
Данилушкин И.А., 115
Дегтярева И.В., 131
Демьянов Д.Н., 171
Дёмкин В.М., 269
Дилигенская А.Н., 121
Дилигенский Н.В., 95
Диязитдинов Р.Р., 282
Диязитдинова А.Р., 435, 443

З

Загорулько М.Ю., 506
Загорулько Ю.А., 403
Зеленцов В.А., 252
Золотухин Ю.Н., 217, 223

И

Иващенко А.В., 426, 435, 443, 451
Ивченко В.Д., 460
Игнатьев М.В., 369
Ильясов Б.Г., 127, 131

К

Казарин С.В., 421
Каргин В.А., 258
Каримов В.С., 177
Карпов В.Н., 321
Карташёва Т.А., 131
Кислицина Т.А., 499
Кистанов А.М., 165
Ковалев А.П., 252

Кожевников С.С., 443
Козлов А.Д., 547
Колеватов А.П., 484
Колоденкова А.Е., 470
Колпащиков С.А., 115
Кольбова Э.В., 451
Корепанов В.О., 142
Котов К.Ю., 223, 230
Кочемасова Е.И., 316
Кузнецов В.В., 321
Кутейникова М.М., 294

Л

Ларюхин В.Б., 443
Литвинов И.И., 435
Логвинов А.В., 305
Лузинский В.Т., 316

М

Макарова Е.А., 131
Мальцев А.С., 223, 230
Мараканов И.Н., 547
Мартышкин Д.М., 464
Медникова В.А., 78
Мкртычян Г.А., 372
Моржов А.В., 276
Мостовой Я.А., 241
Мышкина И.Ю., 560

Н

Неклюдов А.И., 188
Некрасов И.В., 288
Нестеров А.А., 217, 223
Нитипанова Г.П., 85
Новиков А.Л., 435

О

Осинцев М.С., 209
Офицеров В.П., 204
Офицеров М.В., 204
Охтилев М.Ю., 252, 258
Очков Д.С., 443

П

Павлов А.Н., 246
Павлова А.Н., 131
Петрин К.В., 18
Плешивцева Ю.Э., 78
Поляков Е.А., 484
Пунда Д.И., 512, 524

Р

Райков Б.К., 294, 305
Рапопорт Э.Я., 30
Решетников В.Н., 263

С

Сабитов И.И., 127
Саитова Г.А., 127
Самаха Б.А., 415
Секисов Ю.Н., 294, 311
Сидорова Е.А., 506
Симонова Е.В., 426
Скобелев О.П., 294, 300, 305, 311
Скобелев П.О., 426, 435, 443, 451
Смирнов С.В., 85, 369, 421, 566
Соболев В.А., 209
Соболев М.А., 230
Соколов Б.В., 246, 252
Соллогуб А.В., 426
Степанов М.Е., 426
Суворова Е.Г., 421
Сурнин О.Л., 464
Сычева М.В., 435

Т

Таназлы Г.И., 147
Тарасенко Ф.П., 110
Тарасов А.Д., 539
Таспаева М.Г., 263
Теряев Е.Д., 18
Тумуров Э.Г., 493
Тяпухина Т.В., 464

У

Ульяновская Т.А., 484

Ф

Фалдин Н.В., 276

Федянин Д.Н., 379

Феофилов С.В., 188

Филимонов А.Б., 18, 104, 288

Филимонов Г.А., 460

Филимонов Н.Б., 18, 104

Филиппов М.Н., 217, 223, 230

Фридман А.Я., 246

Фридман О.В., 246

Фролов Ю.В., 204

Х

Халимов Р.Р., 477

Хамиц И.И., 435

Ханжина Н.В., 554

Хименко В.И., 252, 258

Хиценко В.Е., 355

Ц

Цапенко М.В., 95

Царев А.В., 426, 443

Ч

Чекалов Л.Л., 196

Чернышев В.Б., 321, 327, 332

Чхартишвили А.Г., 379

Ш

Шарапова О.Ю., 78

Шелехов В.И., 493

В

Baake E., 55, 63

Д

Di Barba P., 74

Forzan M., 74

I

Inden U., 24

M

Mach M., 55

Moskvichev S.S., 237

Munasypov R.A., 237

N

Nacke B., 68

Nikanorov A., 74

P

Pesteanu O., 63

Pleshivtseva Yu.E., 74

R

Rudnev V., 43

Rzevski G., 3

W

Wipprecht S., 68

Научное издание

Труды XIII Международной конференции

**ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ
И МОДЕЛИРОВАНИЯ В СЛОЖНЫХ СИСТЕМАХ**

15-17 июня 2011, Самара, Россия

Редакторы:

академик Е.А. Федосов

академик Н.А. Кузнецов

профессор В.А. Виттих

Proceedings of the XIII International Conference

**COMPLEX SYSTEMS:
CONTROL AND MODELING PROBLEMS**

June 15-17, 2011, Samara, Russia

Editors:

academician E.A. Fedosov

academician N.A. Kuznetsov

professor V.A. Vittikh

Подписано в печать 1.06.2011.

Формат 60х84/8. Бумага офсетная. Печать офсетная.

Объем 66,96 усл. печ. л. Тираж 500 экз. Заказ № 722.

Отпечатано в типографии ООО «Офорт».

443080, г. Самара, ул. Революционная, 70, литера П.

Тел.: 372-00-56, 372-00-57.